

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРЬЕРОВ

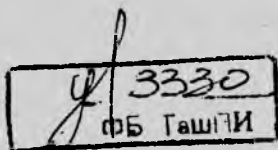


ВЫСШЕЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРЬЕРОВ

Под общей редакцией проф., д-ра техн. наук
В. С. Хохрякова

Д о п у щ е н о
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР в качестве учебного пособия
для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Технология и комплексная механизация
открытой разработки месторождений полезных ископаемых»



Автоматизированное проектирование карьеров: Учебное пособие для вузов /В. С. Хохряков, С. В. Корнилков, Г. А. Неволин. В М. Каплан. Под ред. В. С. Хохрякова.— М.: Недра, 1985.— 263 с.

Приведены сведения о принципах, организации, средствах и методах систем автоматизированного проектирования карьеров (САПР). Освещены основные виды обеспечения САПР — техническое, методическое, программное с учетом специфики горного производства. Изложены вопросы теории математического описания горно-геометрических объектов и приведены основы машинной графики. Дано математическое моделирование условий месторождений полезных ископаемых, а также рабочей зоны карьеров и отвалов.

Для студентов горных вузов и факультетов.

Табл. 25, ил. 75, список лит. — 45 назв.

Рецензенты: кафедра разработки месторождений открытым способом Ленинградского горного института (зав. кафедрой проф., д-р техн. наук *А. И. Арсентьев*) и д-р техн. наук *И. Б. Табакман* (научно-производственное объединение «Кибернетика» АН УзССР).

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проектирование горных предприятий, особенно при открытой разработке крупных месторождений в сложных горно-геологических условиях, превратилось в настолько трудоемкий и длительный творческий процесс из-за необходимости комплексного учета большого числа факторов, что создание надежных и оптимальных проектов при традиционных методах и средствах проектирования в достаточно короткие сроки стало практически невозможным. Переход к более совершенным методам проектирования может быть осуществлен только на основе широкого применения ЭВМ и создания систем автоматизированного проектирования и планирования (САПР), которые в ближайшем будущем станут основным и мощным инструментом в руках инженеров, реализующим их творческие замыслы.

В настоящее время назрела необходимость подготовки инженеров нового типа, умеющих быстро осваивать различные автоматизированные системы, автоматизированные банки данных, банки знаний и другие системы. Для решения этой задачи в вузах создаются учебные САПР, в учебные планы технических специальностей вводится дисциплина «Основы построения и эксплуатации САПР», осуществляется массовое внедрение ЭВМ в учебный процесс, в ряде вузов организована подготовка инженеров-пользователей САПР.

Учебное пособие по автоматизации проектирования горных предприятий создается впервые. Оно ориентировано на проектирование карьеров, так как именно для открытой разработки автоматизация проектирования и планирования горных работ достигла наибольшего развития, и уже осуществляется специализированная

подготовка горных инженеров, а также создана учебная САПР-карьер.

Книга предназначена для студентов специальности «Технология и комплексная механизация открытой разработки месторождений полезных ископаемых», проходящих специализированную подготовку по автоматизированному проектированию карьеров в качестве горных инженеров-пользователей САПР, а также для широкого круга специалистов-горняков различного профиля в качестве пособия, дающего основные первоначальные представления по САПР горного производства.

Проф. В. С. Хохряков написал предисловие, словарь терминов, разделы 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 3.1, 3.5, 4.2, 7.1, совместно с доц. Г. А. Неволным — 1.4, с канд. техн. наук С. В. Корнилковым — 6.1, 6.2, 6.3, 6.6, 6.7, с В. В. Андрейчиком — 8.2, с В. М. Капланом — 4.3, с И. Н. Сандригайло — 8.5, с М. Н. Сивковым — 3.2, 4.4; доц. Г. А. Неволин — 2; доценты Д. Г. Букейханов, В. Ф. Съедин и инж. Ю. П. Ашаев — 7.5 и 7.6; доц. М. Д. Печорина — 5.1, 5.2 и совместно с В. М. Капланом — 5.5; канд. техн. наук А. С. Танайно — 3.3, 6.4, 6.5, 7.7; канд. техн. наук С. В. Корнилков — 6.8, 8.4 и совместно с доц. Г. П. Молтусовым и Н. М. Знаменской — 8.1; В. М. Каплан — 3.4, 3.6, 5.3, 5.4, 8.3 и совместно с канд. техн. наук С. В. Корнилковым — 7.3; М. Н. Сивков — 7.2, 7.4; канд. техн. наук И. М. Вернер — 4.1.

Словарь терминов САПР

Алгоритм — заданный набор точно определенных правил или процессов, который служит для решения задачи за конечное число шагов.

База данных — совокупность экземпляров различных типов записей и отношений между записями.

Байт — основная единица информации в современных электронных машинах. Представляет собой упорядоченную последовательность восьми двоичных цифр (битов), которая обрабатывается как единица информации; байт служит также в качестве единицы для выражения объема памяти ЭВМ: Кбайт = $1024 \cdot 10^3$ байтов.

Банк данных — система баз данных и система управления базами данных (СУБД).

Бит — наименьший элемент информации в двоичной системе счисления; принимает значение 0 или 1.

Данные — общий термин, служащий для обозначения любых сведений, чисел, букв или символов, а также сведений, которые описывают некоторые предметы, идеи, условия, ситуации или факторы или же связаны с этими объектами.

Диалоговый режим — взаимодействие терминала и ЭВМ, при котором каждый запрос терминала вызывает ответ ЭВМ, и наоборот.

Дигитайзер (оцифрователь) — прибор, позволяющий снимать графическую информацию и переводить ее в машинный код на перфоленте, магнитной ленте и т. п.

Дисплей — устройство ввода-вывода, обеспечивающее высокоскоростную визуальную связь между ЭВМ и пользователями.

ДОС — дисковая операционная система, представляющая собой комплекс системных программ.

Интерактивный режим — то же, что и диалоговый режим.

Интерфейс — связь между двумя системами (программами) или канал связи между устройствами.

Интерация — пересчет данного, уточняющий его значение.

Компонент — программа, рассматриваемая как единое целое и выполняющая законченную функцию; применяется самостоятельно или в составе комплекса.

Комплекс (программный) — программа, состоящая из двух или более компонентов и (или) комплексов, выполняющих взаимосвязанные функции, применяемая самостоятельно или в составе другого комплекса.

Компилятор — программируемая система, перерабатывающая программу из ряда операторов исходной программы в машинные коды; компилятор способен заменить один входной оператор рядом команд или подпрограммой, которые позволяют получить расширенный преобразованный вариант исходной программы.

Команда — группа сигналов или импульсов, вызывающая выполнение одного шага в ходе реализации программы ЭВМ.

Модель — формализованное описание объекта или процесса.

Модуль — отдельная программная единица, идентифицируемая по отношению к компиляции, объединению другими аналогичными единицами при загрузке.

Монитор — программа, которая управляет работой операционной системы, контролирует ее функционирование.

Операнд — величина, подвергаемая обработке и обычно идентифицируемая адресной частью команды.

Оператор — в программировании представляет собой содержательное выражение или обобщенную команду на языке программирования.

ОС — совокупность программных средств, позволяющих ЭВМ контролировать выполнение своих операций и организующих автоматический вызов программ, подпрограмм, компиляторов, ввод-вывод данных в том виде, который требуется при непрерывной обработке различных типов заданий.

Отладка программы — обнаружение, локализация и устранение ошибок в программе вычислительной машины.

Пакет программ — комплекс программ совместно с программой, управляющей комплексом.

Последовательный доступ — способ обработки записей файла, при котором возможно обращение к записям в порядке их следования.

Подсистема — вторичная или подчиненная система; обычно подсистема функционирует независимо или асинхронно по отношению к управляющей системе.

Процессор — основная часть ЭВМ, непосредственно осуществляющая процесс обработки информации и управляющая им.

Прямой доступ — способ обработки записей файла, при котором возможно обращение к произвольной записи.

Растр — сетка, состоящая из равномерно или неравномерно расположенных параллельных линий, накладываемая на изображение с целью его кодирования.

Реквизит — характеристика; например, реквизиты данных включают длину записи, формат записи, имя набора данных, тип соответствующего устройства и идентификатор тома, дату формирования и использования.

Системный программист — программист, проектирующий, генерирующий, обслуживающий и развивающий операционную систему и регулирующий ее использование в целях общей производительности установки.

Сплайн — гладкая кусочно-полиномиальная функция, используемая для аппроксимации произвольных гладких функций.

СУБД (система управления базами данных) — совокупность программного обеспечения, необходимого для ведения и использования данных.

Терминал — любое оборудование ввода-вывода, который осуществляет информационный обмен с центральной ЭВМ по каналу связи.

Утилита — вспомогательная сервисная программа системы программирования ОС ЕС, обеспечивающая работу с наборами данных.

Файл — поименованная совокупность всех экземпляров логических записей заданного типа.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1. Общие сведения о проектировании карьеров

Основным объектом проектирования в отраслях горной промышленности (угольной, черной и цветной металлургии, минеральных строительных материалов и др.) является горное предприятие (горно-обогатительный комбинат, рудник, угольный разрез и т. п.), которое представляет собой сложный и дорогостоящий комплекс, включающий обычно несколько карьеров и шахт, обогатительную фабрику, отвалы пустых пород, некондиционных руд, отходов обогатительных фабрик, ремонтные и различные обслуживающие цехи и сооружения, большую сеть транспортных, энергетических и прочих коммуникаций. Производственная мощность ГОКов или разреза достигает 20—40 млн. т по добыче полезного ископаемого и 100—150 млн. т. по пустым породам, а затраты на его строительство составляют сотни миллионов рублей.

Мощные современные карьеры, даже среднего масштаба, характеризуются:

значительными размерами и масштабами (размеры в плане 1,5—2 км, глубина 200—400 м, годовая выемка горной массы 30—70 млн. т);

разнообразием оборудования (экскаваторы с ковшем вместимостью 8—20 м³, буровые станки массой 160 т и более, автосамосвалы грузоподъемностью 40—180 т, десятки километров электрифицированных железнодорожных путей и т. п.);

высокими темпами развития горных работ (годовая углубка достигает 15—25 м, продвижение фронта работ составляет 50—100 м и более).

Горные предприятия в отличие от многих других промышленных объектов и сооружений, например, металлургических, машиностроительных, химических заводов и т. п., являются не только техническими, а прежде всего природно-технологическими комплексами. Параметры

и показатели экономической эффективности горных предприятий зависят (при данном уровне техники и технологии) в значительной степени от природных факторов, строения и размеров месторождений, рельефа местности и гидрогеологических условий, а также от допустимого воздействия на окружающую среду.

В отличие от ряда других природно-технологических комплексов, таких, например, как гидроэлектростанции и транспортные коммуникации, горные предприятия (особенно карьеры) являются в высокой степени динамическими объектами, развивающимися в течение нескольких десятилетий во времени и в пространстве. Большинство карьеров, как технические сооружения, завершаются лишь к концу разработки запасов полезных ископаемых, включенных в их границы, а в течение всего срока эксплуатации — от начала строительства до погашения горных работ — находятся в непрерывном развитии (ежегодно увеличиваются глубина и объем карьеров, длина транспортных коммуникаций, а также перемещаются в пространстве рабочие места и изменяются горно-технические условия). Поэтому проектирование горных предприятий, особенно мощных глубоких карьеров для разработки сложноструктурных многокомпонентных месторождений, представляет собой технико-экономическую задачу исключительной сложности и трудоемкости.

Оптимизация проектов горных предприятий осложняется также большой разнородностью определяющих факторов: природных (недра, земля, воздух, вода, растительность), технических, экономических и социальных, вероятностным характером воздействия, высокой степенью неопределенности и малой изученностью ряда факторов к началу проектирования.

Проект горного предприятия включает геологическую, горную (технологическую), горно-механическую, энергетическую, транспортную, экономическую, сметную и другие части.

Геологическая часть представляет собой основной исходный материал для решения главных принципиальных задач проекта. В геологической части даются характеристика и параметры месторождения, включая форму и размеры рудных тел, технологические сорта руд, физико-технические свойства пород, запасы полезного ископаемого и т. д.

Горная (технологическая) часть содержит:

определение границ карьера, обоснование перспективных и промежуточных контуров на крупных месторождениях, раскройку карьерных полей, выделение этапов разработки;

подсчеты запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши в контурах карьера, залежах, подсчетных геологических блоках, эксплуатационных участках;

основные положения по организации работ, включая общую схему комплексной механизации, типы и модели бурового, выемочно-погрузочного, транспортного и отвального оборудования;

обоснование проектной мощности карьера, годовых объемов вскрыши, срока службы карьера, продолжительности периода освоения проектной мощности, начала разработки второго этапа;

буровзрывные работы, в том числе расчет параметров буровзрывных работ, расхода ВВ и СВ, числа буровых станков и другого оборудования;

экскаваторные (выемочно-погрузочные) работы, в том числе обоснование моделей добычных и вскрышных экскаваторов, расчет их производительности и числа, расчет параметров экскаваторных забоев.

В горной части рассматриваются также вопросы дренажа вод, хранения и доставки взрывчатых веществ, вентиляции карьера, борьбы с оползнями, лавинами, промсанитарии, рекультивации отвалов и др.

Таким образом, в горной части проекта решаются основные задачи по обоснованию параметров карьера, развитию его мощности и динамики горных работ, определяющие в основном масштаб предприятия и технологию горных работ, размеры капитальных вложений и эксплуатационных затрат, и, в конечном счете, технико-экономические результаты проекта.

Итоговыми результатами горной части проекта являются чертежи (элементы системы разработки, планы горных работ, поперечные сечения по карьеру и др.) и пояснительная записка, включающая обоснование и содержание решений по основным задачам и таблицы подсчета запасов и объемов работ по годам и горизонтам, расход материалов и энергии, потребность в оборудовании, трудозатраты, различные технико-экономические показатели.

Проект карьера является многоцелевым и предназначен для использования:

министерством и другими директивными и планирующими ведомствами для обоснования решения о строительстве или реконструкции карьера;

стройбанком, строительными и другими организациями, а также дирекцией строящегося карьера для выполнения операций по финансированию строительства или реконструкции карьера;

дирекцией строящегося предприятия для организации строительства, в том числе при приемке завершенных работ от строительных организаций;

дирекцией действующего предприятия для организации и финансирования работ при эксплуатации карьера.

Завершенный проект горного предприятия представляется в нескольких комплектах в виде чертежей, пояснительных записок к ним, смет, паспорта проекта и различных приложений, включающих документы, в которых зафиксированы исходные положения, задание на проектирование, акт выбора площадки, справка об утверждении запасов, акты согласования и постановление об утверждении проекта и т. п. В завершенном проекте пояснительная записка включает 300—800 машинописных страниц и примерно 60 листов графического материала.

Проектирование горных предприятий осуществляется довольно обширной сетью отраслевых проектных институтов (Центрогипрошахт, Уралгипроруда, Казгипроцветмет и др.). Выполнение работ по отдельным частям проекта ведется специализированными отделами (горным, транспортным, электротехническим и др.), а также субподрядными проектными организациями различных профилей или при общем руководстве главным инженером проекта. Вычислительные работы, связанные с применением ЭВМ, выполняются обычно группой или отделом автоматизации проектирования. Продолжительность выполнения проектных работ, включая все стадии, составляет для крупного рудного карьера несколько лет. Практика показывает, что по большинству крупных карьеров проектные решения через 7—12 лет пересматривают, часто в виде проектов реконструкций.

Таким образом, на многих мощных карьерах, особенно при разработке сложноструктурных многокомпонентных месторождений с относительно невысокой степенью разведанности, ведется почти непрерывное, перманентное проектирование. Затраты на выполнение проектных работ по крупному карьере измеряются сотнями тысяч и миллионов рублей. Вместе с тем, неоптимальные, а тем более ошибочные, недостаточно обоснованные решения приводят к ущербу, измеряемому в десятках миллионов рублей и более.

Поэтому проектирование открытых разработок, особенно в сложных горно-геологических условиях, является ответственной технико-экономической задачей большой сложности и трудоемкости, правильное решение которой требует не только большой эрудиции и глубоких знаний, но и творческого подхода, основанного на применении электронно-вычислительной техники и экономико-математических методов.

Развитие теории проектирования карьеров определялось интенсивным увеличением доли открытого способа разработки, который в послевоенные годы стал преобладающим. Общая добыча полезных ископаемых в СССР открытым способом составляет около 4 млрд. т, а объемы удаления вскрышных пород — 4 млрд. м³.

Если ранее вопросы проектирования карьеров представляли небольшой раздел в общей методологии проектирования горных предприятий, а в решении ряда задач открытых разработок основой служили представления сложившиеся на опыте подземного способа разработки, то в 60—70-е годы создается и развивается самостоятельная теория проектирования карьеров.

Характерной особенностью теории и практики проектирования карьеров является динамический подход к решению главных оптимизационных задач открытых разработок, который сложился под влиянием практики проектирования и эксплуатации мощных глубоких карьеров на базе методов горно-геометрического анализа и экономических оценок с учетом фактора времени. Разработка и внедрение различных аспектов динамического поэтапного проектирования в последнее десятилетие является основным направлением в совершенствовании методов проектирования горных предприятий.

Динамический подход позволяет создать проект горного предприятия не как статическую, а как динамическую, т. е. более достоверную и точную модель. Он не только повышает обоснованность, достоверность и глубину решения задач проекта, но и позволяет находить научные математические методы для решения таких весьма существенных задач, которые раньше оставались за рамками проекта, например обоснование перспективных и промежуточных границ карьеров, определение рационального направления развития горных работ в карьере и др.

Однако динамический подход требует производства очень большого числа расчетных операций и при обычных способах расчетов namного повышает трудоемкость проектирования. Поэтому широкая разработка динамических методов и их практическая реализация развернулась лишь в 70-е годы вместе с внедрением в практику проектирования электронных вычислительных машин.

Переход к более совершенным методам проектирования может быть осуществлен только на основе широкого применения ЭВМ и создания систем автоматизированного проектирования горных предприятий (САПР).

Как указывает акад. В. В. Ржевский, в условиях роста масштабов добычи полезных ископаемых, ускорения темпов освоения новых месторождений и прогресса горной техники снижается эффективность упрощенных технико-экономических расчетов при проектировании горных предприятий, основанных на традиционных представлениях и качественных оценках. Проектирование горных предприятий стало сложным творческим процессом, поскольку связано с необходимостью комплексного учета большого числа факторов. Современный горный инженер-проектировщик является исследователем, перед которым стоят задачи огромной важности, главные из которых — определить пути развития горной промышленности с высокими темпами технического прогресса и рационально использовать недра, невозстановимые природные ресурсы.

Электронная вычислительная техника качественно меняет технологию проектирования, научных исследований, способы сбора, хранения и обработки информации. Автоматизированная система проектирования явля-

ется новым мощным инструментом в руках проектировщика, реализующим его творческие замыслы, избавляющим его от чисто технической работы; автоматизация проектирования рассматривается в государственных планах развития народного хозяйства как одна из важнейших государственных задач, фактор, во многом определяющий технический уровень, качество и эффективность в промышленности и строительстве на много лет вперед.

Разработка методов математического моделирования месторождений полезных ископаемых, горных предприятий, их технико-экономического анализа в динамике и многостороннего прогнозирования, широкое внедрение экономико-математических методов и ЭВМ, автоматизированное изготовление проектной документации и создание систем автоматизированного проектирования становятся главными направлениями в развитии теории и практики проектирования горных предприятий.

1.2. Порядок решения основных задач горной части проекта открытой разработки крутопадающих и наклонных месторождений

Практика проектирования карьеров выработала определенный порядок решения задач горной части проекта, в основе которого лежит многошаговый процесс поиска совокупности оптимальных решений отдельных задач с учетом их взаимодействия посредством механизма обратных связей с поэтапным приближением к итоговому решению.

По существу этот процесс является диалоговым режимом с разделением на этапы, различающиеся глубиной и детальностью задач и постепенным повышением точности расчетов и степени оптимизации.

Этот метод обоснования и принятия оптимальных решений определяется спецификой горных предприятий, а именно: высокой степенью неопределенности условий, сложными, зачастую не имеющими количественного выражения зависимостями между определяющими факторами, а также трудностями согласования решений в задачах, выполняемых различными исполнителями в различные сроки, в том числе в таких задачах, в которых результаты решений для одних являются исходными данными для других и в то же время находятся

в сложной взаимосвязи. Наиболее часто принятие решений осуществляется в шесть этапов.

На I этапе принимаются приближенные решения по основным параметрам карьера и технологической схеме разработки, что позволяет установить основные взаимосвязи и осуществить компоновку общей схемы. На II этапе производится пересчет и уточнение параметров с учетом общей схемы и принятых приближенных решений. Например, на I этапе конечная глубина карьера может быть определена приближенно на основе ориентировочно принятых значений углов погашения бортов карьера, на II этапе появляется возможность уточнить углы погашения бортов и на этой основе пересчитать глубину карьера. На III этапе становится возможным провести горно-геометрический анализ и сделать предварительную оптимизацию основных параметров, что позволяет на IV этапе выполнить детальные расчеты по многим задачам. На V этапе могут быть выполнены экономическая оценка и окончательная оптимизация основных параметров, в том числе схем вскрытия. Это позволяет на VI этапе осуществить изготовление основных чертежей горной части — погоризонтных и ежегодных планов развития горных работ и провести расчеты по ежегодным объемам работ, потребности в оборудовании, подсчитать основные показатели, т. е. получить основные результаты горной части проекта.

Этот принципиальный подход постепенного приближения к итоговому решению позволяет в конкретных условиях в зависимости от достоверности исходных данных и сложности задачи, а также допустимых трудоемкости и сроков проектирования получить решение с определенной степенью достоверности.

При этом реализуются такие научно-методические принципы, как:

1) системный подход, заключающийся в том, что все задачи рассматриваются во взаимосвязи, причем находится оптимальная совокупность решений отдельных задач;

2) дифференциация горно-технических условий разработки месторождения в пространственных контурах карьера, позволяющая находить наивыгоднейшие решения для различных по глубине зон при решении задач по выбору схемы вскрытия, вида транспорта и т. д.;

3) учет ежегодных изменений условий и показателей функционирования технологических процессов в карьере по мере обработки месторождения за длительный период.

В системе автоматизированного проектирования такой подход может быть реализован в диалоговом режиме лишь при достаточно полном комплекте терминальных устройств, включающих дисплеи, графопостроители и кодировщики.

Степень автоматизации вычислительных и графических работ может быть различной, но чем она выше, тем меньше трудоемкость и длительность работ и тем больше достоверность итоговых решений.

Горно-геологические условия при разработке месторождений настолько сложны и разнообразны, что число и содержание этапов проектирования, а также содержание и глубина решения задач горной части в каждом случае различны.

Поэтому порядок решения проекта будет различным для различных горно-геологических условий: горизонтальных или крутопадающих месторождений, однородных угольных или сложноструктурных рудных, одиночного карьера или группы залежей и т. д.

Однако во всех случаях первоначально должно осуществляться тщательное изучение и анализ исходных материалов и уточнение основных целей проекта.

Ниже изложено примерное содержание отдельных этапов решения задач горной части для условий сложноструктурных крутопадающих мощных месторождений с большой глубиной открытой разработки.

Приближенные решения по основным параметрам и показателям карьера (I этап)

1. Определение приближенных контуров и глубины карьера и ориентировочное определение запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши в этих контурах.

2. Выбор вероятной схемы механизации (вида транспорта и модели основного экскаватора).

3. Выбор системы разработки и приближенное установление ее параметров (высоты уступа, порядка развития горных работ).

4. Приближенный расчет производительности и срока службы карьера.

5. Установление наиболее вероятного места ввода трассы в карьеры, расположение ДОФ и отвалов.

6. Приближенное определение числа, мощности и направления грузопотоков.

7. Обоснование общей схемы вскрытия на конец отработки.

Пересчет и уточнение параметров (II этап)

1. Расчет прогнозных технико-экономических показателей.

2. Расчет граничного коэффициента вскрыши.

3. Расчет устойчивых углов уступов и бортов.

4. Пересчет границ и глубины карьера, обоснование перспективных глубин и контуров карьера.

5. Пересчет запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши в расчетных контурах.

6. Обоснование способа подготовки горизонтов и расчет скорости понижения горных работ.

Горно-геометрический анализ и предварительная оптимизация основных параметров (III этап)

1. Выбор и обоснование оцениваемых вариантов развития горных работ, угла рабочего борта и др.

2. Горно-геометрический анализ по заданным вариантам.

3. Выбор оптимального направления развития горных работ в контуре карьера.

4. Экономическая оценка и предварительная оптимизация вариантов системы разработки, схемы вскрытия и их параметров, а также параметров транспорта.

Детальные расчеты (IV этап)

1. Обоснование технологической схемы и структуры механизации. Расчеты производительности горно-транспортного оборудования.

2. Расчеты БВР, параметров систем разработки (уступов, рабочих площадок, заходок, траншей).

3. Расчеты по проходке траншей и подготовке новых горизонтов. Уточнение скорости понижения горных работ.

4. Расчет скорости подвигания фронта работ, заходок.

5. Расчет готовых к выемке запасов.

6. Расчет отвалов, перегрузочных пунктов.

7. Расчет внешних капитальных траншей (объемов, сроков проходки).
8. Расчет объемов и сроков горно-капитальных работ.
9. Расчет осушения.

Экономическая оценка вариантов и оптимизация основных параметров карьера (V этап)

1. Экономическая оценка, оптимизация и выбор рационального направления развития горных работ при принятой технологической схеме.
2. Расчеты и установление промежуточных контуров и этапов.
3. Экономическая оценка и выбор оптимального календарного плана добычных и вскрышных работ.
4. Детальный расчет поэтапных схем вскрытия.

Проектирование развития горных работ (календарные планы, VI этап)

1. Изготовление погоризонтных планов горных работ.
2. Отстройка схем вскрытия.
3. Изготовление поперечных сечений.
4. Изготовление ежегодных планов горных работ.
5. Расчет таблиц календарного плана с расчетами ежегодных объемов по видам работ, сортам руд, видам вскрыши.
6. Расчеты количества машиносмен оборудования по видам работ (бурение, экскавация, транспорт и т. д.). Расчеты потребности трудящихся, материалов, энергии и т. п.
7. Расчеты капитальных годовых и эксплуатационных затрат.

1.3. Общие сведения об автоматизации проектирования

Проблема автоматизации проектирования в индустриально развитых странах входит в число важнейших направлений научно-технического развития. В Советском Союзе проблема САПР включена как важнейшая в государственный план по науке и технике и рассматривается как фактор, во многом определяющий технический уровень, качество и эффективность в промышленности и строительстве на много лет вперед.

Все возрастающая потребность автоматизации проектирования вызывается, во-первых, непрерывным увеличением объемов проектных работ в связи с расширением строительства и реконструкцией объектов, созданием новых машин и изделий и, во-вторых, с повышением требований к проектам, которые, несмотря на увеличивающуюся сложность объектов проектирования, должны быть не только оптимальными, но выполняться в наименьшие сроки.

Между тем, если непосредственно на промышленных предприятиях производительность трудящихся благодаря механизации и автоматизации работ непрерывно растет высокими темпами, то в проектировании до последних лет внедрение механизации и автоматизации проектно-конструкторских работ осуществлялось слабо. Поэтому техническое вооружение проектировщиков и производительность их труда росли очень медленно и отставали от темпов роста производительности труда в промышленности и строительстве, являясь отрицательным и все более тормозящим фактором в общем росте производительности труда.

Все большую остроту приобретает проблема повышения достоверности проектов и планов, особенно по их экономическому обоснованию. Практика показывает, что найти оптимальные решения сложных проектно-конструкторских задач, причем с допустимой погрешностью и в достаточно короткие сроки, можно только с применением электронно-вычислительной техники.

Применение ЭВМ для автоматизации сложных инженерных расчетов и проектирования изделий, машин, сооружений и объектов начавшееся в конце 50-х годов, прошло в своем развитии ряд этапов.

Первоначально, в 60-е годы, ЭВМ применялись главным образом для расчета большого количества вариантов в какой-либо задаче с целью повышения степени оптимизации принимаемого решения. Например, если вручную можно было рассчитать и оценить 2—3 варианта глубины карьера, то с помощью ЭВМ можно было рассчитать 7—10 вариантов и, кроме того, учесть при расчете значительно большее число определяющих факторов. Этот так называемый позадачный подход является низшей ступенью автоматизации. Он трудоемок, так как требует подготовки для ввода в ЭВМ всех исходных данных для каждой отдельной небольшой задачи.

Позднее началось применение пакетов прикладных программ (ППП), предназначенных для решения крупных сложных задач или сразу целого комплекса взаимосвязанных задач. Для этого в ЭВМ необходимо ввести только первоначальные исходные данные. Такой пакетный режим намного сокращает время на решение задачи, но усложняет подготовку исходных данных и требует довольно сложного программного обеспечения, так как в программах необходимо учесть всевозможные ограничения технических условий, которые в ряде случаев весьма сложно формализовать. Кроме того, для эффективного использования ППП необходим достаточно развитый банк данных. Пакетный режим ориентирован на использование мощных ЭВМ. При этом пользователь готовит исходные данные, передает заказ в ВЦ и получает конечные результаты расчета. Существенный недостаток такого режима состоит также в том, что автоматизируется лишь расчетная часть решения задачи.

Следующий этап в развитии проектирования — преимущественно диалоговый режим работы с широким использованием автоматизированных рабочих мест и различных терминалов — кодировщиков графической информации, дисплеев, графопостроителей. При этом автоматизируются не только вычислительные операции, но и ввод графической информации, а также изготовление чертежей, являющихся результатом решения задачи. Появляется возможность упростить алгоритм решения и обеспечить творческое участие проектировщика в ходе решения задачи. Там, где это целесообразно, используется пакетный режим.

Наивысший этап — переход к комплексной автоматизации всех фаз и видов проектных работ на базе систем автоматизированного проектирования (САПР).

В широком понимании САПР — это система автоматизации проектирования, конструирования, научных исследований и технологии подготовки производства с использованием развитого программного и информационного обеспечения. Другими словами, это система автоматизированного хранения и переработки информации и автоматизированного изготовления документации при решении проектных, плановых и конструкторских задач.

Для решения инженерных задач в САПР используются оба режима взаимодействия человека с машиной — пакетный и интерактивный (диалоговый).

При пакетном режиме инженер не вмешивается в процесс решения задачи. Его роль сводится к подготовке исходных данных в форме, требуемой для ввода в ЭВМ и к подбору необходимой программы, т. е. к оформлению заказа вычислительному центру и к анализу полученных затем результатов. В таком режиме решаются задачи, которые могут быть полностью формализованы, например представленные одной или несколькими, пусть и громоздкими, формулами, т. е. базирующиеся на развитых теоретических положениях и разработанных математических моделях.

Интерактивный режим представляет собой диалог человека с машиной, т. е. активное участие инженера в процессе решения задачи. Интерактивный режим используется, во-первых, для решения задач, способы формализации которых недостаточно разработаны, и, во-вторых, в тех случаях, когда вмешательство человека в ход вычислений заметно ускоряет решение задачи, например, за счет пропуска ряда бесперспективных вариантов. Для обеспечения интерактивного режима необходимо применение дисплеев и автоматизированных рабочих мест (АРМ), т. е. такого технического обеспечения, благодаря которому может быть организован эффективный диалог инженера с ЭВМ.

Внедрение систем автоматизированного проектирования позволяет получить значительный экономический эффект, который достигается как в сфере производства, так и в сфере проектирования.

Основной эффект достигается в сфере производства благодаря реализации проектных решений, имеющих более высокую степень оптимизации и надежности. Как отечественная, так и зарубежная практика показывает, что реализация оптимальных проектных решений, полученных при использовании САПР, снижает капитальные затраты на 5—20 %, а эксплуатационные расходы на 5—10 %.

Так как капитальные затраты на строительство и реконструкцию горных предприятий составляют десятки и сотни миллионов рублей, а ежегодные эксплуатационные расходы даже на карьере средней мощности (20—40 млн. т горной массы в год) 15—30 млн. руб., то

эффект, получаемый благодаря реализации оптимальных решений, может достигать нескольких миллионов или десятков миллионов рублей.

В сфере проектирования эффект достигается благодаря сокращению сроков проектирования в 20—25 раз, удешевлению проектной документации в 6—7 раз и повышению надежности проектных решений и качества проектной документации. Несмотря на повышенную потребность в персонале более высокой квалификации, трудоемкость проектных работ в целом сокращается.

Большим достоинством САПР является также возможность оперативной корректировки проектных и плановых решений при изменении исходных данных и при необходимости оценки новых вариантов.

Системы автоматизированного проектирования подразделяются по назначению на промышленные и учебные; по масштабам работ на САПР — отрасли, технологии, способов производства; в зависимости от размеров объекта на САПР изделий (шестерен, валов, электронных плат и т. п.), процессов (штамповки, буровзрывных работ и т. п.), машин и агрегатов, сооружений и предприятий.

1.4. Структура и принципы построения САПР

В структуре САПР могут быть выделены горизонтальные (иерархические) уровни — подсистемы, проектно-конструкторские задачи, модули и компоненты, т. е. виды обеспечения.

Подсистема является основным структурным звеном САПР. Это выделенная по некоторым признакам часть САПР, обеспечивающая получение законченных проектных решений и соответствующих проектных документов по разделу или крупной задаче проекта. Например, в системе автоматизированного проектирования карьеров имеются подсистемы подсчета запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши, горно-геометрического анализа, охраны окружающей среды и т. п.

Подсистемы подразделяются на объектно-зависимые и объектно-независимые.

Объектно-зависимые, т. е. ориентированные на решение набора проектно-конструкторских задач определенного объекта. К этой группе относятся, например,

подсистемы проектирования границ карьера, схем вскрытия, системы разработки и т. п.

Объектно-независимые, ориентированные на решение широкого круга задач, не зависящих от объекта проектирования конкретного типа. К этой группе относятся инвариантные, функциональные и служебные.

Объектно-зависимые подсистемы являются, как правило, проектирующими, а объектно-независимые — обслуживающими.

Проектно-конструкторская задача (ПКЗ) — это часть подсистемы, обеспечивающая, как правило, получение промежуточных или составных, для более крупной задачи, решений. Например, подсистема «вскрытие карьера» включает такие проектно-конструкторские задачи, как «выбор места расположения поверхностных сооружений», «расчет глубины погружения внешних траншей», «расчет объемов и продолжительности горно-капитальных работ», «определение основных параметров трассы» и др.

Модуль является законченной элементарной частью структуры САПР. Например, ПКЗ «определение основных параметров трассы» включает такие модули, как расчеты кривых участков трассы, длин площадок примыкания, длин съездов и т. п. Набор модулей (расчетных и логических, сервисных и пр.) создает структуру проектной задачи (ПКЗ), набор проектно-конструкторских задач определяет состав подсистемы, которые, в свою очередь, являются основной структурной единицей состава САПР. Успешное функционирование такого многообразного структурного состава систем автоматизированного проектирования возможно только при строгом подчинении ПКЗ и модулей управляющей программы подсистемы.

Компоненты САПР — это виды обеспечения: техническое, математическое, программное, лингвистическое, информационное, методическое и организационное.

Техническое обеспечение включает в себя технические средства (ЭВМ, периферийное оборудование, средства передачи и хранения данных и др.), с помощью которых решаются задачи проектирования.

Математическое обеспечение — это комплекс математических моделей, методов и алгоритмов для решения проектных задач.

В основе создания САПР горных предприятий заложены математические модели месторождения — своеобразная, уникальная, не имеющая аналогов в других САПР самостоятельная математико-информационная подсистема, реализующая в памяти ЭВМ реальный природный сложноструктурный многокомпонентный объект.

Программное обеспечение — это совокупность программ для реализации автоматизированного проектирования, представленная документами с текстами программ, программами на машинных носителях и различными эксплуатационными документами.

Программное обеспечение разделяется на специальное и общее. Специальное содержит пакеты прикладных программ (ППП) для решения конкретных проектных задач. В общее программное обеспечение входят операционные системы ЭВМ и другие программы, предназначенные для управления вычислительным процессом САПР (управление заданиями, данными, редактирование, трансляция и т. п.).

Программное обеспечение должно отвечать требованиям ГОСТов и стандартов СЭВ, иметь высокую надежность и возможность тиражирования.

Лингвистическое обеспечение — это общеизвестные алгоритмические и входные специализированные объектно-ориентированные языки проектирования, служащие для описания объектов проектирования и заданий на выполнение проектных процедур. Входные данные определяют удобство общения инженера с ЭВМ в процессе проектирования.

Информационное обеспечение содержит массивы информации, необходимой для решения задачи данной системы и совокупность программ, обеспечивающих использование информационных массивов.

Совокупность компонентов информационного обеспечения образует базу данных и совместно с системой управления банк данных.

Методическое и организационное обеспечение представляет собой совокупность документов, устанавливающих состав и правила функционирования средств САПР и отделов проектного института.

К методическому обеспечению относятся теория, методы, терминология, нормативы, стандарты и другие данные, обеспечивающие методологию проектирования в подсистемах САПР.

К организационному обеспечению относятся методические и руководящие материалы, положения, инструкции, приказы, штатные расписания, квалификационные требования и другие документы, обеспечивающие взаимодействие подразделений проектной организации при создании, эксплуатации и развитии САПР.

Принципы построения САПР:

1. Человеко-машинная организация.
2. Системное единство и информационная согласованность.
3. Открытость и развитие.
4. Стандартизация и совместимость с традиционными методами проектирования.

САПР должны создаваться как человеко-машинные системы, в которых ЭВМ выполняют функции вычислений, namного ускоряя процесс проектирования и подготавливая данные для творческого процесса человека, принимающего решение.

Принцип системного единства и информационной согласованности означает использование комплекса организационно-методических положений, обеспечивающих целостность системы и подсистемы автоматизированного проектирования на всех стадиях создания, функционирования и развития САПР.

Языки, символы, коды, информационные и технические характеристики структурных связей между подсистемами, средствами обеспечения и компонентами САПР должны обеспечивать совместное функционирование подсистем и сохранять открытую структуру системы в целом.

Принцип открытости и развития означает, что САПР на любой стадии создания и функционирования должна иметь возможность пополнения, совершенствования и обновления подсистем и компонентов систем автоматизированного проектирования, замены любого расчетного модуля на новый, включение в подсистему дополнительных расчетов при условии, что входная и выходная информация остается прежней, отвечающей проектным документам. Под принципом развития понимают также возможность включения подсистемы или системы в состав более сложной или более высокого уровня.

Принцип стандартизации и совместимости с традиционными методами проектирования заключается в унификации, типизации и стандартизации подсистем и ком-

понентов, инвариантных к проектируемым объектам и отраслевой специфике, а также в установлении правил для упорядочения деятельности в области создания и развития САПР.

В условиях действующих проектных институтов со сложившейся структурой, взаимоотношениями подразделений, формами и способами использования проектной документации целесообразен эволюционный путь внедрения САПР.

1.5. Организация автоматизированного проектирования в проектном институте

Большинство проектных институтов отраслей горного производства являются многопрофильными. Объектами проектирования являются карьеры, шахты, обогатительные фабрики, ремонтные заводы, гидросооружения, промышленные и жилые здания. Горные предприятия характеризуются, как правило, значительными затратами на строительство и реконструкцию.

В проектах строительства или реконструкции горного предприятия содержится большое количество различных задач — геологических, горно-технологических, горно-механических, энергетических, транспортных, строительных, экономических, сметных и др. В результате проектных работ выполняются, в зависимости от назначения, различные виды проектной документации, включая генеральные схемы развития бассейнов, регионов, технические и рабочие проекты строительства и реконструкции, проекты геологической доразведки месторождений, обоснования кондиций, локальные и сводные сметы и др.

Организационно структура институтов представлена комплексом производственных отделов (подземных работ, открытых работ, транспорта, обогащения и т. д.), обслуживающих отделов, планирования и управления процессом проектирования.

Особенности, которые затрудняют широкое внедрение САПР в практику проектных институтов горного профиля, следующие:

индивидуальный характер проектируемых объектов, ограничивающий применение типовых решений, алгоритмов и программ;

многообразие природных (геология, топография,

климат, гидрогеология), технологических и экономических факторов, находящихся в сложной взаимосвязи и имеющих различную и часто невысокую степень достоверности исходных данных;

большой объем графической информации в исходных и выходных данных, вследствие чего графические работы в общем объеме достигают 60 % и более;

эпизодичность некоторых видов расчетов, которые при этом имеют высокую трудоемкость и требуют значительных затрат времени для их выполнения.

Вследствие этого внедрение автоматизации проектирования в горном производстве осуществляется медленными темпами. Как правило, в большинстве институтов вначале автоматизируются сметные, строительные и электротехнические и другие массовые расчетные работы, где возможно применение стандартных, широко распространенных программ, использование различных, в том числе малых ЭВМ, не требуются (обязательно) графопостроители и другое периферийное оборудование и где применение ЭВМ дает ощутимый эффект в виде экономии затрат времени и возможности расчета большого числа вариантов. Наибольший опыт проектирования открытой разработки накоплен в Сибгипрошахте, где уровень автоматизации проектных работ в 1984 г. достиг 12 %.

Внедрение методов и средств автоматизированного проектирования осуществляется, как правило, поэтапно, с постепенным освоением методов и средств автоматизации и совершенствованием организационных форм.

Простейшей формой является создание в институте отдела автоматизированного проектирования, включающего ВЦ и специализированную группу, разрабатывающую и осваивающую программы для решения отдельных задач и выполняющую эпизодические технологические расчеты по заказам производственных отделов.

На втором этапе в производственных отделах создаются специализированные группы проектировщиков, подготавливаемых для решения задач с применением ЭВМ. Благодаря этому тот или иной отдел выходит на ЭВМ через своих специалистов, т. е. устанавливается более тесная связь и прямой контакт технологов с ВЦ. В таком режиме выполняются, например, массовые сметные строительные и другие типовые расчеты.

Специалисты-пользователи ЭВМ производственного отдела должны знать основы программирования, возможности ЭВМ, уметь готовить данные для ввода в ЭВМ и делать расшифровку результатов расчетов.

Организация третьей формы является дальнейшим развитием взаимодействия проектировщика с ВЦ путем использования периферийного оборудования (дисплеев, кодировщиков, графопостроителей). При этом благодаря интерактивному режиму обеспечивается оперативность ввода и корректировки исходных данных, использование банка нормативных и справочных данных, редактирование проектных документов, т. е. сочетается непрерывность проектного процесса с многовариантностью и оптимальностью проектных решений и создаются условия для широкого внедрения САПР.

Однако для реализации этой, более высокой организации автоматизированного проектирования необходимо выполнение следующих условий:

создание в достаточных размерах всех видов обеспечения САПР и прежде всего программного и технического;

повышение норм материально-технического снабжения (бумага для ЭВМ, магнитные ленты и диски);

корректировка ценников и норм выработок с учетом повышения качества проектов при автоматизированном проектировании.

2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

2.1. Общие сведения

В развитии вычислительной техники, так же как и в развитии автоматизированного проектирования, можно выделить несколько этапов. Эти этапы связаны со сменой поколений ЭВМ, происходящей в среднем за 7—10 лет. В основе каждого поколения своя элементарная база.

Первое поколение вычислительных машин отличалось применением электронных ламп и сравнительно низким быстродействием (10—20 тыс. арифметических операций в секунду). Машины первого поколения использовались для решения простых вычислительных задач научного и проектного характера по готовым «ручным» вычислительным методикам. Программирование на этих ЭВМ требовало большого искусства, хорошего знания устройства машины и ее отклика на ту или иную ситуацию.

Второе поколение вычислительных машин, появившееся в начале 60-х годов, отличалось тем, что вместо громоздких электронных ламп стали использоваться миниатюрные транзисторы. Быстродействие возросло до сотен тысяч операций в секунду. Значительно облегчился процесс программирования, так как стали использоваться библиотеки стандартных программ и алгоритмические языки. Некоторые ЭВМ второго поколения, например, БЭСМ-6 (быстродействие 1 млн. операций в секунду), успешно служат до сих пор для решения научно-технических задач.

Третье поколение образует серии вычислительных машин возрастающей производительности и объема памяти. В Советском Союзе серию машин третьего поколения, выпуск которых освоен в конце 60-х — начале 70-х годов, образуют машины ЕС ЭВМ (Единая система ЭВМ), СМ ЭВМ и микроЭВМ. Элементной базой машин третьего поколения являются интегральные схемы, размещаемые на специальном образе выпол-

ненной кристаллической многослойной пленке. На одном квадратном миллиметре интегральной схемы размещаются тысячи элементов (резисторов, емкостей и пр.). Основные узлы процессора ЭВМ третьего поколения могут разместиться в нескольких спичечных коробках. Габариты ЭВМ теперь определяются не ее элементами (интегральными схемами), а размерами пульта оператора, системами сигнализации и другими внешними устройствами.

В вычислительных машинах четвертого поколения прослеживается стремление еще больше повысить возможности ЭВМ (производительность, объем памяти), которое привело к созданию все более сложной элементной базы с большой интеграцией и быстродействием и к новым принципам организации вычислительного процесса, что явилось основой для ЭВМ нового поколения. Машины этого поколения, называемые многопроцессорными вычислительными системами ЭВМ с перестраиваемой структурой, обладают быстродействием в десятки и сотни миллионов операций в секунду, что делает их незаменимыми для обработки исключительно больших объемов информации и коллективного использования многими потребителями. Перечисленные поколения ЭВМ составляют так называемые большие машины универсального назначения.

Миниатюризация элементной базы привела к созданию новых направлений в конструировании ЭВМ. Появились ЭВМ серии СМ (Семейство Малых) мини-ЭВМ (серия М), микропроцессорные ЭВМ (серия «Электроника») и, наконец, персональные ЭВМ. На базе малых и микро-ЭВМ разработаны специализированные комплекты технических средств, получившие название АРМ и ИВК («Автоматизированное рабочее место» и «Информационно-вычислительный комплекс»), в состав которых, помимо ЭВМ, входят набор периферийных устройств типа дисплея, графопостроителя, кодировщиков графической информации и др. Размеры этих комплектов в десятки раз меньше, чем универсальных ЕС ЭВМ, а в некоторых случаях они размещаются на рабочем столе проектировщика (устройства на базе микропроцессорных ЭВМ). Поскольку это специализированные устройства, их эксплуатационные свойства во многих случаях не уступают большим универсальным ЭВМ.

В состав технических средств САПР (помимо ЭВМ) входят также периферийные устройства, которые принято разделять на минимальный комплект и дополнительный. Минимальным комплектом обычно оснаща-

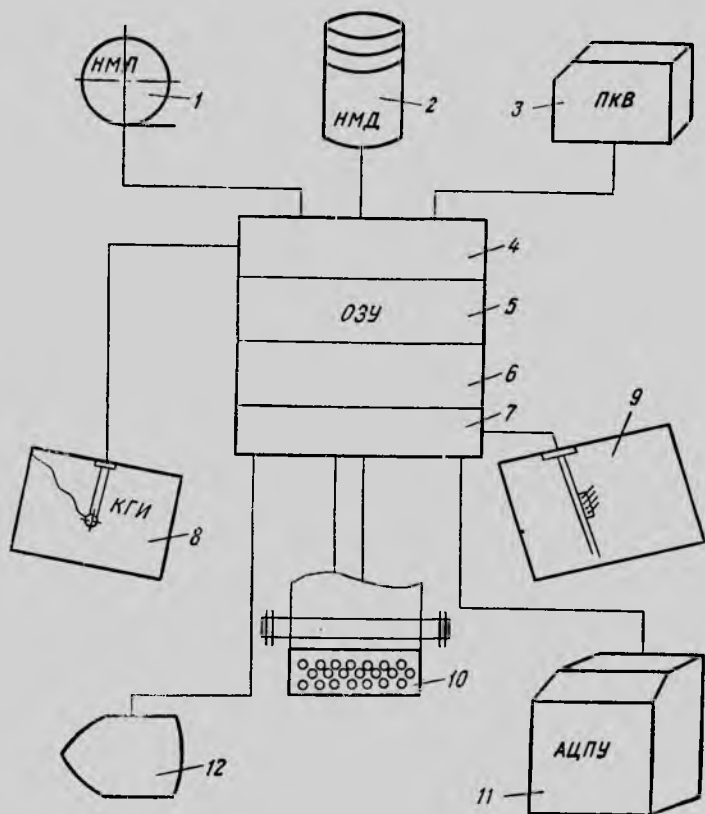


Рис. 2.1. Комплект технических средств автоматизированного проектирования:

1 — накопитель на магнитной ленте (НМЛ); 2 — накопитель на магнитных дисках (НМД); 3 — перфокарточный ввод (ПКВ); 4 — каналы ввода; 5 — оперативное заполняющее устройство (ОЗУ); 6 — процессор; 7 — каналы вывода; 8 — кодировщик графической информации (КГИ); 9 — графопостроитель; 10 — электрофицированная пишущая машинка; 11 — алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ); 12 — дисплей

ются большинство ЭВМ; в его состав входят устройства ввода-вывода с перфокарт, перфоолент, электрические печатающие машинки типа «Консул», алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ), внешние запоми-

нающие устройства-накопители на магнитных лентах (НМЛ) и магнитных дисках (НМД) с соответствующими устройствами управления.

В дополнительный комплект входят устройства, необходимые для решения специальных задач или для обеспечения специальных режимов использования ЭВМ: графопостроители, кодировщики графической информации, алфавитно-цифровые, графические дисплеи и др. Структура основных технических средств САПР показана на рис. 2.1.

ЭВМ и периферийные устройства, используемые в САПР, должны отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать эффективное взаимодействие проектировщика с ЭВМ как в пакетном, так и в диалоговом режиме;

- обладать быстродействием, позволяющим решать сложные проектные задачи за приемлемое время;

- иметь возможность к развитию и модернизации (расширению, пополнению) по мере прогресса техники и организации ее использования.

В наибольшей степени этим требованиям отвечают ЕС ЭВМ.

2.2. Технические характеристики ЭВМ

В данном разделе рассматриваются основные технические и эксплуатационные характеристики современных цифровых вычислительных машин Единой системы, получивших название ЕС ЭВМ (табл. 2.1) и семейства малых ЭВМ, называемых СМ ЭВМ.

Важной особенностью ЕС ЭВМ является система программного обеспечения, состоящая из набора основных операционных систем, комплексов программ технического обслуживания и пакетов прикладных программ.

Операционная система — это комплекс программ, обеспечивающих высокую эффективность использования ЭВМ, автоматизацию процесса подготовки, отладки и прохождения рабочих программ, увеличение производительности вычислительной системы и труда обслуживающего персонала.

Каждая ЕС ЭВМ представляет собой набор функциональных средств, обеспечивающих выполнение процесса обработки данных под управлением программ математического обеспечения. Важнейшими из них, определяющими

Основные технические характеристики некоторых ЕС ЭВМ

Модели ЕС ЭВМ	Страна- изгото- витель	Сред- нее бы- стро- дейст- вие, тыс. оп с*	Оперативная память, Кбайт	Мульти- плексный канал		Селектор- ный канал		Занимае- мая пло- щадь, м²
				Число	Ско- рость, Кбайт с	Число	Ско- рость Кбайт с	
ЕС-1020	СССР	20	64—256	1	16	2	300	100
ЕС-1022	СССР	80	128—512	1	80	2	700	110
ЕС-1030	СССР	70	128—512	1	40	3	800	150
ЕС-1033	СССР	200	256—512	1	50	3	800	120
ЕС-1040	ГДР	380	256—1024	1	25	6	1800	200
ЕС-1050	СССР	500	256—1024	1	30	6	1300	250
ЕС-1035 (36)	СССР	160	256—1124	1	40	4	750	120
ЕС-1045 (46)	СССР	450	512—3072	1	40	5	1300	150
ЕС-1055	ГДР	600	512—2048	2	40	4	1500	—
ЕС-1060 (61)	СССР	1000	512—8192	2	110	6	1250	300
ЕС-1065	СССР	5000	2048—16 384	2	200	11	1500	300

* Здесь и далее тыс. оп/с—тысяч операций в секунду

ми эксплуатационные свойства ЭВМ, являются: оперативная память, процессор и каналы ввода-вывода.

Емкость оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) во многом определяет важное эксплуатационное свойство ЭВМ — способность воспринять объем информации проектно-конструкторской задачи, иметь достаточное число ячеек памяти, необходимых для реализации вычислительного процесса.

Оперативная память характеризуется емкостью, шириной, циклом обращения и временем выборки. Наиболее важным эксплуатационным свойством является емкость оперативной памяти. Ширина выборки, цикл обращения и время выборки определяются техническими возможностями ЭВМ и для пользователя-проектировщика менее существенны, чем объем (емкость) оперативной памяти. ЕС ЭВМ малого класса (ЕС-1010, ЕС-1012) имеют емкость оперативной памяти 8—64 Кбайт, что не позволяет размещать в ней массивы информации, связанные, например, с разработкой математических моделей месторождений и других крупных проектных задач.

ЕС ЭВМ среднего класса (от ЕС-1020 до ЕС-1030) имеют оперативную память от 64 до 512 Кбайт; оперативная память больших машин, как правило, измеряется

512—1024 Кбайт, а в некоторых моделях достигает 2048—16 384 Кбайт.

Процессор состоит из арифметического устройства и устройства управления. Назначение процессора — выполнение вычислительного процесса. Арифметическое устройство (один из основных блоков ЭВМ) предназначено для выполнения арифметических и логических операций. Устройство управления обеспечивает совместную автоматическую работу всех устройств машины. От свойств арифметического устройства и устройства управления зависит важнейшая эксплуатационная характеристика ЭВМ — быстродействие. Эту эксплуатационную характеристику ЭВМ принято характеризовать средним быстродействием, т. е. реально выполнимым числом арифметических и логических операций в единицу времени — секунду. Малые ЕС ЭВМ имеют быстродействие порядка от 20 до 60 тыс. в 1 с, средние от 60 до 200 тыс. в 1 с, большие — более 200 тыс. операций (до 1—5 млн. операций в 1 с).

Для простых проектно-конструкторских задач САПР-карьер (расчеты технологических параметров процессов, потребности в оборудовании и т. п.) вполне достаточно ЭВМ с быстродействием до 60—80 тыс. операций в секунду. При этом время решения задач измеряется минутами и секундами. Для сложных задач проектирования, например для решения задач горно-геометрического анализа, выбора вариантов вскрытия и систем разработки, сравнения различных схем транспорта, экономических расчетов (оценок вариантов), необходимы ЭВМ с быстродействием от 200 до 500 тыс. операций в секунду. Приемлемое время в этом случае измеряется от нескольких минут до нескольких десятков минут. В этом случае требуются ЭВМ среднего и большого класса, не менее чем модель ЕС-1033 и предпочтительнее модели от ЕС-1045 до ЕС-1060.

Особое место в эксплуатационно-технических характеристиках ЕС ЭВМ занимают каналы ввода-вывода. Назначение каналов состоит в организации процесса обмена информацией и командами между оперативной памятью и периферийными устройствами. Обмен может происходить в двух режимах — монопольном, когда работающее периферийное устройство (устройство управления) монополизирует все средства канала до завершения процесса обмена, и мульти-

плексном, когда канал может обслуживать несколько операций обмена.

В ЕС ЭВМ имеются мультиплексные и селекторные каналы. Мультиплексный канал имеет несколько подканалов, которые могут работать в обоих режимах. Селекторный канал имеет только один подканал, хотя несколько каналов могут работать независимо и одновременно.

Наличие мультиплексных каналов существенно расширяет эксплуатационные свойства ЭВМ. Пропускная способность каналов зависит от режима работы, параметров оперативной памяти и определяется скоростью передачи информации, измеряемой в килобайтах (Кбайт). Селекторные каналы передают информацию со скоростью 200—1300 Кбайт и используются для связи со сравнительно быстрыми внешними устройствами. Мультиплексные каналы обслуживают периферийные устройства со скоростью 16—40 Кбайт/с, но число подканалов доходит до 256, а время переключения подканалов настолько мало, что пользователи периферийных устройств не ощущают последовательного решения задач (прохождения программ расчетов).

Подключение ЕС ЭВМ различных по номенклатуре и числу внешних устройств осуществляется с помощью стандартного оборудования и унифицированных каналов связи, называемых интерфейсом. Наличие стандартного интерфейса является важной особенностью ЕС ЭВМ.

Среди технических характеристик ЕС ЭВМ, играющих роль при организации вычислительных центров, следует отметить занимаемую площадь. Для малых ЕС ЭВМ требуется площадь до 50—100 м², средних до 100—150 м², больших до 200—250 м². На этой площади размещают все устройства, включая периферийные минимального комплекта. При выносе периферийных устройств в отдельные помещения площадь, потребная под машинный зал, сокращается в 1,5—2 раза. Существуют типовые проекты размещения ЕС ЭВМ.

Помимо ЕС ЭВМ в практике автоматизированного проектирования все более широкое применение находят малые ЭВМ (типа СМ) и микро-ЭВМ (типа «Электроника»). Первые занимают площадь в 10—40 м², в среднем 15—20 м², т. е. в несколько раз меньшую, чем ЕС ЭВМ, вторые имеют настольное исполнение или

встраиваются в оборудование типа станков с числовым программным управлением, в настольные АРМы.

Масса СМ ЭВМ зависит от комплектности и не превышает 1,5—2 т, потребляемая мощность — не более 20 кВА (АРМы на базе СМ-4). Масса «Электроники» разных моделей — от 30 до 150 кг, потребляемая мощность от нескольких десятых до нескольких кВт·А.

По своим техническим характеристикам, прежде всего по паспортному быстродействию, некоторые из этих ЭВМ не уступают ЕС ЭВМ среднего класса (типов ЕС-1033, ЕС-1035), а по емкости оперативной памяти находятся на уровне малых и средних ЕС ЭВМ. Малые и микро-ЭВМ снабжаются довольно широким набором специальных блоков для расширения их возможностей в направлении увеличения быстродействия, объема оперативной памяти, надежности, обеспечения совместимости с другими машинами, в частности СМ с ЕС ЭВМ.

2.3. Автоматизированные рабочие места (АРМ), микро-ЭВМ и программируемые микрокалькуляторы

На базе СМ ЭВМ созданы автоматизированные рабочие места проектировщика (АРМ), обладающие специализированным программным обеспечением (например, для проектирования машиностроительных изделий АРМ-М), набором периферийных устройств минимального и дополнительного комплекса, обеспечивающие как пакетный, так и диалоговый режим работы. Важной особенностью АРМов является возможность подключения к более мощным ЕС ЭВМ, что позволяет создавать вычислительные сети или комплексы и выходить с решением крупных и сложных задач на универсальные ЭВМ с высоким быстродействием. Относительно простые проектные задачи решаются на малых ЭВМ АРМов в проектном отделе.

АРМы, построенные на базе процессоров СМ, имеют несколько (до 10) развитых операционных систем (в том числе и диалоговую), оперативную память емкостью 128—256 Кбайт, устройства внешней памяти на магнитных лентах и дисках, алфавитно-цифровые и графические видеотерминалы (дисплеи), специализированные широкоформатные графические экранные пульты проектировщика, устройства считывания и преобразова-

ния графической информации и ряд других внешних устройств, позволяющих представлять результаты расчетов в удобной для проектировщика табличной и чертежно-графической форме, а также в виде текстовых сообщений.

Наличие развитых операционных систем, широкого фонда пакетов прикладных программ, а также специальных каналов связи позволяет эксплуатировать автоматизированное рабочее место проектировщика в диалоговом режиме одновременно до 16 проектировщикам — пользователям САПР.

Таким образом, АРМы являются диалоговыми алфавитно-цифровыми и графическими комплексами, применяемыми для автоматизации операций по подготовке, преобразованию и редактированию текстовой и графической информации, решения инженерных, экономических и проектно-конструкторских задач непосредственно в проектных отделах и конструкторских бюро проектных и исследовательских организаций, ведущих автоматизированное проектирование, разработку пакетов прикладных программ и подсистем автоматизированного проектирования.

Широкое распространение в последние годы получили микроЭВМ, которые отличаются от малых и универсальных ЭВМ как принципами построения вычислительного процесса, так и малыми размерами, низкой стоимостью, высокой надежностью. Созданные на их базе микропроцессорные системы включают такой же набор периферийных устройств, как и у малых и больших ЭВМ (алфавитно-цифровые и графические дисплеи, печатающие устройства, графопостроители, накопители на гибких и твердых дисках, дигитайзеры и др.).

Программное обеспечение микроЭВМ выполняется на алгоритмических языках БЕЙСИК, ФОРТРАН, КОБОЛ, ПАСКАЛЬ, АДА и др. Для организации работы имеются различные операционные системы (дисковые, перфоленточные и т. п.).

Основные достоинства микроЭВМ заключаются: в их низкой стоимости (в 3—5 раз меньшей, чем у малых и в 25—50 раз меньшей, чем у универсальных ЭВМ), причем стоимость их постоянно снижается, так как они выпускаются большими сериями (несколько десятков тысяч единиц в год); в малых размерах (занимаемая

площадь не превышает 1,5—3,0 м²), что делает их особенно удобными для установки в проектных отделах, учебных аудиториях; в высокой надежности и легкости работы и обслуживания; в совместимости с наиболее распространенными малыми ЭВМ.

Быстродействие микроЭВМ измеряется несколькими сотнями тысяч операций в секунду, что ставит их в один ряд с малыми ЭВМ. Недостатком их является относительно ограниченный объем памяти — от 8 до 56 Кбайт (реже больше), однако развитие электронной техники очень быстро сводит на нет этот недостаток.

В Советском Союзе в эксплуатации находится несколько типов микропроцессорных систем: Мера-60 и Мера-125 (производство ПНР), Искра-226, Искра-1256 (производство СССР). Основные технические характеристики некоторых микропроцессорных систем приведены в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

Некоторые характеристики микропроцессорных систем

Модель микроЭВМ	Страна-изготовитель	Быстродействие, тыс. оп/с	Оперативная память, Кбайт	Занимаемая площадь, м ²
Мера-60	ПНР	100—250	8—56	2
Мера-125	ПНР	200—800	64	5
Искра-1256	СССР	200—500	64	2
Искра-226	СССР	200—500	128	3

На базе микропроцессорной техники в различных отраслях промышленности создаются персональные профессиональные микроЭВМ, которые представляют собой вычислительные комплексы, имеющие узкоспециализированное программное обеспечение и развитый набор периферийных устройств. Специализация микроЭВМ достигается не схемно, а программно, т. е. путем записи программ в память в процессе изготовления, что позволяет организовать широкий выпуск по назначению персональных профессиональных микроЭВМ — настольных автоматизированных рабочих мест (АРМов).

Одним из реально существующих проявлений микропроцессорной техники являются микрокалькуляторы, выпуск которых освоен в начале 70-х годов. Среди них надо особо отметить программируемые микрокалькуля-

торы, имеющие память и быстроедействие, достаточные для решения определенного круга инженерных, экономических, организационно-технических задач как в проектировании, так и в других отраслях практики. Программируемые микрокалькуляторы позволяют выполнять достаточно сложные расчеты с использованием линейных, разветвляющих, структурных (состоящих из подпрограмм) и циклических программ. В программном режиме записывается в память микрокалькулятора алгоритм, подготовленный пользователем, затем вводятся исходные данные, и микрокалькулятор обрабатывает их в соответствии с записанной программой. Типичными представителями программируемых микрокалькуляторов являются «Электроника БЗ-21» — основная отечественная модель, а также ее модификация «Электроника БЗ-24», имеющая вдвое большую оперативную память для записи чисел и на 60 % — для записи программ. Габариты программируемых микрокалькуляторов позволяют считать их «карманными» ЭВМ; продолжительность работ от автономного источника питания доведена уже до 1000 ч.

Таким образом, в системах автоматизации проектных работ нашли применение все современные типы процессорной техники: от ЕС и СМ ЭВМ до мини-и микроЭВМ на базе новой элементной техники — больших интегральных схем. Дальнейшее развитие мини-и микропроцессоров открывает широкие возможности для создания индивидуальных (настольных) средств автоматизации проектирования, в частности АРМов, имеющих в своем составе дисплей, гибкие магнитные диски, печатающие устройства и графопостроители. На базе программируемых настольных и карманных микрокалькуляторов могут быть созданы проблемно-ориентированные вычислительные устройства для инженерных расчетов, таких, например, как определение параметров буровзрывных работ и т. п.

2.4. Периферийные устройства и их эксплуатационные характеристики

Периферийные устройства делятся на две группы: минимального комплекта, которыми в обязательном порядке комплектуются все ЭВМ, и дополнительного комплек-

та, расширяющего возможности вычислительного процесса для решения специальных задач (диалога, машинной графики).

В состав минимального комплекта обычно входят устройства подготовки данных и ввода-вывода, алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ), электрические пишущие машинки, внешние запоминающие устройства (накопители).

Устройства подготовки данных предназначены для нанесения исходной информации на перфокарты, перфо- и магнитные ленты, другие носители информации. Эти устройства работают независимо от ЭВМ и, как правило, размещаются в отдельных помещениях. После проверки подготовленные данные передаются на устройства ввода.

Устройства ввода-вывода обеспечивают как передачу информации в оперативное запоминающее устройство, так и вывод данных на внешние носители. Устройства ввода — это считыватели с перфокарт, перфолент и других носителей. Устройства вывода в принципе аналогичны устройствам подготовки данных.

А л ф а в и т н о - ц и ф р о в ы е п е ч а т а ю щ и е у с т р о й с т в а предназначены для печати выводимой информации на бумажной ленте шириной от 80 до 420. В строке, печатаемой АЦПУ ЕС ЭВМ, содержится от 128 до 160 знаков. Скорость печати — от 650 до 1100 строк в минуту. АЦПУ является основным устройством, с помощью которого результаты расчетов в виде текстов, таблиц выдаются пользователю.

Для оперативной связи между ЭВМ и оператором в минимальном комплекте периферийных устройств используются электрофицированные пишущие машинки «Консул-260». В отличие от АЦПУ, где печатается одновременно целая строка, машинка печатает знаки последовательно во времени со скоростью 10 знаков/с или 20—30 строк в минуту, т. е. в 30—40 раз медленнее, чем АЦПУ.

В н е ш н и е з а п о м и н а ю щ и е у с т р о й с т в а - н а к о п и т е л и предназначены для хранения больших объемов информации. В ЕС ЭВМ используются НМД — накопители на магнитных дисках («дисковвод») и НМЛ — накопители на магнитных лентах («магнитофон»). Емкость сменных пакетов магнитных дисков составляет 7,25 Мбайт, 29,6 Мбайт, 100 Мбайт соответственно у

НМД ЕС-5056, ЕС-5061, ЕС-5066. Диски имеют 10 или 20 рабочих поверхностей, вращаются со скоростью 2400—3600 мин⁻¹, скорость доступа к информации 90—45 мс; после того как адрес найден, информация выдается со скоростью примерно 150—300 Кбайт/с. Накопители на магнитных лентах (ширина 12,7 мм) имеют емкость 25—50 Мбайт, скорость считывания (записи) 64 Кбайт/с при скорости движения девятидорожечной ленты 2 м/с.

Минимальный набор периферийных устройств обеспечивает только пакетный режим обработки информации, т. е. автоматическое решение по составленной программе без вмешательства человека в ход решения. Такой режим применяется для решения больших по затратам времени и объему информации задач, например подсчет запасов по месторождению, или для задач, в которых заранее предусмотрены всевозможные ситуации решения и четко предусмотрены направления продолжения расчетов в точках алгоритма. В тех случаях, когда автоматический (пакетный) режим решения нежелателен по причинам трудности формализации расчетных процедур или отсутствия ее (например, выбор направления развития по фронту, по глубине карьера, направления вскрытия), или когда решение надо оценить на промежуточном этапе расчета, или при малом объеме вводимой информации — необходимо использовать диалоговый режим, который обеспечивается дополнительным расширенным комплектом периферийных устройств. Этот комплект также позволяет вести обработку графической информации и производить телеобработку данных.

В состав дополнительного комплекта входят алфавитно-цифровые и графические дисплеи, кодировщики графической информации, графопостроители различных типов, устройства системы телеобработки данных и некоторые другие специализированные устройства.

Алфавитно-цифровые и графические дисплеи предназначены для ввода и вывода информации из ЭВМ. Устройства оперативного ввода-вывода без промежуточных носителей информации, обеспечивающие возможности взаимодействия человека с ЭВМ, называются терминалами.

Все терминальные устройства (дисплеи, графопостроители и другие) могут работать в четырех режимах

«on line» (на линии), «off line» (вне линии), еще два режима служат для вывода информации из так называемой «буферной» памяти терминала в ЭВМ или на АЦПУ.

Алфавитно-цифровые дисплеи состоят из электронно-лучевой трубки, устройств управления и формирования знаков, буферной памяти, блока ввода-вывода с клавиатурой и каналов связи с ЭВМ и АЦПУ. В режиме «on line» буферная память дисплея подключается к линиям связи в ЭВМ. В режиме «off line» буферная память соединена с клавиатурой, и терминальное устройство (дисплей) работает автономно. Основным режимом работы дисплеев является режим подключения к ЭВМ (на линии). В этом режиме и происходит диалог пользователя в ЭВМ, который общепризнанно является основным режимом взаимодействия человека с ЭВМ. Основные технические и эксплуатационные характеристики дисплеев приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Основные технические и эксплуатационные характеристики алфавитно-цифровых и графических дисплеев

Тип дисплея	Размер экрана, мм	Число знаков на экране	Число точек (растровая сетка)	Набор символов (знаков)	Число типов линий
ЕС-7061 алфавитно-цифровой	150 × 200	До 1024	—	64	—
ЕС-7063 алфавитно-цифровой	150 × 200	» 1024	—	96	—
ЕС-7064 графический	250 × 250	» 2100	1024 ²	96	1
ЕС-7066 алфавитно-цифровой	180 × 320	» 960	—	96	—
ЕС-7927 алфавитно-цифровой	220 × 300	» 1920	—	96	—
Видеотон-340 алфавитно-цифровой	140 × 200	» 1024	—	96	—
ЭПГ графический (АРМ-Р)	200 × 240	» 2100	1024 ²	96	4

Наибольшее распространение получили дисплейные станции и ЕС-7906 и ЕС-7920, состоящие из 8—16 дисплеев типа ЕС-7066 и ЕС-7927 с соответствующими устройствами управления и сопряжения.

Дисплейные станции подключаются к ЭВМ через мультиплексный канал, обеспечивающий одновременную работу дисплеев в режиме разделения времени (или

режиме мультидоступа). ЭВМ последовательно опрашивает все терминалы и, при наличии запроса, обслуживает пользователя, затем переходит к следующему терминалу и т. д. Вследствие высокого быстродействия ЭВМ создается впечатление, что никто, кроме данного пользователя, не работает с ЭВМ в данный момент времени. Помимо системы разделения времени (СРВ), организующей работу ЭВМ для диалогового режима, необходима специальная «подсистема диалоговых процедур», организующая работу пользователя за терминалом и взаимодействие с программой расчетов, написанной для диалогового взаимодействия человека с ЭВМ.

Подсистемы диалоговых процедур работают либо в режиме «директив», либо в режиме «меню». В режиме «директив» на экране дисплея высвечиваются команды (директивы) типа «введите параметр «а» и пользователь должен на клавиатуре набрать величину этого параметра, например цифру 2. После выполнения расчета по разделу программы, где используется этот параметр, задается новая директива, например «укажите, в каком направлении продолжать расчет: «1» или «2» и т. д. до завершения всего расчета по программе проектной задачи. После окончания диалога ЭВМ запрашивается форма выдачи результатов: нужны ли «промежуточные результаты» или только «конечные», нужна ли «распечатка на АЦПУ» или только «высвечивание» на экране дисплея и по запросу выдаются необходимые данные.

В режиме «меню» пользователю предлагается выбрать из набора данных требуемую по его мнению величину; после расчета этой части задачи предлагается сделать новый выбор из нескольких величин или диапазона их следующего параметра, соответствующий этапу расчета и так до завершения решения.

При автономном использовании дисплея (режим «off line») с помощью клавиатуры можно вводить и редактировать текст, при этом имеется возможность стирания всего текста на экране, стирания одной строки, замена символов в тексте и тому подобных операций. Место на экране, где производится редактирование, обозначает специальная светящаяся метка — «курсор», перемещение которой осуществляется нажатием специальных клавиш. В совместном использовании с ЭВМ (режим «on

line») можно производить составление и отладку программ, что позволяет избежать использования промежуточных носителей-перфокарт и значительно (в несколько раз) ускоряет процесс программирования и отладки программ.

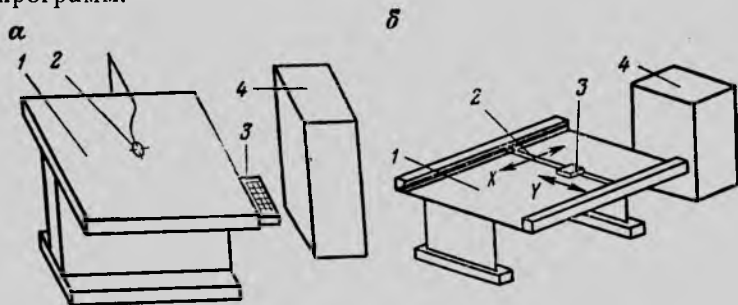


Рис. 2.2. Средства считывания и отображения информации:

а — кодировщик графической информации; 1 — планшет кодировщика; 2 — визир съема информации; 3 — пульт кодирования; 4 — пульт управления; б — графопостроитель планшетного типа; 1 — планшет; 2 — траверса; 3 — пирующий узел; 4 — пульт управления

Кодировщики графической информации (дигитайзеры) служат для съема и ввода графической информации в ЭВМ путем преобразования в цифровой код начертаний линий и символов чертежей, графиков, схем и других графических документов (рис. 2.2, а). Различают автоматические и полуавтоматические устройства съема графической информации. Автоматические делятся по принципу действия на два типа: сканирующие и следящие. В сканирующих устройствах поле чертежа просматривается построчно с помощью развертывающих систем. Следящие устройства «отслеживают» линии чертежа, прогнозируя возможное продолжение их и производя поиск ближайших точек линии при случайном сходе. Общим для устройств обоих типов является использование фотоэлектрического эффекта. Автоматические кодировщики имеют ограниченное применение: для считывания графиков и несложных графических изображений.

Полуавтоматические устройства используют следующий принцип действия. Оператор устанавливает рабочий орган устройства в заданную точку чертежа, координаты этой точки вычисляются и представляются в цифровом коде автоматически. Эта операция затем пов-

торяется со следующей точкой и т. д. до тех пор, пока не будут сняты и переданы координаты всех точек. Помимо кодирования координат точек (линий и т. п.) имеется возможность вводить «признак» координат. Так, например, при съеме информации о контурах полезного ископаемого кодируются не только точки контура, но и их принадлежность к определенному типу полезного ископаемого. К полуавтоматическим устройствам, работающим в составе АРМов на базе СМ ЭВМ, относится УПГИ (устройство считывания и преобразования графической информации в цифровой код — на перфолен-ту). Кодировщик типа ЭМ-709, также используемый в АРМ-Р, имеет максимальный размер кодируемого чертежа 900×1200 мм, погрешность съема координат $\pm 0,2$ мм.

В качестве устройства ввода-вывода графической информации используются графические дисплеи, однако возможности их ограничены, так как высока погрешность съема, а изображение не является документом.

Графопостроители (плоттеры) предназначены для автоматического вычерчивания проектной графической документации (чертежи, схемы, графики и т. п.).

По размещению носителя (бумаги, кальки, пленки) графопостроители делятся на планшетные, рулонные и барабанные. Планшетный графопостроитель представляет собой специальный чертежный стол, оборудованный электромеханическими траверсами и каретками с самописцами (от одного до четырех), перемещающимися по осям x и y (рис. 2.2, б). Каретка с самописцами рулонного барабанного графопостроителя перемещается только вдоль оси y ; координата x обрабатывается за счет перемещения носителя y рулонного и вращения реверсивного барабана с носителем y барабанного графопостроителя. В практике проектирования наиболее распространены планшетные графопостроители, хотя рулонные и барабанные имеют свою область применения, например, при вычерчивании трасс путей и других вытянутых изображений. Технические и эксплуатационные характеристики отечественных и зарубежных графопостроителей, совместимых с ЕС ЭВМ, приведены в табл. 2.4.

К эксплуатационным характеристикам графопостроителей относятся шаг пишущего элемента, составляющий

Технические и эксплуатационные характеристики графопостроителей, совместимых с ЕС ЭВМ

Модель, тип, страна-изготовитель	Размеры рабочего поля, мм	Шаг пишущего элемента, мм	Максимальная скорость вычерчивания, мм/с	Число самописцев цветов изображения	Тип линий (основных)
ЕС-7051 планшетный (СССР)	1000 × 1050	0,05	50	3	Сплошная, штриховая, пунктирная
ЕС-7052 рулонный (СССР)	380 × 600	0,1, 0,05	200	3	Сплошная
ЕС-7053 рулонный (СССР)	841 × 1600	0,1	150	3	Сплошная, штриховая, пунктирная
ЕС-7054 планшетный (ЧССР)	1200 × 1600	0,05	100	4	То же
Картимат планшетный (ГДР)	900 × 1200	0,05	35	4	»
Бенсон 220 планшетный (Франция)	840 × 1200	0,1	60	4	»
Бенсон 121 рулонный (Франция)	740 × 1000	0,1	90	1	»

0,05 или 0,1 мм, типы изображаемых линий (сплошная, штриховая, пунктирная и пр.), скорость вычерчивания, масштаб изображения.

Система вывода графической информации с использованием графопостроителя включает:

- оператор, подготавливающий исходные данные;
- ЭВМ, производящую расчет данных для черчений;
- устройство управления исполнительными приводами движущих органов графопостроителя;
- графопостроитель, в котором пишущее устройство перемещается по рабочему полю.

Наиболее производительна эта система работает при наличии специального (проблемно-ориентированного) программного обеспечения.

Графопостроители имеют три режима эксплуатации.

Автономный. Графическое устройство работает обособленно от ЭВМ. В этом случае результаты расчетов на ЭВМ заносятся на промежуточную магнитную или перфоленту, информация с которых затем считывается специальными устройствами, входящими в комп-

лект графопостроителя или сконструированными индивидуально.

Центра л и з о в а н н ы й. Графопостроитель через соответствующий канал непосредственно подключается к ЭВМ через устройство управления.

Д и с т а н ц и о н н ы й. В этом режиме графопостроитель удален от ЭВМ на значительное (до нескольких сотен километров) расстояние. Управление работой графопостроителя производится посредством данных, передаваемых по каналам связи, что требует определенной организации взаимодействия системы «ЭВМ — удаленное периферийное устройство».

Для графопостроителей характерна работа в автономном режиме («off line»).

Периферийные устройства САПР могут оказаться удаленными от ЭВМ на значительное расстояние. Технические возможности, например дисплеев, позволяют эксплуатировать их на расстояниях не более 60—1200 м (ЕС-7066, ЕС-7927); при большем удалении от вычислительного центра возникает необходимость в специальной аппаратуре связи. При этом вычислительная сеть (ЭВМ — связь — терминал) рассматривается как система телеобработки данных.

Применяются следующие типы каналов связи: телефонный, телеграфный, широкополосный, имеющие соответственно скорость передачи информации от 50 до 300, 4800 и 48 000 бит/с. Типичная схема связи абонентских пунктов (терминалов) включает после ЭВМ специальное устройство — мультиплексор передачи данных, подготавливающий информацию для сопряжения ЭВМ с аппаратурой передачи данных по телефонному или телеграфному каналу. В сочетании с некоторым дополнительным оборудованием мультиплексор, аппаратура передачи данных и абонентский пункт составляют системы телеобработки данных. С помощью этих систем производится подключение к удаленным ЭВМ, вычислительным центрам коллективного пользования.

2.5. Техническое обеспечение вычислительных центров

Проектные институты. В зависимости от числа и сложности решаемых на ЭВМ задач техническое обеспечение вычислительных центров подразделяется на одно-, двух- и трехуровневое. При одноуровневом комплексе технических средств САПР обычно используют

ся ЭВМ малых и средних классов (от ЕС-1022 до ЕС-1045), находящиеся в составе вычислительных центров институтов. В проектных отделах могут эксплуатироваться АРМы, микропроцессорные ЭВМ, не связанные с ЭВМ, находящейся в вычислительном центре. Организация работы в вычислительном центре осуществляется через диспетчера, т. е. пользователи «вручную» передают подготовленные данные на ВЦ, где производится их обработка и выдача. Терминальные устройства в проектных отделах отсутствуют.

При двухуровневой организации создается вычислительная сеть, включающая центральный вычислительный комплекс (ЦВК), оборудованный ЭВМ крупного класса (не ниже ЕС-1050, ЕС-1060) и периферийные ЭВМ, входящие в состав АРМов, микропроцессоры (нижний уровень). ЭВМ нижнего уровня управляют работой внешних периферийных устройств, осуществляют обмен информацией с ЦВК, решают сравнительно небольшие по затратам машинного времени и памяти проектные задачи. Сложные задачи решаются на ЭВМ второго уровня. Здесь создаются банки данных, используемых на обоих уровнях.

Треухуровневая конфигурация технических средств САПР характерна для особо сложных и больших по масштабам проектных задач. На высшем уровне решаются наиболее сложные задачи, хранится центральная база данных. Средний уровень обеспечивает подключение терминалов нижнего уровня к центральному процессору системы. Нижний уровень представлен терминалами с мини- или микроЭВМ, графопостроителями, кодировщиками, дисплеями и другой аппаратурой. ЦВК трехуровневой конфигурации представлен высокопроизводительной многопроцессорной ЭВМ.

Типичной конфигурацией технических средств для проектных институтов, начинающих освоение САПР, является одноуровневый комплекс, а для накопивших опыт и расширяющих сферу действия САПР — двухуровневая конфигурация.

Такие же принципы комплектования технического обеспечения применяются и для создания учебно-проектных вычислительных центров в высших учебных заведениях.

Учебно-проектные вычислительные центры САПР создаются в ВУЗах, на факультетах

и институтах повышения квалификации. При одноуровневой структуре вычислительное подразделение создается на отдельной кафедре в виде кабинета автоматизированного проектирования (или учебной лаборатории).

Техническое обеспечение содержит восемь алфавитно-цифровых дисплеев ЕС-7927, подключаемых к ЕС ЭВМ с объемом оперативной памяти не менее 512 кбайт и с быстродействием не менее 100—200 тыс. операций в 1 с через устройство группового управления ЕС-7922. Для документирования результатов расчетов используются 1—2 удаленных печатающих устройства ЕС-7936 (АЦПУ). Кабинет автоматизированного проектирования оснащается также 1—2 графопостроителями планшетными (реже рулонными) типа ЕС-7051 или ЕС-7054 и 1—2 накопителями на магнитной ленте, предназначенными для записи графической информации и ее воспроизведения на графопостроителе в автономном режиме.

В качестве одного из технических средств может быть использована и графическая терминальная станция (ГТС), обеспечивающая вывод графической информации на экраны телевизионных приемников (четыре — от одной ГТС). Такой кабинет автоматизированного проектирования может одновременно обслуживать 8—10 студентов, индивидуально пользующихся терминалами или 16—20 при индивидуально-бригадном методе (два студента на терминал). Кабинет автоматизированного проектирования может быть разделен на классы, дисплейный и графопостроителей, что позволяет специализировать их работу и увеличивает пропускную способность. ЕС ЭВМ обычно находится в составе институтского (реже факультетского, кафедрального) ВЦ.

Обучение студентов использованию ЭВМ в практике проектирования (с выполнением расчетов, как правило, в пакетном режиме), предшествующее созданию структуры одноуровневой организации учебно-проектной САПР, следует считать предварительным этапом создания УП САПР, обеспечивающим подготовку методического, программного и других видов обеспечений.

Одноуровневая организация рассматривается как первая очередь создания УП САПР (I очередь), обычно ориентированная на подготовку инженеров-пользователей САПР по одной-двум специальностям.

Кабинет автоматизированного проектирования первой очереди САПР может быть создан и на базе СМ ЭВМ.

В этом случае используется ЭВМ типа СМ-4 (или АРМ) с 4—8 дисплеями (видеотерминалы ВТА-2000) и устройствами отображения графической информации ЭПГ СМ (СМ-7300), устройствами считывания графической информации УПГИ (СМ-6402), другими устройствами (АЦПУ и т. п.).

Двухуровневая организация (учебно-проектная САПР II очереди) структурно объединяет 1—2 кабинета автоматизированного проектирования и 1—2 дисплейных кабинета, организованных на базе микропроцессорных ЭВМ (или СМ ЭВМ), кабинет машинной графики. Такое техническое оснащение требует создания институтского (факультетского) вычислительного центра в составе одной ЭВМ типа ЕС-1045 или более высокого класса, управляющей работой ЭВМ от ЕС-1022 до ЕС-1040, обеспечивающих функционирование кабинетов (лабораторий) УП САПР или микропроцессорных (дисплейных) классов (кабинетов). На центральной ЭВМ создается банк данных, обеспечивающих выполнение сложных расчетов, больших по объему информации.

При трехуровневой организации УП САПР (III очередь) центральный вычислительный комплекс (ЦВК) управляет работой ЭВМ II и I уровней. В качестве основной ЭВМ ЦВК используются ЕС-1060, ЕС-1062, ЕС-1065 или производятся подключения к сетям коллективного пользования (ВЦКП).

Трехуровневая организация УП САПР характерна для ВУЗов, ведущих подготовку широкого круга специалистов по автоматизированному проектированию — от разработчиков систем до пользователей.

При подготовке горных инженеров-пользователей САПР, т. е. инженеров-технологов, умеющих вести автоматизированное проектирование, достаточно иметь первоначально одноуровневую, а по мере развития методического программного обеспечения двухуровневую УП САПР (II очереди).

Помимо технического обеспечения требуются и эксплуатационные виды обеспечения — прежде всего штаты, которые на ЕС ЭВМ типа ЕС-1022, ЕС-1033 (одноуровневая организация) составляют от 25 до 35—40 человек обслуживающего персонала при двухсменной работе (нормативное время работы ЭВМ — 16 ч/сут). В значительных количествах расходуются перфокарты (до 150—200 тыс. шт. в год), бумага АЦПУ 1200—

1500 кг/год, магнитные ленты и ряд других материалов, в частности расход электроэнергии составляет 300—450 кВт·ч в сутки. Все это обуславливает высокую стоимость машино-часа работы ЭВМ, которая у моделей среднего класса колеблется в диапазоне 80—150 руб/ч. Поэтому при создании вычислительных центров проектных институтов и ВУЗов выполняется технико-экономическое обоснование, а автоматизированное проектирование становится эффективным тогда, когда на ЭВМ выполняются сложные и многовариантные расчеты, не реализуемые вручную и получаются решения, приносящие эффект как в сфере проектирования, так и в сфере производства — за счет оптимальных проектных решений.

Перспективы развития электронной вычислительной техники имеют следующие направления:

во-первых, совершенствование ЕС ЭВМ, нашедшее отражение в системе «Ряд-2», что позволило создать ЭВМ с более совершенной логической структурой, возросшей производительностью центральных процессоров (миллионы операций в секунду), возможностью объединения во многомашинные комплексы и другими особенностями, относящимися к периферийному оборудованию;

во-вторых, развитие малых ЭВМ, что создает условия для эффективного использования вычислительной техники при автоматизации обработки результатов научных исследований и в проектно-конструкторских работах; в частности, на базе совершенствования СМ ЭВМ создается новое поколение специализированных АРМов, имеющих значительно расширенные возможности осуществления диалога «человек — ЭВМ», автоматизации чертежно-графических работ;

в-третьих, создание на основе новых логических структур принципиально новых ЭВМ с перестраиваемой структурой, обладающих исключительными характеристиками в области быстродействия и обслуживания большого и разнообразного набора периферийных устройств (дисплеев, графопостроителей и др.);

в-четвертых, создание на базе микропроцессорных ЭВМ (микроЭВМ) настольных терминальных комплексов, совместимых с ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ, высокопроизводительных, исключительно малых по габаритам (настольных) устройств, предназначенных для авто-

матизированных проектных расчетов. К ним относятся комплексные места программистов, настольные АРМы. Наличие специальных устройств позволяет эффективно использовать универсальные ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ и разработанные для них пакеты прикладных программ. Автономный режим работы микропроцессорных комплексов создает условия для творческого труда проектировщиков. Для многих незначительных по объему расчетов весьма перспективным является использование программируемых микрокалькуляторов, для которых могут быть созданы типовые программы расчетов.

3. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ САПР

3.1. Методы математического моделирования

Моделированием называется построение или выбор и изучение моделей для получения новых знаний об объектах. Методы моделирования подразделяются на натурные, макетные, эвристические и математические. К группе математических методов относятся: списковое, аналитическое, эмпирическое, имитационное.

При списковом моделировании объект описывается в виде таблиц, графиков, словарей, элементами которых могут быть числа, векторы, слова. В памяти ЭВМ списковые модели оформляют в виде информационных массивов или информационных банков. Например, в памяти ЭВМ хранится списковая модель состояния и развития экономики горного предприятия за длительный период, позволяющая посредством ЭВМ оперативно решать различные задачи планирования и управления предприятием, проводить сравнительный анализ технико-экономических показателей (производительности всех видов и моделей оборудования, технологических схем и т. д.), их динамики и давать оценки результатов работы предприятия, находить «узкие места», определять задачи перспектив развития, регулировать запасы материальных ресурсов и т. д.

Аналитическое моделирование в практике решения инженерно-технических задач является наиболее распространенным. На языке аналитической математики описываются элементы объекта, взаимодействие их между собой и внешней средой.

В практике геологической разведки месторождений, проектировании и планировании горных работ находят применение различные аналитические модели месторождений полезных ископаемых, развития горных работ в карьере и др.

Эмпирическое моделирование применяется для описания сложных многофакторных объектов и процессов. Основным аппаратом эмпирического моделирования является математическая статистика и теория аппроксимации. Эмпирическое моделирование применяется, например, для выбора рациональных форм инженерных объектов, имеющих сложное очертание.

Теоретический путь решения таких задач недостаточно разработан. Поэтому в большинстве практических задач решение может быть найдено посредством эмпирического моделирования, при котором проектировщик, опираясь на опыт и понимание физической сущности задачи, намечает ряд вариантов и форм, которые описываются математической моделью. Затем на основе модели на ЭВМ исследуются технические возможности и экономическая оценка вариантов, т. е. получают данные для принятия решения.

При этом могут возникать различные виды задач описания геометрических форм и их построения. В первом случае форма задана чертежом, и для того, чтобы получить ее математическое описание, необходимо снять координаты упорядоченного множества точек поверхности и затем ограничиться списковой моделью или подобрать уравнение функции, приближающей поверхность тела. Во втором случае требуется построить форму, отвечающую заданным требованиям.

Множество задач горного дела, базирующихся на использовании практического опыта, сборе и обработке статистической информации решаются с использованием методов эмпирического моделирования. К числу таких задач относятся, например, задачи проектирования параметров карьеров, выбора направления развития горных работ в карьере и другие, основанные на дискретных и дискретно-аналитических моделях месторождений, карьеров, отвалов.

Имитационное моделирование позволяет расчетным путем получать и обрабатывать статистическую информацию о поведении объекта в различных «проигрываемых» ситуациях. Методами имитационного моделирования решаются задачи расчета потребного парка горно-транспортного оборудования и др.

При решении многих сложных задач горного производства применяются совместно различные методы и приемы.

3.2. Основы информационного обеспечения САПР-карьер

Основными руководящими документами для создания и эксплуатации САПР являются «Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию систем автоматизированного проектирования (САПР)» — ОРММ, а также ГОСТы и стандарты СЭВ.

Согласно ОРММ информационное обеспечение входит в число основных видов средств обеспечения САПР наряду с методическим, программным, техническим и организационным.

Специфика горного производства и уникальность объектов проектирования, в качестве которых выступают горные предприятия (карьеры, рудники, шахты), являющиеся динамичными и многофакторными природно-технологическими комплексами, требуют создания оригинальных методического и информационного обеспечений.

Информационное обеспечение предназначено для получения исходной информации из различных источников, фиксацию их на первичных документах, кодирование и декодирование отдельных реквизитов, разработку и согласование выходных форм проектных документов, определение и увязку информационных потоков, подготовку исходной документации для ввода в ЭВМ, формирование и сервисное обслуживание базы данных системы, выдачу информации программы пользователей.

Компонентами информационного обеспечения являются документы, содержащие описания стандартных процедур, типовых проектных решений, типовых элементов, исходную геологическую информацию, и другие данные, а также наборы данных на машинных носителях с записью указанных документов, обеспечивающие функционирование соответствующих подсистем САПР.

Совокупность компонентов информационного обеспечения образует информационную базу (базу данных) САПР, а совместно с системой управления расчетами образуют банк данных.

К основным компонентам относятся: схема информационных потоков системы, схемы информационной увязки, эталонные альбомы форм документов (как входных, так и выходных), макеты и инструкции по перфорации

данных, инструкции по работе с исходными и выходными данными, логическая структура базы данных системы, инструкции и должностные обязанности лиц, обеспечивающих процесс получения и подготовку данных для ввода в базу данных системы, справочники шифров, используемых в системе, пакеты прикладных программ по формированию, сервисному обслуживанию базы данных и по выдаче информации программам пользователей, необходимые инструкции системным, прикладным программистам, а также операторам ЭВМ.

Компоненты информационного обеспечения должны создаваться на основе гибкой структуры, приспособленной к пополнению и объединению, обеспечения точности стандартных и нормативных данных и обеспечения санкционированного доступа к базам данных.

Информационное обеспечение САПР-карьер содержит входную, промежуточную и выходную информации. Входная информация состоит из геологической, технологической, организационно-экономической, технической. Каждый из перечисленных видов информации может иметь различное назначение, исходные данные, нормативно-справочную информацию, фактические показатели работы, плановые показатели, результаты анализа.

Исходная геологическая информация, характеризующая месторождение, включает данные о свойствах горного массива и о геометрии распространения этих свойств.

Исходная технологическая информация содержит данные о параметрах и показателях карьеров, рабочей зоны, системах разработки, вскрытии, технологической схеме обогащения и др. При считывании, кодировании и хранении технологической информации следует по возможности использовать те же принципы, что и для геологической информации.

Техническая информация объединяет данные о процессах горных работ и рудоподготовки, горно-транспортному и обогатительному оборудованию. Значительный ее объем занимает нормативно-справочная информация и фактические показатели работы.

В организационно-экономическую информацию входит информация, связанная с экономикой, организацией и управлением производством.

Средства графического и текстового документирова-

ния выходной информации в процессе проектирования должны обеспечить:

кодирование графической и текстовой информации; формирование графических и текстовых документов; выдачу графической и текстовой информации на графические устройства, дисплеи или АЦПУ.

Оформление компонентов информационного обеспечения должно соответствовать требованиям стандартов СЭВ и Государственным стандартам. Оформление программ должно производиться по Единой системе программной документации СЭВ (СТ СЭВ 2088-80—СТ СЭВ 2097—80).

При передаче математической модели конкретного месторождения из одной организации в другую должны быть представлены:

наборы данных и программное обеспечение на машинных носителях, описание программ и набора данных, а также инструкции по работе с документами.

Должно быть предусмотрено архивное хранение информационного фонда и возможность графического отображения необходимой информации.

Обмен материалами должен основываться на принципе информационного единства, состоящем в том, что в компонентах САПР должны использоваться установленные термины, символы, условные обозначения, проблемно-ориентированные языки программирования и способы представления информации.

3.3. Организация данных в САПР

Для накопления и хранения информации о проектируемых объектах требуются машинные запоминающие устройства большой емкости. Ранее, когда для хранения данных использовались в основном магнитные ленты, применялся последовательный метод организации информации в виде независимых массивов. Это осложняло технологию обработки данных, так как для поиска конкретной информации приходилось просматривать весь массив. С появлением устройств прямого доступа большой емкости — магнитных дисков — стало возможным накопление информации существенно новым способом — в виде банка данных.

Банк данных — это система организации, введения и хранения интегрированной информации, которая

расположена на машинных носителях и предназначена для многоцелевого комплексного использования. Основными составными элементами банка данных являются — база данных (БД) и система управления базой данных (СУБД).

База данных представляет собой совокупность данных, определенным образом организованных и используемых для решения задач САПР.

Вся информация базы данных делится на условно-постоянную и переменную части. Условно-постоянную часть составляют данные о характеристиках средств комплексной механизации, экономических показателях, а также данные о типовых проектных решениях и сведениях научно-технического прогресса. Объем условно-постоянной части базы данных зависит от способа организации данных и составляет примерно 1—3 Мбайт.

Переменная часть базы данных, включающая информацию о геологии месторождения и маркшейдерских планах, удобно делится на тома, каждый из которых представляет данные по отдельному месторождению. Объем отдельного тома зависит от размеров месторождения и метода моделирования и колеблется в пределах 6—12 Мбайт.

Система управления базой данных — это совокупность программных средств, ориентированных на организацию, создание, хранение, обновление доступа из прикладных программ и обеспечения целостности данных. Языки описания данных и манипулирования с ними являются составными частями этой системы.

СУБД разрабатывается в виде общесистемных пакетов прикладных программ и предназначается для многоцелевого применения. Например, система ИНЕС предназначена для решения информационных задач со сложноструктурной информацией большого объема. В состав ИНЕС, кроме двух различных систем управления базами данных, входит множество компонент: прикладные программы, трансляторы, интерпретаторы, средства программирования и другие как для работы с базами данных, так и системные. В ИНЕС имеются средства обеспечения активного диалога работы с ЭВМ, и при наличии соответствующего оборудования обеспечивается телекоммуникационный метод доступа к данным.

СУБД организует взаимодействие между приклад-

ными программами (ПП), базой данных и операционной системой (ОС). На рис. 3.1 схематически показана последовательность (цифры у дуг) основных действий названных компонент.

1. ПП, находящаяся в памяти ЭВМ, выдает запрос СУБД, сообщая в запросе значения ключа сегмента или записи.

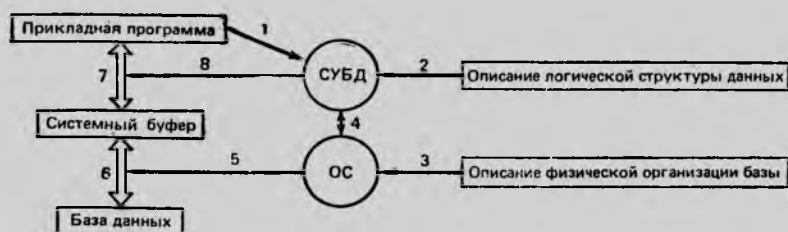


Рис. 3.1. Схема взаимодействия между прикладными программами, базой данных и операционной системой

2. СУБД, используя описание данных в ПП и их логическую структуру, определяет, какого типа логические данные необходимы для выполнения запроса.

3. СУБД прочитывает описание физической организации базы данных и определяет физическую запись, затребованную в запросе.

4. Из СУБД передается управление операционной системе на считывание выясненной физической записи.

5—6. Операционная система взаимодействует с физической памятью и запрошенные данные передаются в буфер системы, где СУБД выделяет требуемую логическую запись.

7. СУБД передает в рабочую область прикладной программы затребованные данные.

8. ПП обрабатывает полученные данные в зависимости от целей, поставленных в программе, либо выдает данные на печать, либо записывает в файлы на магнитной ленте, либо заносит их снова в базу данных. В последнем случае очередность всех действий повторяется, за исключением того, что из системы буфера данные записываются в базу, а не в рабочее поле.

Информационное обеспечение является важнейшим из всех других составляющих компонент САПР.

Организация информационного обеспечения должна удовлетворять следующим требованиям: минимальной

трудности сбора информации; полноты и достоверности данных, отображающих проектируемые объекты; обеспечения однократности сбора и ввода информации, многократности и многоцелевого ее использования; накопления на базе данных информации с минимальным дублированием; развития информационного обеспечения путем наращивания данных и организации новых связей; возможности организации доступа к данным с различных уровней структур; организации одновременного

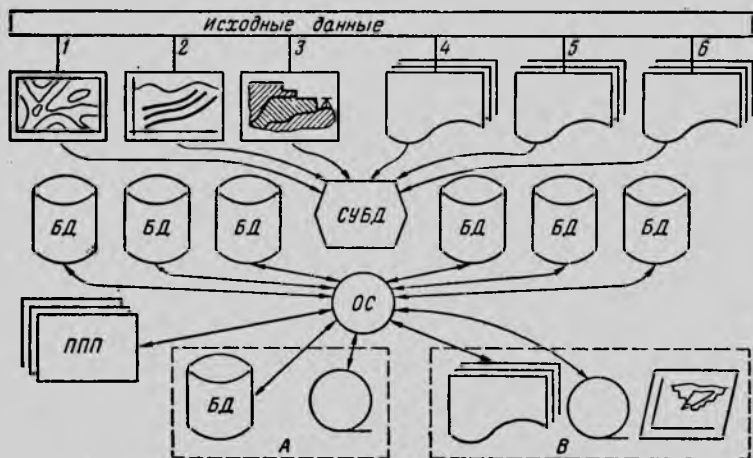


Рис. 3.2. Схема связи данных в вычислительной среде:

1—2 — данные о природно-геологических условиях; 3 — технологические параметры и маркшейдерские планы; 4 — данные о средствах комплексной механизации; 5 — экономические данные; 6 — типовые проектные решения; А — промежуточные данные; В — выходные данные

доступа к базе данных групп пользователей; работы в режиме диалога с ЭВМ; защиты данных от разрушения.

Компоненты базы данных САПР карьеров. Вся информация, циркулирующая в САПР, по функциональному назначению делится на исходные, промежуточные и выходные данные (рис. 3.2).

Исходные данные. Для горнодобывающей промышленности, несмотря на различие отраслей (угольная, железорудная, цветная, строительных материалов и т. д.), характерна общая структура исходных данных. При этом внутреннее содержание данных всегда предметно адаптировано не только по отраслям и регионам,

но и по конкретным проектным организациям, так как каждая проектная организация отрасли специализируется на ограниченном круге объектов региона.

В результате САПР проектного института оперирует исходными данными, характерными для отрасли, а также для регионов и объектов. В целом информационная база включает следующие компоненты:

технические характеристики средств комплексной механизации;

экономико-организационные условия;

природно-геологические условия месторождений;

маркшейдерские планы;

технологические параметры;

типовые проектные решения;

сведения о научно-техническом потенциале и др.

Каждая из составляющих информационной базы представляется в виде отдельного раздела или компоненты. Необходимость такого деления обусловлена природой данных.

Раздел о технических средствах комплексной механизации включает информацию о типах и характеристиках оборудования, используемого в технологическом процессе горных работ. Эта компонента во многих отношениях инвариантна различным отраслям горной промышленности, так как одни и те же типы экскаваторов, автомобилей и другое оборудование используются и в других отраслях. Поэтому информация об оборудовании формируется по паспортным данным заводов-изготовителей на каждый тип машин.

Экономико-организационная компонента информационной базы представляет экономические и организационные данные проектируемого производства. Экономическая компонента включает цены на оборудование, монтаж и строительство типовых объектов, энергоснабжение и т. д. Источником информации служат постоянные и временные нормативные документы, различные СНИПы, основные технико-экономические показатели по объектам-аналогам. Для реконструируемых объектов, кроме перечисленных, вносится информация об основных производственных фондах объектов и сложившейся организационной структуре предприятия и др.

Раздел информационной базы о природно-геологических условиях характеризует географические и геологические условия проектируемого производства. В про-

ектном институте сосредотачивается информация по нескольким объектам, каждый из которых включает общие и детальные данные геологической разведки. Эта компонента информационной базы представляется большим объемом информации.

При создании проектов реконструкции необходима информация о положении горных работ в карьере, о топологии горных выработок и транспортных коммуникаций. Совокупность этих данных, именуемых маркшейдерскими планами и разрезами, представлена графически и имеется на каждом действующем предприятии. Характерной особенностью этой информации является динамичность и использование ее не только на стадии проектирования, но и планирования.

Данные о технологических параметрах характеризуют проектируемый объект как в общем, так и детальном плане. Эта информация сугубо специфична только для проектируемого объекта и включает данные о производственной мощности, связях между технологическими цехами, системах разработки и их параметрах.

Раздел информационной базы о типовых проектах содержит характеристики типовых проектных решений. Например, данные о наличии (или отсутствии) проектов типовых конструкций зданий, сооружений и основные технические характеристики этих проектов. Наличие данных о типовых проектных решениях в значительной мере снижает трудозатраты на проектирование конкретных объектов производства. Эта компонента информационной базы именуется библиотекой типовых проектных решений. Без этих компонент полная автоматизация проектных работ практически невозможна.

Наряду с указанными обязательными компонентами информационной базы важное значение имеет компонента, характеризующая научно-технический потенциал. В процессе разработки технических решений по проектируемому объекту в поисках прогрессивных решений проектные организации изучают патентную литературу, знакомятся с состоянием научно-исследовательских работ, анализируют информацию о новых технических разработках и т. д.

Осуществление автоматизированного накопления и поиска научно-технической информации выполняет существенную роль в генерации новых технических реше-

ний. Структура этой компоненты информационной базы хорошо разработана в информационно-поисковых системах.

Промежуточные данные генерируются в процессе решения задач и хранятся, так же как исходные, в базе данных. Промежуточные данные циркулируют между задачами, программами и модулями. Необходимость в промежуточной информации возникает в двух случаях: невозможность получения конечных результатов одной программой; генерируемая одной программой информация предназначена для использования в ряде задач. Перечень, объем и структура промежуточных данных определяются в техническом проекте САПР, обуславливаются технологией обработки информации и набором технических средств.

Выделение промежуточной информации значительно облегчает процесс программирования, так как появляется возможность делить систему на отдельные блоки и выполнять их самостоятельное программирование.

Выходные данные — результаты решения задач, получаемых в табличной или графической форме. Состав, число и форма представления выходных данных определяются требованиями задач проектирования и, как правило, в каждом проектно-институте устанавливаются конкретно.

Связь между всеми типами данных на логическом и физическом уровне осуществляется оперативной системой конкретной ЭВМ и СУБД посредством запросов из прикладных программ.

Каждая СУБД представляет пользователю определенный круг возможностей для ввода-вывода данных в рамках принятой терминологии и языка описания данных.

3.4. Основные положения разработки программного обеспечения

Повышение эффективности разработки и использования программного обеспечения стало сейчас важнейшей задачей развития вычислительной техники, так как его стоимость резко возросла и в ряде случаев превышает половину стоимости всей вычислительной системы.

С 1980 г. введена в действие Единая система программной документации (ЕСПД), представляющая со-

бой комплекс государственных стандартов и стандартов СЭВ, которые устанавливают требования, регламентирующие разработку, сопровождение, изготовление и эксплуатацию программ для:

унификации программных изделий и взаимного обмена программами и применения ранее разработанных программ в новых разработках;

снижения трудоемкости и повышения эффективности разработки и эксплуатации программных изделий;

автоматизации изготовления и хранения программной документации.

ГОСТ 19.102-77 устанавливает стадии разработки программы и программной документации, этапы и содержание работ. Стадии разработки программ: техническое задание; эскизный проект; технический проект; рабочий проект; внедрение.

На стадии технического задания делается обоснование необходимости разработки программы, производится постановка задачи, сбор исходных материалов, выбор и обоснование критериев эффективности программы, выполняются при необходимости научно-исследовательские работы. На стадии эскизного проекта проводится предварительная разработка структуры входных и выходных данных, уточнение методов решения задачи, разработка общего описания алгоритма решения задачи, разработка технико-экономического обоснования.

На стадии технического проекта уточняются структура и форма входных и выходных данных, окончательно определяются алгоритм решения задачи и структура программы.

Рабочий проект — основная стадия работы над программой. Первый ее этап — разработка программы, т. е. программирование и отладка программы. Результатом этого этапа является изготовление программы-оригинала. На втором этапе разрабатывается программная документация. Последний этап — испытания программы — включает разработку, согласование и утверждение порядка и методики испытаний; проведение предварительных, государственных, межведомственных, приемосдаточных и других видов испытаний; корректировку программной документации по результатам испытаний.

Внедрение заключается в подготовке и передаче программы и программной документации для сопровождения и изготовления. При этом оформляется и утвер-

ждается акт о передаче программы. Кроме того, программа передается в фонд алгоритмов и программ.

Основные этапы работы над программой: формализация задачи, разработка алгоритма, включая блок-схему, программирование (кодирование), отладка программы и документирование. При решении простой задачи они выполняются последовательно одним программистом, сложные программы разрабатываются одновременно несколькими программистами. Распределение времени по фазам в среднем приблизительно следующее: функциональный анализ — 15%; формализация — 25%; кодирование — 10%; проверка — 40%; документирование — 10%. На практике доля затрат времени на каждую фазу может двукратно изменяться в обе стороны.

Несмотря на расхождение в цифрах, во всех источниках преобладает время отладки (проверки, контроля, тестирования). Естественно, поэтому, что большинство приемов и методов программирования направлено на предупреждение, эффективный поиск и исправление ошибок, которые могут появляться на всех этапах разработки программного обеспечения. Поскольку при разработке сложных программ, а тем более систем, корректировки практически неизбежны на всех стадиях, то процесс программирования приобретает циклический характер.

Другой характерной чертой создания сложных программ является параллельная работа над отдельными компонентами программы, а также параллельное выполнение различных этапов. Так, например, не вызывает сомнения целесообразность одновременной работы над программой и документацией.

От качества документации во многом зависит эффективность использования и широкое распространение программ, поэтому возрастание роли документации и повышения ее качества является важной особенностью настоящего периода совершенствования средств программного обеспечения.

3.5. Процесс создания программы для ЭВМ

Процесс создания программы для решения инженерно-технических задач на ЭВМ складывается из следующих этапов:

- 1 — инженерная постановка задачи,

2 — математическая постановка задачи или разработка математической модели,

3 — составление блок-схемы логической последовательности решения задачи,

4 — выбор численных методов решения и разработка алгоритмов решения каждой из подзадач,

5 — разработка программы,

6 — разработка и расчет (вручную) контрольного варианта,

7 — перенос программы на машинные носители,

8 — отладка программы, т. е. отыскание и исправление ошибок на базе исходных данных и контрольного примера,

9 — решение задачи на ЭВМ для реальных исходных данных,

10 — инженерный анализ полученных результатов и при необходимости корректировка задачи, программы или исходных данных.

В инженерной постановке задачи, представляющей собой по существу техническое задание, должно быть задано: цель задачи, требуемые характеристики результата решения, критерии оценки, ограничения, взаимосвязи с другими объектами, задачами, внешней средой и т. п. При постановке задачи необходимо учитывать возможности ЭВМ, методов моделирования, алгоритмизации и критерия решения.

При разработке математической модели необходимо стремиться к адекватности модели и объекта в пределах заданной точности и во всем исследуемом диапазоне исходных данных учитывать требование разумной вычислительной сложности модели и разумного объема, занимаемого ею в памяти ЭВМ.

Блок-схема логической последовательности решения задачи обычно составляется одновременно с разработкой математической модели. Она должна служить наглядной графической иллюстрацией последовательности вычислительного процесса, облегчать проверку полноты и непротиворечивости математической модели и быть руководством при составлении модели. Рекомендуется разрабатывать несколько вариантов блок-схемы с различной степенью детализации. Основными элементами блок-схемы являются: прямоугольники, ромбики и стрелки. Прямоугольники обозначают расчет по формуле или совокупности формул. Ромбиками выделя-

ют проверки различных условий и разветвление вычислительного процесса: при выполнении условия движение продолжается по данному маршруту, при невыполнении условия маршрут изменяется. Стрелки показывают последовательность вычислительного процесса.

Основные формальные правила составления блок-схем:

1) блок-схема должна содержать по крайней мере один входной прямоугольник (не имеющий входящих стрелок) и один выходной (не имеющий выходящих стрелок);

2) схема не должна иметь входных и выходных ромбиков;

3) из любого прямоугольника (кроме выходного) должна выходить только одна стрелка;

4) из любого ромбика должны выходить две стрелки;

5) в каждый прямоугольник (кроме входного) и ромбик должна входить хотя бы одна стрелка.

Численный метод для решения задачи выбирается прежде всего исходя из требования работоспособности метода при заданных исходных данных и требуемом уровне погрешности решения. Сложные задачи обычно требуют применения рациональной комбинации методов, что требует высокой математической подготовки исполнителя. Выбранный метод должен соответствовать имеющемуся программному обеспечению. Численные методы оптимизации, с помощью которых решаются задачи отыскания наибольших и наименьших значений функций одной или многих переменных, включают много модификаций линейного, сепарабельного, нелинейного, динамического, геометрического, целочисленного, стохастического программирования.

Разработка алгоритма решения задачи является ответственным этапом, выполняемым постановщиком задачи, зачастую совместно с программистом.

Программирование по заданному алгоритму выполняется квалифицированным программистом, который, как правило, должен быть знаком с физической сущностью и спецификой задачи.

Отладка программы является трудоемким процессом и занимает до 50% всего времени, затрачиваемого на создание программы. Она может эффективно выполняться при одновременном понимании физического смысла задачи, особенностей, принятых в задаче численных ме-

тодов, блок-схемы и алгоритма вычислительного процесса и возможностей языка программирования.

Для ускорения отладки необходимо предварительно подготовить контрольный вариант — один или несколько тестовых примеров, правильное выполнение которых на ЭВМ свидетельствует о безошибочности программы.

Если отдельные этапы подготовки задачи выполняются отдельными людьми, то процесс разработки программы и ее отладки надолго затягивается. Практика показывает, что эти работы выполняются намного быстрее и лучше группой специалистов, включая инженера-постановщика задачи, математика и программиста.

Общие затраты времени на разработку программного обеспечения сокращаются в 5—20 раз, если используется не пакетный, а диалоговый режим работы с применением терминалов (дисплеев), автоматизированных систем редактирования программ, автоматизированных систем информации.

Создание программного обеспечения для решения инженерных задач с применением ЭВМ требует больших затрат, длительного времени и привлечения высококвалифицированных специалистов. Например, расходы на разработку пакетов прикладных программ для сложных горно-геометрических задач составляют сотни тысяч рублей.

Поэтому самостоятельная разработка программ в проектных институтах производится ограниченно, главным образом для решения отдельных наиболее специфических задач, а также для получения в выходных результатах необходимых форм таблиц, надписей, чертежей, размерности чисел и т. п.

При регулярном применении ЭВМ на горных предприятиях и в проектных институтах используется готовое программное обеспечение, выполненное специализированными организациями, прошедшее промышленную или, по крайней мере, опытную эксплуатацию и, как правило, принятое отраслевым фондом алгоритмов и программ (ОФАП). Программные фонды для решения задач проектирования шахт, карьеров и обогащительных фабрик имеют министерства угольной промышленности, цветной металлургии и др.

3.6. Документирование программ

Основными видами программных документов являются: спецификация, содержащая состав программы и документации на нее; ведомость держателей подлинников; текст программы; описание программы (сведения о логической структуре и функционировании программы); программа и методика испытаний; техническое задание (назначение и область применения программы, технические, технико-экономические и специальные требования, предъявляемые к программе, необходимые стадии и сроки разработки, виды испытаний); пояснительная записка (схема алгоритма, общее описание алгоритма и функционирования программы, а также обоснование принятых технических и технико-экономических решений); эксплуатационные документы, содержащие сведения для обеспечения функционирования и эксплуатации программы.

К эксплуатационным документам относятся:

ведомость эксплуатационных документов (перечень эксплуатационных документов на программу);

формуляр (основные характеристики программы, комплектность и сведения об эксплуатации программы);

общее описание (сведения о назначении программы, области применения, применяемых методах, класс решаемых задач, ограничения для применения, минимальной конфигурации технических средств);

руководство системного программиста (сведения для проверки, обеспечения функционирования и настройки программы на условия конкретного применения);

руководство программиста (сведения для эксплуатации программы);

руководство оператора (сведения для обеспечения процедуры общения оператора с вычислительной системой в процессе выполнения программы);

описание языка (описание синтаксиса и семантики языка программы);

руководство по техническому обслуживанию (сведения для применения программы при обслуживании технических средств).

Допускается объединять отдельные виды эксплуатационных документов (за исключением ведомости эксплуатационных документов и формуляра). Необходи-

мость объединения этих документов указывается в техническом задании.

Требования к содержанию и оформлению программных документов изложены в стандартах СЭВ СТ СЭВ 2088—80—2097—80 и в большой группе государственных стандартов: ГОСТ 19.104—78—105—78, ГОСТ 201—76, 202—76, ГОСТ 503—81 и др.

Программный документ должен состоять из следующих основных частей: титульной, информационной, основной, регистрации изменений.

Для получения основного раздела документа, содержание и форма которого жестко не регламентированы, удобно пользоваться шаблонами, специально разработанными формами, таблицами и т. д. В табл. 3.1 приведен пример табличного описания входных и выходных данных в документе «Описание программы».

Таблица 3.1

Входные данные программы

Параметр	Обозначение в алгоритме	Идентификатор в программе	Тип и рядность	Диапазон		Размерность	Единица измерения	Примечание
				от	до			
Признак режима работы	<i>P</i>	PRZ	CHAR (1)	—	—	—	—	Если $P = 'A'$, то масса в тоннах
Номер первого горизонта	<i>m</i>	MGI	FIX (2)	1	<i>K</i>	—	—	См. параметр № 15
Содержание компонентов	<i>S</i>	S	FLO (6.2)	1	1000	$K_{\max}$	Тыс. доли	См. параметр № 16

Для задач сравнительно узкого класса часто используются эталонами программных документов, т. е. образцами документов типичной задачи данного класса.

ГОСТ 19.002—80 «Схемы алгоритмов и программ. Правила выполнения» устанавливает правила выполнения схемы алгоритмов и программ и правила применения символов, из которых состоят схемы. Сами символы описаны в ГОСТ 19.003—80.

Поле листа, на котором вычерчивается схема, рекомендуется разбивать на зоны с размерами, соответствующими минимальным размерам символов данного листа. Один символ можно размещать в двух и более зонах.



а — поле листа схемы; б — соединители символов в пределах одной страницы; в — межстраничный соединитель; г — символы принятия решения

Линии потока, соединяющие символы, должны быть параллельны линиям внешней рамки схемы. При направлении линий потока сверху вниз и слева направо, если линии не имеют изломов, стрелки можно не обозначать. В остальных случаях стрелки обязательны.

При большой насыщенности схемы символами допускается обрывать линии потока, соединяющие удаленные друг от друга символы. При этом в конце и начале обрыва помещаются соединители, содержащие ссылки на разрываемые символы (рис. 3.3, б). Ссылки могут задаваться либо координатами зоны листа, либо услов-

ными буквенными или цифровыми метками. Если связываемые линии потока находятся на разных листах, используется специальный символ «межстраничный соединитель» (рис. 3.3, в).

Последнее из основных правил применения символов схемы относится к символу «Решение». Он означает выбор направления алгоритма или программы в зависимости от некоторых переменных условий. При числе исходов не более трех, признак условий решения проставляется над каждой линией потока. Если число исходов более трех, то условие исхода проставляется в разрыве линий потока, а через пробел после него — адрес исхода, состоящий из номера листа схемы (три знака) и координаты символа (два знака). Условия решения можно также указывать в комментарии. Примеры всех указанных случаев приведены на рис. 3.3, г.

Символы схемы (ГОСТ устанавливает более 40 обязательных и рекомендуемых символов) можно условно разделить на четыре группы.

1. Общие процессы (рис. 3.4, а, б, в):

процесс (выполнение операций или группы операций,

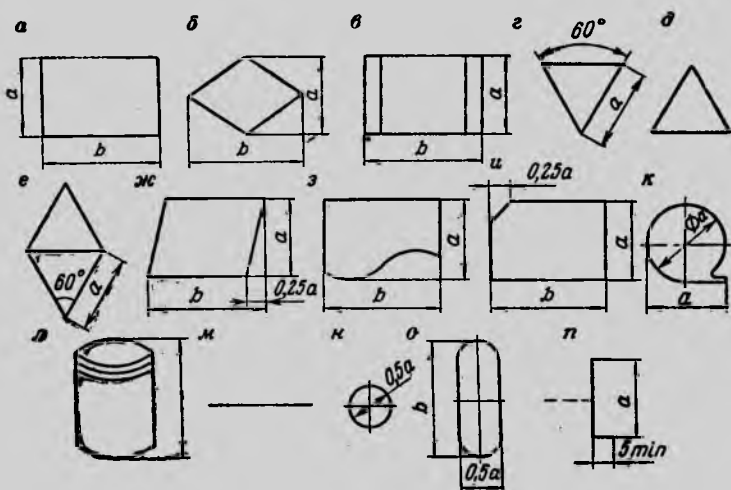


Рис. 3.4. Обозначение символов:

а — процесс; б — решение; в — предопределенный процесс; г — слияние; д — выделение; е — группировка; ж — ввод-вывод; з — документ; и — перфокарта; к — магнитная лента; л — магнитный диск; м — линия потока; н — соединитель; о — пуск-останов; п — комментарий

в результате которых изменяется значение, форма представления или расположения данных);

решение (определение приведено выше);

предопределяемый процесс (использование ранее созданных и отдельно описанных алгоритмов или программ) и др.

2. Обработка информационных множеств. Например (рис. 3.4 *г, д, е*):

слияние (объединение двух или более множеств в единое множество);

извлечение (выделение одного или нескольких множеств из единого множества);

сортировка (упорядочение множеств по заданным признакам).

3. Символы ввода-вывода. Например (рис. 3.4, *ж — л*):

ввод-вывод (преобразование данных в форму, пригодную для обработки (ввод) или регистрации результатов обработки (вывод);

документ (ввод-вывод данных, носителем которых служит бумага);

перфорированная карта (ввод-вывод данных, носителем которых служит перфокарта);

магнитная лента (ввод-вывод данных, носителем которых служит магнитная лента);

магнитные диски (ввод-вывод данных, носителем которых служит магнитный диск).

4. Символы структуры схемы. Основные символы (рис. 3.4, *м — п*):

линии потока (указание последовательности между символами);

соединитель (указание связи между прерванными линиями потока, связывающими символы);

пуск — останов (начало, конец, прерывание процесса обработки данных или выполнение программы);

комментарий (связь между элементами схемы и пояснением).

Размер a выбирается из ряда 10, 15, 20 мм и т. д., $b = 1,5 a$. Для вычерчивания символов существуют специальные шаблоны.

4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

4.1. Теоретические основы математического моделирования геометрических объектов

Геометрическим объектом называется пространственный образ предмета, однозначно описывающий его форму и размеры.

Примеры простых геометрических объектов (ГО) — точка, прямая, треугольник, круг, шар.

Усложнять форму ГО можно тремя путями: увеличением числа измерений; усложнением формы границы; увеличением числа простых элементов, составляющих границу, добавляя отверстия.

Можно выделить три основных этапа переработки геометрической информации в САПР:

- кодирование и ввод геометрической информации;
- решение геометрических задач в процессе автоматизированного проектирования;

- вывод геометрической информации о результатах проектирования и ее отображение в графическом виде.

На каждом из этих этапов приходится представлять геометрические объекты в памяти ЭВМ по-разному. На этапе ввода необходимо исходить из простоты кодирования, на этапе вывода — из удобства графического изображения объекта с помощью чертежно-графического автомата. На этапе решения геометрических задач модели ГО должны обеспечивать компактность, простоту и удобство разработки алгоритмов. Такие модели принято называть внутренними, они рассматриваются далее.

Различают следующие виды внутренних *математических моделей ГО*: аналитические, алгебро-логические, кусочно-аналитические, каркасные, кинематические, рецепторные, а также комбинированные.

Аналитические модели представляют собой описания геометрических объектов с помощью единых уравнений (неравенств). Например, $x^2 + y^2 = 1$ описывает

окружность единичного радиуса, центр которой лежит в начале координат.

Система неравенств

$$\begin{cases} z \geq \sqrt{x^2 + y^2} \\ z \leq 1 \end{cases} \quad (4.1)$$

описывает прямой конус с вершиной в начале координат, ось которого лежит на оси Oz и имеет единичную длину, основание — единичный круг.

Плоский замкнутый односвязный контур, состоящий из отрезков прямых и дуг окружностей, может быть описан аналитической моделью следующим образом. Контур представляется в виде многоугольника (1, ... 6), в вершинах которого заданы радиусы R скругления (рис. 4.1, а). Для этого проводятся касательные на концах дуг, а также горизонтальные и вертикальные касательные к дугам. Моделью контура является матрица, содержащая три столбца. В первом и втором столбцах, в каждой строке по порядку обхода контура против часовой стрелки, указываются координаты начала стороны многоугольника, в третьем столбце — радиус скругления вершины.

0	0	10
84,7	0	60
125,2	70	0
102,0	70	0
73,1	20	40
0	20	40

Алгебро-логические и кусочно-аналитические модели строятся в результате расчленения объекта на составляющие элементы, которые являются достаточно простыми и допускают аналитическое описание, а затем синтез модели путем указания способа соединения элементов.

Кусочно-аналитическая модель используется для описания границы объекта и представляет собой совокупность аналитических описаний простых участков (отсеков) границы и граф, описывающий структуру соединений этих участков.

Пусть, например, задан геометрический объект, состоящий из нескольких вершин (точек), часть из которых соединена отрезками (рис. 4.1, б). Пронумеруем вершины $i=1, \dots, 7$; поместим объект на координатную

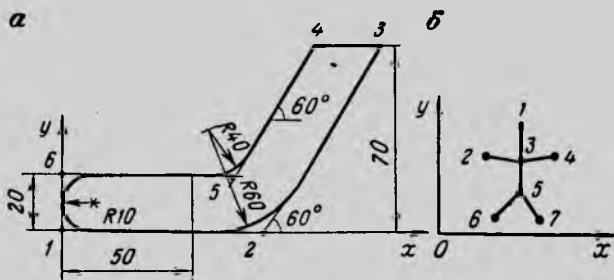


Рис. 4.1. К описанию контура (а) и геометрического объекта (б) аналитической моделью

плоскость. Математическая модель ГО включает матрицу A (7×2), в которой последовательно записаны координаты вершин, и матрицу M (7×7) смежности вершин. Матрица $M = (m_{ij})$ заполняется следующим образом: $m_{ij} = 1$, если i -я и j -я вершины соединены отрезком, иначе $m_{ij} = 0$.

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \\ x_5 & y_5 \\ x_6 & y_6 \\ x_7 & y_7 \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Кусочно-аналитические модели широко используются для приближенного описания кривых и поверхностей сложной формы.

Процедура построения модели линии состоит в следующем:

выбирается последовательность точек линии (узлов) и вычисляются их координаты;

выбирается способ приближенного аналитического описания (интерпретации) участка кривой между двумя соседними узлами (например, считаем, что зависимость $y(x)$ для координат точек участка кривой задается многочленом третьей степени $y(x) = a_0x^3 + a_1x^2 + a_2x + a_3$);

определяются параметры аналитической зависимости (например, коэффициенты многочлена a_0, a_1, a_2, a_3) для

каждого участка таким образом, чтобы удовлетворить требования к непрерывности и гладкости полученной составной кривой.

В алгебро-логической модели геометрический объект описывается булевой формулой как тело, составленное из простых элементарных тел с помощью теоретико-мно-

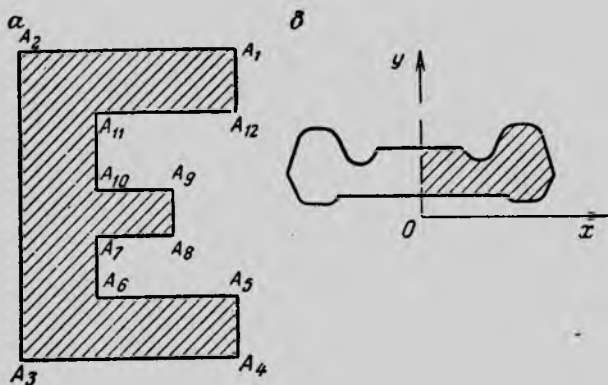


Рис. 4.2. Геометрический объект, описываемый алгебраической моделью (а) и описание тела вращения кинематической моделью (б)

жественных операций объединения, пересечения, дополнения.

В качестве примера рассмотрим объект, изображенный на рис. 4.2, а. Пусть заданы координаты вершин $A_i = (x_i, y_i)$, $i = 1, \dots, 12$. Обозначим D_i — полупространство, порожаемое неравенством

$$(y - y_i)/(x_{i+1} - x_i) - (y_{i+1} - y_i)/(x - x_i) \leq 0. \quad (4.2)$$

Здесь $1 \leq i \leq 12$, при $i = 12$ $x_{i+1} = x_1$, $y_{i+1} = y_1$.

Тогда объект описывается булевой формулой

$$D = D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap (D_5 \cup D_6 \cup (D_7 \cap D_8 \cap D_9) \cup D_{10} \cup D_{11}) \cap D_{12}. \quad (4.3)$$

Поверхности геометрических объектов, имеющие сложную форму (например, контур залежи или пропластка), описываются при помощи каркасных моделей. Каркас представляет собой семейство линий, полученных при пересечении поверхности набором плоских сечений. Примером каркасной модели является карта изолиний на координатной плоскости, описывающая поведение функции $z(x, y)$. Часто построение кар-

каса является первым шагом для описания геометрического объекта кусочно-аналитической моделью.

На основе кинематического метода геометрический объект описывается как результат движения образующего сечения вдоль направляющей линии в соответствии с законом формообразования. Например, широкое распространение в САПР получила кинематическая модель тела вращения, которая строится следующим образом. Рассматривается осевое сечение тела вращения (рис. 4.2, б). В плоскости осевого сечения выбирается система координат таким образом, чтобы ось ординат Oy совпадала с осью вращения. ГО описывается половиной своего осевого сечения, лежащей в полуплоскости $x \leq 0$.

В основу рецепторных (дискретных) моделей положено приближенное представление геометрического объекта в дискретном поле или пространстве рецепторов. Поле рецепторов представляет собой однородную прямоугольную сеть, каждая клетка которой рассматривается как отдельный рецептор. Рецептор находится в одном из двух состояний: '1' — если на него падает изображение описываемого объекта (проходит линия или накладывается область); '0' — в противном случае. Полученный образ объекта заключается в рецепторный прямоугольник (рис. 4.3, а) и кодируется прямоугольной матрицей, элементы которой имеют значение 0 или 1. Аналогичным образом пространственный ГО отображает в пространстве рецепторов, его образ заключается в рецепторный параллелепипед и кодируется трехмерной матрицей, состоящей из нулей и единиц.

Стремление к достижению эффективности алгоритмов решения геометрических задач для объектов сложной конфигурации приводит к необходимости использования комбинированных моделей, которые содержат комбинации переменных, соответствующие различным способам построения моделей. Под сложным объектом мы подразумеваем объект, который получается в результате определенного взаимодействия (комбинации) образующих его элементов, каждый из элементов может быть рассмотрен так же, как сложный объект со своими образующими элементами и т. д. Таким образом, образуется иерархическая структура построения сложного ГО «объект — элементы». Важнейшим общим принципом построения моделей сложных объектов является то, что

иерархической структуре объекта должна соответствовать иерархическая структура построения его комбинированной модели.

Выделяется иерархия уровней описания объекта, каждый из которых является относительно самостоятельным и описывается собственной моделью. Целост-

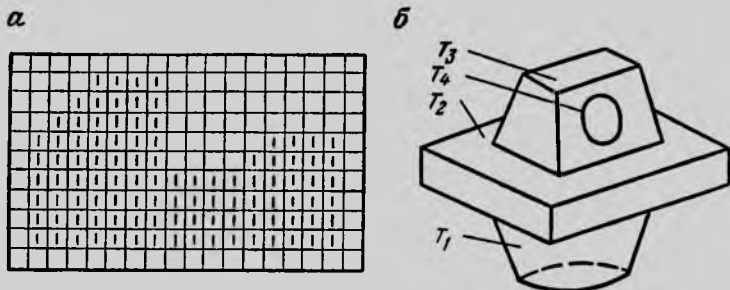


Рис. 4.3. Рецепторная модель геометрического объекта (а) и геометрический объект, представляемый комбинированной моделью (б)

ность модели геометрического объекта обеспечивается указанием связей между моделями различных уровней. Основным результатом выделения иерархии уровней модели является то, что это приводит к декомпозиции методов обработки модели и образованию соответствующих уровней иерархии этих методов.

Рассмотрим в качестве примера иерархическую трехуровневую модель описания геометрического объекта сложной конфигурации.

На первом уровне объект T описывается с помощью булевой формулы как результат выполнения теоретико-множественных операций объединения и вычитания типовых тел (T_i)

$$T = \left(\bigcup_{i=1}^m T_i \right) \setminus \left(\bigcup_{i=m+1}^n T_i \right), \quad (4.4)$$

где m — число объединяемых типовых тел; n — общее число типовых тел.

На втором уровне рассматриваются два класса типовых тел: тела вращения и тела движения (имеющие постоянное сечение в каком-либо направлении). Типовое тело задается сечением и способом кинематического формообразования (положением либо оси вращения,

либо оси движения и торцов). На третьем уровне плоское сечение описывается замкнутым односвязным контуром его границы.

В качестве примера рассмотрим ГО, изображенный на рис. 4.3, б. Его можно расчленить на четыре типовых тела и описать формулой

$$T = (T_1 \cup T_2 \cup T_3) \setminus T_4, \quad (4.5)$$

где T_1 — тело вращения; T_2 и T_3 — тела движения; T_4 — отсекаемое цилиндрическое отверстие, которое можно представить и как тело вращения и как тело движения.

Иерархическая структура рассматриваемой модели ГО порождает следующую трехуровневую иерархию алгоритмов обработки модели.

На первом уровне «объект — типовые тела» решаются задачи, связанные с анализом и преобразованием булевой формулы. Примером геометрического преобразования на первом уровне является удаление отсекаемого типового тела (цилиндрическое отверстие на рис. 4.3, б). На втором уровне «типовое тело — контур сечения» решаются задачи анализа и преобразования типового тела, не зависящие от формулы порождающего его плоского сечения. Примеры геометрических преобразований на втором уровне: поворот, параллельный перенос, масштабирование, подобие, симметрия типовых тел, изменение длины тела движения. На третьем уровне «контур сечения — элемент контура» решаются задачи анализа взаимного расположения элементов контура и выполняются различные преобразования формы плоских сечений.

4.2. Геометрические объекты математического моделирования открытых разработок

На участке горного отвода, предназначенного к открытой разработке, наблюдается разнообразная геометрия форм залегания полезных ископаемых и вмещающих их горных пород, размещения полезных компонентов в залежах, форм рельефа поверхности, горных выработок, насыпей.

Геометрическими объектами математического моделирования при автоматизированном планировании и проектировании открытых разработок являются:

1. Месторождения полезных ископаемых, представляющие собой совокупность геохимических и геотектонических полей, в пределах которых условно выделены контуры залежей, рудных тел, пластов и т. п., пригодных к разработке. Каждая залежь может слагаться несколькими тектоническими блоками, различными разновидностями руд и пород. Границы и конфигурация залежей определяются в результате опробования на основании промышленных кондиций на добываемое полезное ископаемое.

Формы залежей полезного ископаемого, а также распределение компонентов в них и являются предметом их математического моделирования как геометрических объектов.

2. Рельеф местности, в пределах которой располагаются карьерное поле и горный отвод.

3. Открытые горные выработки.

4. Отвалы и насыпи.

Исходной информацией для математического моделирования геометрических объектов открытой разработки служат геологические, топографические и гипсометрические планы, вертикальные и горизонтальные сечения, а также данные опробования геологоразведочных скважин.

Данные по разведочным скважинам являются первичной неискаженной информацией, но математическое моделирование месторождений на их основе иногда чрезвычайно сложно и не всегда достаточно точно. Основная трудность заключается в интерпретации геологических закономерностей, которые не всегда поддаются математическому описанию.

Широкое распространение получили вертикальные геологические разрезы. Разрезы составляются по данным скважины разведочных линий. Существенным дополнением к вертикальным разрезам служат погоризонтные планы — горизонтальные разрезы на определенных высотных отметках.

Для составления планов и разрезов производится графическое моделирование, т. е. геометризация месторождения.

Под геометризацией месторождения понимается совокупность работ по изучению, систематизации, математической обработке геологоразведочных и маркшей-

дерских данных, накопленных в процессе разведки, изучения и эксплуатации месторождения.

Геологическое строение залежи полезного ископаемого является основным определяющим фактором при конструировании математической модели, так как оно определяет и вид исходной геологической информации, и способы кодирования формы залежи и распределения качественных признаков.

Месторождения, представленные выдержанными по условиям залегания пластами, обычно имеют высокую степень разведанности. В этом случае полезное ископаемое (например, уголь, фосфориты) четко отделено от пустых пород поверхностями почвы и кровли, которые могут быть достаточно прочно описаны аналитически. Информация о пластовых месторождениях обычно представлена изолиниями почвы и кровли пласта и вертикальными геологическими профилями.

Сложноструктурные многокомпонентные месторождения, чаще всего крутопадающие и наклонные, характеризуются более низкой степенью разведанности, сложными формами залежей. Информация представлена пробами, взятыми через определенный интервал по глубине (0,5—1,0 м) из скважин, расположенных в плане на расстоянии от 15 до 200 м друг от друга. Так как сетка скважин на поверхности не всегда равномерна, скважины не всегда вертикальны, а интервалы отбора проб по глубине в скважинах различны и неодинаковы, то первичная информация о месторождении оказывается представленной точками с неравномерным расположением их в трехмерном пространстве.

После обработки эта информация обычно представляется в виде геологических профилей и планов, на которых отдельные залежи, рудные тела и разведочные геологические блоки показаны в виде фигур неправильной формы.

Соответственно геологическим условиям месторождения полезных ископаемых, как объекты математического моделирования, в зависимости от формы месторождения и распределения качественных признаков подразделяются на пласты и залежи (тела); однокомпонентные и многокомпонентные; однородные и сложноструктурные; горизонтальные и наклонные.

Используя это подразделение, можно по степени сложности моделирования выделить следующие группы месторождений, переходя от простых к сложным:

1) однородные и однокомпонентные горизонтальные пласты;

2) однородные и однокомпонентные наклонные пласты;

3) однородные и однокомпонентные горизонтальные и наклонные залежи;

4) сложноструктурные горизонтальные залежи;

5) сложноструктурные и многокомпонентные горизонтальные залежи;

6) сложноструктурные наклонные залежи;

7) сложноструктурные и многокомпонентные наклонные залежи.

Сложность формы залежей как объектов математического моделирования можно оценить по методике П. П. Бастана, согласно которой факторы, влияющие на погрешность геометрической модели, разделены на три класса и обозначены индексами в порядке уменьшения степени влияния.

Форма рудных залежей	Индекс
Простая геометрическая форма рудных тел (клин, трапеция, параллелограмм)	0
Рудные тела, имеющие в сечении форму выпуклых многоугольников	1
Рудные тела, имеющие произвольную форму	2

Число рудных тел	Индекс
Одно рудное тело	0
Несколько рудных изолированных тел	1
Большая совокупность изолированных рудных тел	2

Тектонические нарушения	Индекс
Пликативные нарушения формы (изгибы, раздувы, пережимы)	0
Дизъюнктивные нарушения формы (сдвиги, сбросы, разрывы и т. д.)	1
Сочетания пликативных и дизъюнктивных нарушений	2

Суммарный индекс сечения, имеющий простую геометрическую форму, одно рудное тело, с небольшими пликативными нарушениями, записанный в троичной системе, с размещением признаков по степени их сложности имеет вид 0—0—0. Очевидно, самое сложное по форме сечение будет иметь троичный индекс 2—2—2.

Умножая первую цифру этого индекса на 9, вторую на 3 и последнюю на 1, получим десятичный индекс наиболее сложного сечения $2 \times 9 + 2 \times 3 + 2 \times 1 = 26$. Очевидно, наиболее простой контур будет иметь индекс, равный нулю. Таким образом, месторождения полезных ископаемых, характеризуемые указанными выше признаками, по сложности формы рудных тел подразделяются на 27 категорий сложности, оцениваемых десятичными индексами или баллами от 0 до 26.

Кроме того, каждая категория может быть охарактеризована коэффициентами сложности, которые определяются как отношение десятичного индекса (балла) к 26 и изменяются в пределах от 0 до 1.

Следовательно, система оценки сложности формы поперечных сечений рудных тел и погрешности их моделирования посредством простых геометрических форм включает следующие показатели: абсолютная и относительная погрешности моделирования соответственно; балл сложности от 0 до 26; коэффициент сложности, измеряемый от 0 до 1.

Месторождения, представляемые простой геометрической формой, имеют балл сложности не более 8, коэффициент сложности не более 0,31. Моделирование подобных месторождений не вызывает затруднений, осуществляется обычно в форме параллелограммов, трапеций, треугольников. Относительная ошибка модели, как правило, не превышает 5—6 %.

Моделирование сечений, имеющих индекс от 8 (0,31) до 17 (0,65), осуществляется набором моделей в виде правильных многоугольников, окружностей, эллипсов. Относительная ошибка моделирования обычно не превышает 10 %.

Контуры рудных залежей, имеющие индекс сложности более 17 (0,65), как правило, нецелесообразно интерпретировать в виде простых геометрических моделей, так как ошибка здесь превышает 10—15 %.

Разрезы и планы позволяют наглядно представить форму залежей на месторождении, их мощность, углы падения, глубину залегания, площади, геологическое строение, размещение полезных компонентов, а также являются необходимым материалом для проектирования разработки месторождения запасов полезного ископаемого.

Графические модели, т. е. геологические профили и планы, легче преобразуются в математические модели, но передают последним также и все свои погрешности. Повышение точности моделирования может быть достигнуто в ряде случаев благодаря совместному использованию графических моделей и данных по скважинам. Благодаря последним уточняется распределение качественных признаков внутри контуров рудных тел или сортовых блоков, построенных на основе поперечных сечений или погоризонтных планов.

Результаты моделирования месторождений и их открытой разработки могут быть представлены в цифровой, табличной или графической форме различного вида в зависимости главным образом от назначения модели, необходимой точности моделирования и вида исходной информации.

Информация о месторождении включает не только геологическую характеристику, но и характер рельефа местности, абсолютные высоты и относительные превышения, сведения о наличии рек и озер в районе месторождения и т. п.

Геометрия рельефа основывается на представлении земной поверхности как о поле высот. Географическим изображением поля высот земной поверхности служит карта в горизонталях. В зависимости от сложности рельефа земная поверхность с достаточно простым рельефом может быть заменена простыми поверхностями или геометрическими фигурами, моделирующими с той или иной степенью приближения участка местности (аналитическая модель) и допускающими описание функциональными зависимостями. Области земной поверхности со сложным рельефом, образующие рельеф, не поддающийся аппроксимации функциональными зависимостями, подвергаются расчленению и описанию методами множественного регрессионного анализа.

В результате производства открытых горных работ в недрах земли образуется выработанное пространство — карьер, заключенное между двумя топографическими поверхностями. Одна из них является естественной топографической поверхностью участка горного отвода, другая — искусственная, результат производства горных работ.

Размеры и форма конечного контура карьера определяются в соответствии с конечной глубиной карьера,

размерами и формой его дна и углами откоса нерабочих бортов карьера.

Для каждого геологического разреза по установленной конечной глубине карьера, ширине его дна и углам откоса нерабочих бортов отстраивают конечное положение бортов на каждом геологическом профиле. Нанесенные на разведочные линии в плане точки соединяются замкнутыми кривыми линиями — верхним и нижним контурами карьера. При моделировании контуров карьера на месторождениях с правильными формами залегания рудных тел борта карьера или его участки заменяются простыми поверхностями или геометрическими фигурами, допускающими описание аналитическими зависимостями.

Моделирование бортов карьера, разрабатывающих крутопадающие месторождения со сложными условиями залегания рудных тел (залежей), имеющих неправильные геометрические формы, не поддающиеся аппроксимации аналитическими зависимостями, ведется поуступно аналитическими или цифровыми методами.

4.3. Основы математического моделирования месторождений полезных ископаемых

Математическая модель месторождения в общем виде представляет собой формализованное описание формы, структуры и качественных характеристик месторождения в числовой или аналитической форме, позволяющее решать горно-геометрические, технологические и экономические задачи на ЭВМ.

К числу задач, чаще всего решаемых на ЭВМ с применением математических моделей месторождений, относятся такие, как подсчет запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши в контурах карьера, горно-геометрический анализ, выбор направления развития горных работ в карьере и др.

Математическая модель конкретного месторождения в процессе ее создания и использования при проектировании и планировании горных работ проходит следующие формы представления:

символьную, т. е. представленную в общем виде посредством формул, математических символов, зависимостей и определений;

числовую, т. е. закодированную для ввода в ЭВМ;

машинную, т. е. записанную на магнитных носителях информации;

машинно-графическую, т. е. отображенную посредством АЦПУ, графопостроителя или дисплея.

Элементарными объектами математического моделирования месторождений являются:

а) контуры, поверхности и тела той или иной формы в трехмерном пространстве и на плоскости;

б) распределение того или иного признака качества в объемном контуре, находящемся в трехмерном пространстве или в замкнутом контуре на плоскости.

Основные требования к математическим моделям и методам (способам) математического моделирования следующие.

1. Математическая модель месторождения должна быть в достаточной степени адекватной реальным горно-геологическим условиям и обеспечивать требуемую для данной исходной информации погрешность расчетов.

2. Трудоемкость подготовки исходной информации для ввода в ЭВМ должна быть минимальной.

3. Вероятность появления случайных ошибок при расчете должна быть наименьшей, а их выявление и устранение должны осуществляться достаточно быстро и без больших затрат труда.

4. Конструкции модели, способы кодирования, хранения, переработки и передачи информации должны обеспечивать корректировку, пополнение и развитие модели по мере поступления новых геологических данных.

5. Математическая модель месторождения должна создаваться независимо от способа и системы разработки.

Классификация математических моделей месторождений полезных ископаемых основана на способах представления и кодирования геологической информации (табл. 4.1).

По способу интерпретации и представления геологической информации математические модели подразделяются на три основных класса: аналитические, дискретные и дискретно-аналитические.

Аналитические модели соответствуют непрерывной интерпретации геометрических форм и распределения качества. Форма залежей полезного иско-

Таблица 4.1

Классификация математических моделей месторождений полезных ископаемых

Классификационная группа	Класс	Подкласс	Группа	Индекс наиболее употребительных моделей
Классификационный признак	Способ интерпретации и представления геологической информации	Вид элементарного геометрического объекта	Способ кодирования геометрических форм	
	Аналитические	Объемная	Функциональная Кусочная	АОФ АОКс
	Дискретные	Точечные (сеточные) Линейные Контурные (плоскостные) Объемные	Координатная Структурная	ДТК ДЛК ДКК ДЛС
	Дискретно-аналитические	Точечные Линейные Контурные Объемные	Координатная Функциональная Кусочная Структурная	Д-АКК Д-АКФ Д-АОКс

паемого, зоны рудоносности и распределения в них качественных признаков описываются аналитическими зависимостями, без расчленения описываемого объекта на элементы и в общем виде представляют собой набор аналитических функций $f(x, y, z)$, с помощью которых в заданных областях трехмерного пространства описываются формы залежей и распределение признаков качества (рис. 4.4, а).

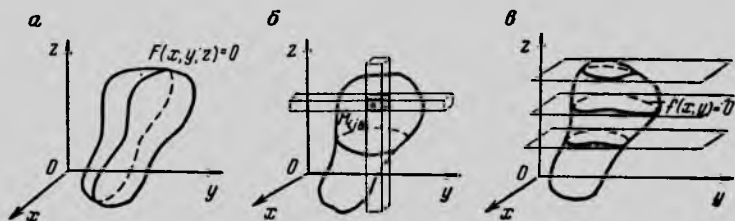


Рис. 4.4. Графическая интерпретация математических моделей месторождений:

а — аналитической; б — дискретной; в — дискретно-аналитической

Аналитические модели получили применение для моделирования угольных, фосфоритных и других пластов с выдержанными элементами залегания, почву и кровлю которых, как четко обозначенные разграничивающие поверхности, удобно описывать аналитическими функциями.

Аналитические модели широко используются также для описания распределения процентного содержания полезных компонентов как внутри замкнутого контура плоского или объемного, так и в виде геохимических полей, например в методах геостатистики.

Простейшие аналитические зависимости используются для описания форм однородных по качеству залежей в простых геометрических моделях.

Дискретные модели соответствуют дискретной интерпретации геометрических форм и распределения качества, при которой описываемые объекты (залежи, геологические блоки) разбиваются на элементарные однородные по качеству блоки. Кодирование качества сводится к идентификации геометрических объектов. Аппроксимация при этом линейная, представление информации цифровое.

Дискретные модели получили широкое применение для моделирования сложноструктурных многокомпонентных крутопадающих и наклонных месторождений, так как позволяют с высокой точностью учитывать сложные формы рудных тел и значительное число признаков качества. В этих моделях участок горного отвода обычно представляется в виде послойной суммы микроблоков (рис. 4.4, б), каждый из которых характеризуется координатами x, y, z в трехмерном пространстве и кодом качественных признаков. Высота горизонтального слоя обычно принимается равной высоте уступа, т. е. 10—20 м, а размер микроблока, ограничиваемый условиями точности расчета, находится в пределах 10—50 м. В пределах каждого микроблока качественный состав рассматривается постоянным. Класс дискретных моделей обширен и включает различные модели для различных по условному залеганию месторождений — крутопадающих, горизонтальных и др.

Дискретно-аналитические модели сочетают дискретное представление залежи полезного ископаемого в виде крупных блоков и аналитическое описание формы последних или распределение качественных признаков в них. Наибольшее распространение получили дискретно-аналитические модели, в которых сложноструктурные месторождения разделяются на горизонтальные или вертикальные слои, а контуры залежей или однородных геологических блоков описываются аналитическими функциями (рис. 4.4, в). Также распространены послойные дискретно-аналитические модели, в которых аналитическими зависимостями описывается распределение качественных признаков в установленном объемном или плоском контуре.

Оценивая геологическую документацию в качестве исходной для математического моделирования, можно выделить в ней следующие элементарные геометрические объекты:

характерные точки, например точки пересечения скважин с кровлей и почвой пласта, или точки, характеризующие места отбора проб качества, точки, характеризующие контур блока и т. п.;

отрезки линий или, другими словами, интервалы между характерными точками, например прямые линии, аппроксимирующие криволинейный сложный контур залежи и т. п.;

плоские фигуры, ограниченные замкнутыми гладкими кривыми (например, изолиниями) или ломаными линиями (многоугольники) и т. п.;

объемные фигуры, однородные тела, ограниченные плоскими или криволинейными плоскостями, например элементарный блок в форме параллелепипеда с размерами $15 \times 20 \times 30$ м, геологический разведочный блок и т. п.

Соответственно указанным выше видам элементарных геометрических объектов, образующих геометрическую информацию о месторождении, могут быть выделены модели: точечные, линейные, контурные, объемные (блочные).

По способу кодирования геометрических форм могут быть выделены модели:

координатные, в том случае, когда задаются координаты точек, вершин ломаных, в частности многоугольников и многогранников;

функциональные, если кривые или поверхности задаются функциями, неявными или параметрическими;

кусочные, если кривые или поверхности задаются кусочными функциями, например полиномами, сплайнами, области определения которых заданы координатно;

структурные, когда объекты представляют посредством элементов, заданных координатами или функциями, а структура объекта описывается булевой функцией или графом.

По способу кодирования качества могут быть выделены однородные и неоднородные модели. В однородных геометрическому объекту соответствует набор чисел, а в неоднородных — функциональное задание.

На основе рассмотренных классификационных признаков построена классификация математических моделей месторождений (см. табл. 4.1), которая может служить для формирования унифицированного наименования модели и ее индекса. Например, дискретная контурно-структурная (ДСК), аналитическая точечно-координатная (АТК) и т. п.

Предложенные и используемые в практике математические модели месторождений характеризуются различными названиями, основанными на различных принципах. Вследствие этого модели различных пользователей иногда имеют различное толкование и понима-

ние, что препятствует обмену программным обеспечением и широкому практическому применению. Поэтому унификация математических моделей месторождений имеет важное практическое значение.

Математическое моделирование осуществляется на трех уровнях: входном, внутреннем и выходном. Конструкции моделей на различных уровнях могут быть разными. Унификации подлежат входные модели месторождения и выходные данные, внутреннее представление модели может быть произвольным.

Индексная система обозначений позволяет почти любой конструкции модели дать однозначное определение, не изменяя ее принятое наименование.

Как видно из приведенной классификации, при моделировании геологической информации используются почти все виды моделей геометрических объектов (см. п. 4.1). Различие в названиях и некоторое отличие в способах представления объясняется стремлением к унификации и тем, что при моделировании месторождений кроме описания геометрических объектов требуется еще установить их соответствие с качественной информацией. Поэтому, например, аналоги рецепторных моделей (дискретные точечные модели) задаются не 0—1-матрицей, а одной или несколькими матрицами кодов качества. Необходимость отличать координатную форму задания геометрических объектов месторождения от функциональной привело к разделению аналитических моделей на координатные и функциональные.

Индекс модели формально характеризует ее конструкцию. Содержательный смысл геометрических объектов модели определяется исходной информацией и способом ее съема. Возможны различные модификации внутри одной классификационной группировки модели. Рассмотрим наиболее употребительные случаи.

Точечные (дискретные) модели. Геометрическая информация представляет собой множество характерных точек месторождения, которыми являются данные с разведочных скважин. Если же исходной информацией являются погоризонтные планы с геологическими блоками, то характерные точки — это центры элементарных блоков (ячеек), на которые разделено месторождение. Объемные элементарные блоки естественно интерпретировать как точечные геометрические объекты,

так как при всех расчетах и геометрических построениях они заменяются своими центрами (рис. 4.5).

Если сетка скважин неравномерная, то точки задаются явно своими координатами. Если вдоль какой-либо оси координат точки располагаются равномерно, то соответствующая координата не задается — она вычисляется по номеру точки.

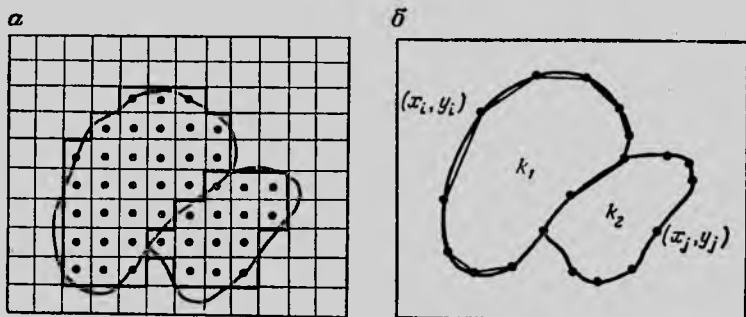


Рис. 4.5. Дискретные модели:

а — точечно-координатная; б — контурно-координатная

Каждой точке соответствует код качества, т. е. модель относится к классу дискретных.

Линейные модели. В качестве линейных геометрических объектов в моделях месторождений могут встречаться интервалы опробования по скважинам, изолинии содержания того или иного компонента, а также интервалы на осях палетки или растра соответствующие точкам контакта геологических блоков. При этом в качестве исходной геологической информации используются соответственно данные со скважин, планы изолиний и погоризонтные планы или геологические сечения.

При координатном способе представления информации задаются координаты концов интервалов и точек изломов линий. Так же, как в точечных моделях, одна или несколько координат могут быть неявными.

В функциональных моделях линии задаются с помощью функций:

явно

$$y = f(x); \quad (4.6)$$

неявно

$$F(x, y) = 0; \quad (4.7)$$

параметрически

$$x = u(t), \quad y = u(t). \quad (4.8)$$

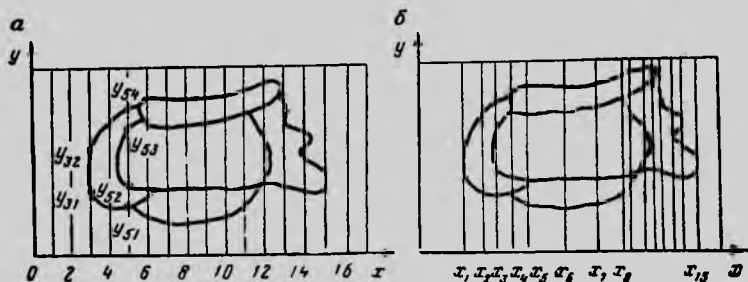


Рис. 4.6. Дискретная линейно-координатная модель:
а — равномерный растр; б — неравномерный растр

В линейных моделях качественные признаки приписываются одномерным геометрическим объектам с помощью кодов (класс дискретных моделей) или функций распределения качественных показателей на интервале (класс аналитических моделей).

Самыми распространенными линейными моделями являются растровые модели (индекс ДЛК). Оси растра могут располагаться равномерно (палетка) или в зависимости от густоты характерных точек (рис. 4.6, а, б).

Контурные модели. Контурные ограничивают области влияния скважин, геологические блоки на погоризонтных планах, сечения рудных тел продольными или поперечными разрезами и т. д.

При координатном кодировании контуры задаются массивом координат точек в порядке их обхода, при функциональном производится интерполяция гладкими функциями. Кусочные контурные модели совмещают эти два способа задания: контур задается кусочно-гладкими функциями, например сплайнами, т. е. каждому звену ломаной соответствует функция. Функции задаются, как правило, коэффициентами многочленов.

Модели с индексом ДКК, т. е. дискретные контурно-координатные, являются, согласно методическим рекомендациям по созданию информационного обеспечения САПР-карьер, основным видом входных моделей (см. рис. 4.5, б). Для унификации форм представления информации все другие входные модели, например дискретная линейно-координатная или растровая (ДЛК), должны преобразовываться в контурно-координатные.

Частным случаем однородных контурно-координатных моделей являются простые геометрические модели, представляющие рудную залежь на поперечном разрезе в виде трапеции или параллелограмма.

Однородные контурные модели иногда преобразуются в неоднородные заданием функций распределения качественных признаков внутри контуров. Например (в одном из вариантов моделирования со скважин методом прямоугольников) принимается, что качественные показатели уменьшаются обратно пропорционально расстоянию от скважины.

Структурное моделирование контуров аналогично алгебраическому моделированию геометрических объектов (см. п. 4.1). Приведем пример контурно-структурной модели месторождения (рис. 4.7).

Если геологический план представляет собой разбиение прямоугольной части плоскости на области (геологические блоки), то снятие каждого контура, ограничивающего эти области, является избыточным. Поэтому геометрический объект разбивают на элементы — участки границ между смежными областями, которые задаются координатно. Контур геологического блока описывается упорядоченным набором номеров составляющих его элементов. Таким образом, модель представляется в памяти ЭВМ массивами координат элементов $X(I, J)$, $Y(I, J)$, где I — номер элемента, J — номер его вершины; массивами номеров элементов $N(K, I)$, где K — номер контура; и массивом кодов качества $P(K)$. Например, контуры k и $k + 1$ описываются совокупностью дуг.

$$N_k = (i, i + 1, i + 7, i + 5, i + 6);$$

$$N_{k+1} = (i + 2, i + 3, i + 4, i + 5, i + 7).$$

Объемные модели (рис. 4.8). Этот вид моделей по конструкции и по смыслу геометрических объектов аналогичен контурным. Отличаются они размерностью

геометрических объектов и соответственно размерностью функций, задающих поверхности тела и распределение качества в них, а также массивов, представляющих координаты и функции в памяти ЭВМ. Поскольку исходная геологическая информация в основном графическая, т. е. плоская, объемные модели являются, как правило, производными от контурных или линейных. Так, например, при описании поверхностей двумерные сплайны «натягиваются» на каркас контуров.

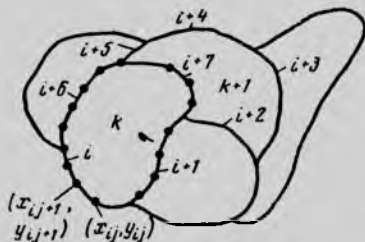


Рис. 4.7. Дискретная контурно-структурная модель:

i — номер элемента; j — номер вершины; k — номер контура

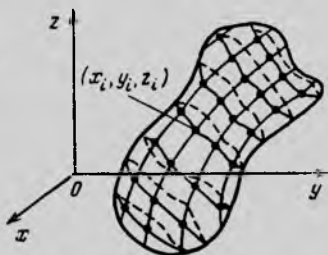


Рис. 4.8. Дискретная объемно-координатная модель

Процесс моделирования месторождений зачастую является многоэтапным и представляется как последовательное преобразование моделей. Например, по точечной модели, построенной по данным скважин, формируются зоны влияния скважин на погоризонтных планах методом многоугольников. Затем качественные признаки распределяются внутри контуров по нормальному закону, а многоугольники, задающие контуры, аппроксимируются сплайнами.

Основными параметрами математической модели месторождения являются: конструктивные, структурные, информационная емкость, погрешность моделирования.

Конструктивные характеристики модели управляют точностью аппроксимации исходной геологической информации. К ним относятся: величина микроблока, шаг палетки (растра), параметры сетки полиномов, расстояние между разрезами и т. п.

Структурные характеристики модели отражают число массивов и структурных элементов модели (признаки, приписывающие некоторые качественные показатели; задание функций распределения качества выделенных геологических блоков и т. д.).

Информационная емкость — это интегрирующая характеристика, отражающая целый ряд свойств модели. Чем сложнее месторождение и детальнее рассматриваются вопросы его отработки, тем больше информации необходимо внести в память ЭВМ для достаточно точного его математического описания.

Обозначим: Φ — информационный массив модели, характеризующий форму структурных составляющих месторождения; K — информационный массив модели, характеризующий распределение качественных показателей в массиве Φ .

Суммарный объем числовой информации, содержащийся в этих двух массивах, назовем информационной емкостью модели месторождения. Информационная емкость модели определяется ее конструкцией и сложностью месторождения.

Для пластовых однокомпонентных месторождений массив Φ невелик, поскольку эти месторождения просты по форме и однородны. Массив K также незначителен, поскольку производится учет только одного полезного компонента, следовательно, информационная емкость моделей этого класса месторождений невелика.

Для сложноструктурных, но однокомпонентных залегающих массив Φ достигает значительной величины при некотором увеличении массива K по сравнению с предыдущей группой.

Для группы сложноструктурных многокомпонентных месторождений массивы сравнимы по величине, в то время как массив K значительно расширяется. Информационная емкость геометрических моделей для месторождений этой группы наибольшая.

Информационная емкость моделей, имеющих разные конструктивные и структурные параметры на одних и тех же месторождениях, может быть неодинаковой. Поэтому одним из критериев при выборе способа математического моделирования для решения горно-геологических задач на ЭВМ является минимум информационной емкости модели в заданных границах точности расчетов.

4.4. Подготовка и преобразование графической информации о месторождении

Подготовка геологической информации для ввода в ЭВМ состоит в ее съеме с геологических планов и разрезов и кодировании. Съем графической информации

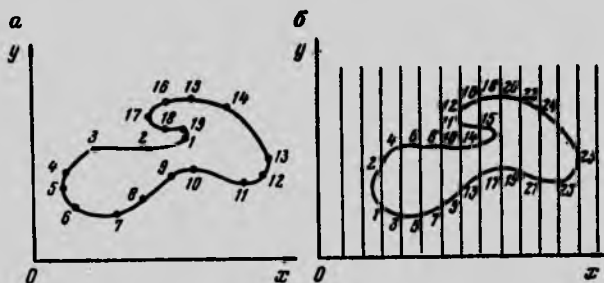


Рис. 4.9. Последовательность съема информации о контурах при следящем (а) и растровом (б) способах

и преобразование ее в числовую производится вручную или автоматизированно посредством кодировщиков (дигитайзеров).

При ручном съеме геометрической информации о форме и расположении на геологических планах или разрезах контуров геологических блоков, залежей, контуров горных выработок и других линий применяется следящий или растровый способ (рис. 4.9). В обоих случаях информация о кривых снимается в виде координат точек. При растровом способе координаты снимаются в точках пересечений параллельных линий растра с кодируемым контуром. На рис. 4.9 последовательность съема координат показана номерами точек, причем одна из координат может быть задана номером линии растра, что позволяет считывать только одну координату. При следящем способе контур обводится в любом направлении, начиная с произвольной точки. Интервалы между смежными точками по оси x могут быть принятыми больше, чем при растровом способе, что при той же точности позволяет уменьшить число кодируемых точек.

Рассмотрим один из приемов съема информации при растровом способе вручную. На погоризонтный геологический план накладывается сделанная из прозрачного

материала параллельная палетка таким образом, чтобы ее слои были параллельны оси Oy (рис. 4.10). Затем по середине каждого слоя измеряются отрезки AB , AC , AD , AE и т. д. Данные замеров заносятся в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Номер слоя	Номер и размер блока (залежи)				
1	5000031	10035	5000 055	K	—
2	5000028	10039	30 045	5000 055	K
3	5000025	10038	20 047	5000 055	K
4	5000020	30035	60 038	5000 055	K
5	5000013	30036	40 045	5000 055	K
6	5000008	30033	40 049	5000 055	K
...					
19	5000030	100032	5000 055	K	*

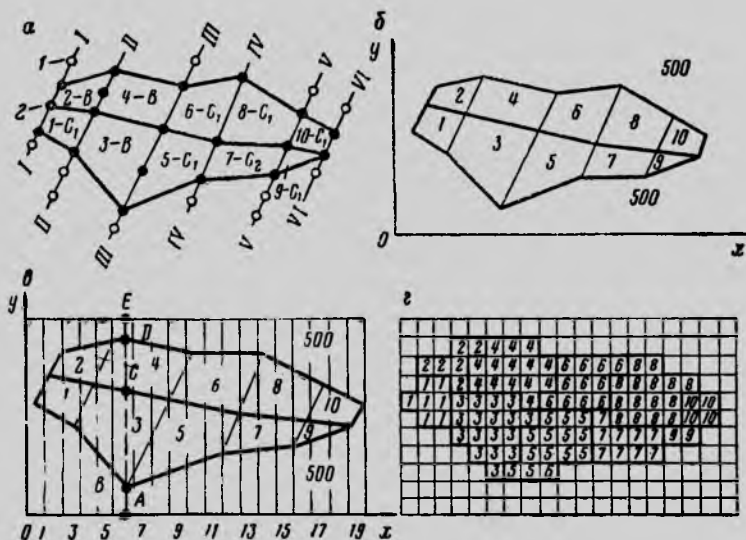


Рис. 4.10. Схема преобразования плана горизонта в математическую модель растровым способом:

a — общий вид плана горизонта; 1 — скважины по пустым породам; 2 — скважины по полезному ископаемому; b — порядок нумерации геологических блоков; c — план горизонта с наложенной палеткой; d — графическая интерпретация горизонта модели месторождения

Вначале записывается номер геологического блока, а затем его размер. Например, в строке 6 таблиц записываются измерения, сделанные в слое 6 погори-

зонтного плана. Для отрезка $AB=8$ мм запишем вначале номер геологического блока, который равен 500, а затем размер, равный 8. Получим 50000008. Для отрезка $AC=33$ мм запишем 30033 и т. д. Таким образом, получим в таблице математическую модель данного горизонта в числовой фазе моделирования. Последние четыре цифры каждого элемента строки означают расстояние от оси x до границы данного блока, а первые

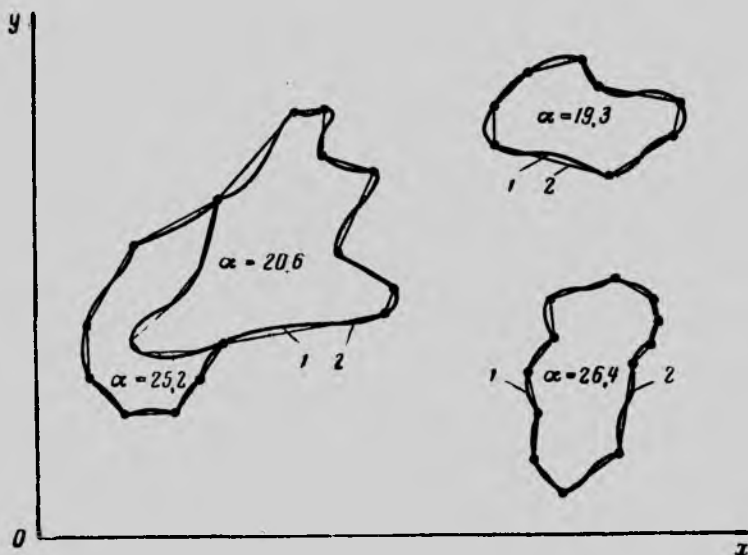


Рис. 4.11. Описание рудных тел многоугольниками:
1 — контур рудного тела; 2 — аппроксимирующий многоугольник

три цифры — номер блока, строка от строки отделяется буквой K и горизонт от горизонта — звездочкой.

Рассмотрим подготовку информации следящим способом считывания. В качестве исходной информации используются погоризонтные планы, рудные тела на которых, разграниченные по сортовому, качественному и другим признакам, описываются многоугольниками $f_j(x, y) = 0$, где j — номер многоугольника (рис. 4.11). Каждый многоугольник характеризует собой однородный блок горной массы с высотой, равной или кратной принятой высоте уступа. Считывание координат вершин

любого многоугольника производится последовательно по контуру, т. е. точки следуют одна за другой. Например, рудный блок со средним содержанием полезного компонента $\alpha = 19,3\%$ (см. рис. 4.11) координатами точек с номерами 31—38. Замыкание многоугольника происходит программно на ЭВМ путем рассмотрения отрезка, соединяющего последнюю вершину с первой. Никаких ограничений, кроме точности описания контакта рудного тела на многоугольники, не накладывается. Считанные координаты вершин записываются в бланк (табл. 4.3) и каждый многоугольник определяется числом вершин и соответствующими признаками.

Кодирование качественных признаков производится на основе блочно-мнемонического принципа. Параметры и показатели при этом располагаются группами знаков, каждая из которых характеризует месторождение с определенной стороны. Следовательно, всем многоугольникам присваивается соответствующая характеристика F . Например, для условий Коршуновского месторождения для рудных тел F — это содержание железа в руде, для пустой породы $F = 1$, для выработанного пространства (воздуха) $F = -1$.

Все данные заносятся в бланк, а после его заполнения подсчитывается вручную сумма координат вершин многоугольника, предназначенная для выявления ошибок, возникающих при переносе информации на перфоносители. После ввода в ЭВМ программно вычисляется новая сумма и сравнивается с фактической. При их совпадении считается, что данные введены верно. Одновременно каждый многоугольник проверяется на самопересечение сторон.

При записи данных на внешние носители ЭВМ используется принцип очереди, предусматривающей расположение всех данных в виде однонаправленного упорядоченного списка и наличие управляющего элемента (указателя начала и конца) (рис. 4.12).

Управляющим элементом модели месторождения в горном отводе является число погоризонтных планов (KG). Управляющими элементами очереди служат данные о числе многоугольников на горизонте (N_i), его отметка (OG_i) и высота поля (H_i). В качестве управляющей строки очереди выступает число вершин многоугольников в нарастающем порядке на горизонте (K_{ij} , $j = \overline{1, N_i}$). Элементами списка очереди приняты координаты вершин много-

угольников (x_{ijk} , y_{ijk} , $k = K_{ij-1} + 1, K_{ij}$), описывающих контуры залежей, карьера и выработанного пространства, и его признаки (содержание a_{ij} , тип T_{ij} и т. д.). Эти данные представляют собой простейший список очереди (одна строка в табл. 4.3).

Объем информации, записанной на магнитной ленте, составляет

$$1 + 3KG + (\varepsilon + 1) \sum_{i=1}^{KG} N_i + 2 \sum_{i=1}^{KG} K_i N_i \text{ чисел}$$

или

$$4 \left(1 + 3KG + \varepsilon \sum_{i=1}^{KG} N_i + 2 \sum_{i=1}^{KG} K_i N_i \right) + 8 \sum_{i=1}^{KG} N_i \text{ байт,}$$

где ε — число признаков, характеризующих горную массу.

Использование принципа очереди позволяет уменьшить объем хранимой информации по сравнению с матричным (табличным) способом записи за счет исключения дополнительных нулей. При матричном способе объем информации составляет

$$2 + 2KG + 2KG \max_i N_i \max_{i,j} (K_{ij} - K_{ij-1}) + \\ + \varepsilon KG \max_i N_i \text{ чисел.}$$

Экономия памяти составит

$$1 - KG - \sum_{i=1}^{KG} N_i + \varepsilon \left(KG \max_i N_i - \sum_{i=1}^{KG} N_i \right) + 2 \times \\ \times \left(KG \max_i N_i \max_{i,j} (K_{ij} - K_{ij-1}) - \sum_{i=1}^{KG} K_i N_i \right).$$

Например, для табл. 4.3 она равна $1 - 1 - 4 + 1(1 \times 4 - 4) + 2(1 \times 4 \times 14 - 48) = 12$ чисел или 48 байт.

Способ считывания исходной геологической информации и принятое математическое описание модели карьера определяют алгоритмы выборки из памяти ЭВМ данных для решения конкретной поставленной задачи. При этом следящий способ имеет определенные преимущества перед растровым в том, что он не зависит от пространственного расположения месторождения и можно строить модели месторождения, ориентированные в любом направлении. Растровая модель может быть



Рис. 4.12. Структура последовательного файла, созданного по принципу очереди

построена путем совместного решения уравнений контура залежи на данном горизонте $f_i(x, y) = 0$ и прямой, задающей линию растра и проходящей через точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2) :

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}. \quad (4.10)$$

Отсутствие ограничений на форму многоугольников, аппроксимирующих контакты горной массы, контуры карьера и выработанного пространства, а также необходимость построения вертикальных сечений по горизонтальным планам в любом направлении, чаще всего по и вкрест простирания месторождения, требуют разработки способа разбиения многоугольников на выпуклые в любом направлении. Под выпуклым многоугольником в каком-либо направлении понимается многоугольник $F_i(x)$, пересечение любой прямой $y = f(x)$ в этом направлении с которым состоит не более чем из двух точек, т. е. для всех

$$x' \neq x'', x' \in F_i(x), x'' \in F_i(x), x' \in f(x), x'' \in f(x)$$

удовлетворяются неравенства

$$F_i((1 - \lambda)x' + \lambda x'') \leq (1 - \lambda)F_i(x') + \lambda F_i(x''), \quad 0 \leq \lambda \leq 1. \quad (4.11)$$

Алгоритм разбиения любого многоугольника с помощью ЭВМ на выпуклые состоит в следующем.

1. Определяются вершины многоугольника, выходящие стороны в которых лежат по одну сторону от прямой, проходящей через эту вершину и параллельной направлению сечений (рис. 4.13). Это вершины подозрительные на невыпуклость.

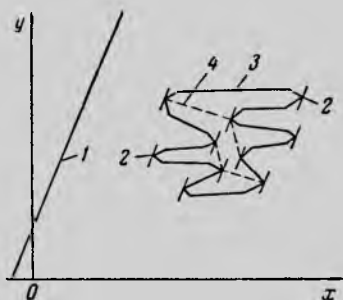


Рис. 4.13. Деление многоугольников на выпуклые:

1 — направление прямой $y = f(x)$;
2 — вершины, подозрительные на выпуклость; 3 — контур многоугольника $y = F_i(x)$; 4 — отрезки деления

2. Если таких вершин две, то многоугольник выпуклый и его делить не надо.

3. Найденные вершины соединяются попарно, причем:

а) соседние вершины не соединяются;

б) отрезок, соединяющий вершины, не должен пересекаться со сторонами многоугольника;

в) углы, составленные этим отрезком со сторонами многоугольника в одной из вершин, должны быть больше $\pi/2$, т. е. отрезок и стороны должны лежать по разные стороны от прямой, параллельной направлению сечений.

Выполнение этих условий отвечает требованию деления многоугольника на наименьшее возможное число новых многоугольников.

4. Определяются площади новых и старого многоугольников по формуле

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i) \right|, \quad (4.12)$$

где n — число вершин; $x_0 = x_n$, $y_0 = y_n$ — условие замкнутости.

5. Если суммарная площадь новых многоугольников совпадает с площадью старого, то деление его возможно.

6. Многоугольник делится на два по найденному отрезку и с ними вновь повторяется п. 1.

Все эти операции осуществляются на ЭВМ автоматически по подпрограмме, исходными данными для которой служит угол между направлением сечений и осью Ox . В результате работы подпрограммы информация о любом горизонте перерабатывается таким образом, чтобы все многоугольники были выпуклыми в заданном направлении. При этом число многоугольников на горизонте может увеличиться.

5. МАШИННАЯ ГРАФИКА

5.1. Теоретические основы математического отображения в ЭВМ точек и прямых

Под машинной графикой понимается автоматизация подготовки, представления и обработки графической информации с помощью ЭВМ. При автоматизированном проектировании машинная графика используется в основном для диалога человека с ЭВМ и для автоматизации чертежных работ.

Использование ЭВМ для подготовки и воспроизведения изображения в режиме диалога называется интерактивной машинной графикой. При этом проектировщик с помощью специального устройства, например светового пера, формирует изображение на экране дисплея. В настоящее время разработаны программы, с помощью которых в течение нескольких секунд ЭВМ «понимает» изображение, выполняет ряд связанных с ним вычислений и представляет человеку либо результаты, либо скорректированное изображение.

Другой важной областью применения машинной графики является автоматизация чертежных работ. Известно, что в общем объеме проектных работ графика составляет не менее 30—40 %, достигая в некоторых случаях 70—80 %. В связи с этим использование ЭВМ и графопостроителей для выполнения чертежей и их размножения может дать значительный технико-экономический эффект.

С появлением машинной графики перед специалистами возникла задача разработки таких методов подготовки, преобразования, хранения и воспроизведения графической информации, которые позволили бы минимизировать затраты памяти и времени расчета на ЭВМ. Снижение времени расчета становится особенно важным при работе проектировщика с графическим дисплеем в диалоговом режиме.

В основном почти все изображения, представляемые с помощью средств машинной графики, можно рассмат-

ривать как комбинацию прямых линий, точек и символического текста. Несмотря на кажущуюся упрощенность такого подхода, используя его, можно представить и воспроизвести большое число плоских и пространственных объектов.

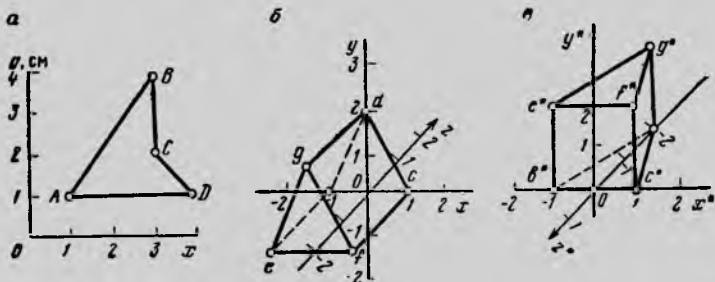


Рис. 5.1. Примеры геометрических объектов:

а — плоский; б — трехмерный; в — поворот призмы вокруг оси z

Отрезок прямой может быть задан в пространстве координатами его начала (x_1, y_1, z_1) и конца (x_2, y_2, z_2) ; точка определяется тремя координатами (x_1, y_1, z_1) , а текст — путем комбинации отрезков или точек. На плоскости число координат снижается до двух. Геометрический объект, представленный на рис. 5.1, а, может быть задан набором векторов $A = (1, 1)$, $B = (3, 4)$, $C = (3, 2)$, $D = (4, 1)$. В общем случае точку в пространстве можно рассматривать как матрицу (x, y, z) .

В машинной графике обычно используются однородные координаты и однородное координатное воспроизведение. Этот прием позволяет получить общую матрицу преобразования. При однородном координатном воспроизведении происходит отображение n -мерного пространства в $(n+1)$ -мерное. Таким образом, если точка в трехмерном пространстве задается тремя обычными координатами (x, y, z) , то в однородных координатах она будет представлена четырьмя значениями

$$(XYZH = (h_x h_y h_z h), \quad (5.1)$$

где h — некоторое произвольное число, отличное от нуля.

При однородном координатном воспроизведении каждая точка на плоскости задается неоднозначно. Например, точка с координатами $(3, 2, 4)$ может быть

записана в виде следующих наборов неоднородных координат:

$$(3, 2, 4, 1) = (6, 4, 8, 2) = (-3, -2, -4, -1).$$

Переход от однородных координат к обычным осуществляется по формулам

$$x = \frac{X}{H}, y = \frac{Y}{H}, z = \frac{Z}{H} \quad (5.2)$$

и называется нормализацией.

Для каждой точки изображения может быть взято свое значение H . Для упрощения формул обычно принимают $H = 1$.

В общем случае геометрический объект, состоящий из отрезков прямых и точек, задается в виде матрицы

$$A = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & H_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & H_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_n & Y_n & Z_n & H_n \end{pmatrix}. \quad (5.3)$$

Матрица, соответствующая трехгранной призме, изображенной на рис. 5.1, б, имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix}, H = 1. \quad (5.4)$$

Большинство геометрических задач можно привести к виду

$$AT = B,$$

где A , T , B — матрицы, причем A , B — соответствуют системам точек; T — матрица преобразования.

В машинной графике выделяются два класса задач.

Первый класс. Известны матрица преобразования и его результат — система точек, представленная матрицей B . Необходимо определить исходное отображение (матрица A). Эта задача может быть записана в виде

$$A = BT^{-1}, \quad (5.5)$$

где T^{-1} — матрица, обратная матрице преобразования.

Второй класс. Задано исходное положение A и матрица преобразования T . Необходимо определить результирующее изображение (матрица B).

$$B = AT. \quad (5.6)$$

Решение указанных задач при матричном представлении сводится к действиям умножения матриц и нахождения обратной матрицы. Алгоритмы этих операций имеются в стандартном программном обеспечении всех современных ЭВМ.

Остановимся подробнее на задачах, представленных уравнением (5.6). Матрица преобразования (4×4) для трехмерных однородных координат имеет вид:

$$T = \begin{pmatrix} a & b & c & p \\ d & e & f & g \\ h & i & j & r \\ l & m & n & s \end{pmatrix} \quad (5.7)$$

Эта матрица может быть представлена в виде четырех отдельных частей

$$\left(\begin{array}{c|c} 3 \times 3 & 3 \times 1 \\ \hline 1 \times 3 & 1 \times 1 \end{array} \right)$$

Матрица (3×3) осуществляет преобразование в виде изменения масштаба, сдвига и вращения. Матрица-строка (1×3) производит перенос, а матрица-столбец (3×1) — преобразование в перспективе. Последний скалярный элемент (1×1) выполняет общее изменение масштаба.

Например, необходимо повернуть призму, изображенную на рис. 5.1, б на 90° вокруг оси x по часовой стрелке. Преобразованию поворота на угол θ соответствует матрица T вида

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.8)$$

Для $\theta = -90^\circ$ матрица T имеет вид

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Умножая исходную матрицу A (5.4) на матрицу преобразования T , получим результирующие изображения вида (рис. 5.1, в).

$$B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -2 & 1 \\ -1 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & -2 & 1 \end{vmatrix} \quad (5.9)$$

Более сложные преобразования, такие как получение изометрических, аксонометрических и перспективных проекций, могут быть выполнены как последовательность простейших.

Так, для получения вида объекта сверху нужно осуществить в общем случае перенос параллельно осям координат, поворот вокруг оси x против часовой стрелки на угол 90° и проектирование на плоскость xu , которые задается матрицей.

$$T = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (5.10)$$

Примером решения задачи нахождения исходного преобразования по известному результату и преобразующей матрице является восстановление трехмерной геометрической информации по проекциям объекта. Можно показать, что для такого восстановления при перспективном проектировании необходимо как минимум наличие двух проекций, которыми могут быть, например, фотографии объекта, сделанные с двух разных точек.

5.2. Теоретические основы представления в ЭВМ кривых и поверхностей

Кривые сложной формы на плоскости и в пространстве могут быть заданы в ЭВМ в виде ряда точек. Однако если требуется высокая точность воспроизведения, такое представление требует больших затрат памяти ЭВМ и увеличивает время счета. Поэтому представляется удобным хранить в памяти машины математическое описание кривой.

В машинной графике для описания пространственных и плоских кривых удобно применять параметрическую форму

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t), \quad (5.11)$$

где параметр $t_1 \leq t \leq t_2$, т. е. изменяется в заданных пределах.

В качестве примера парабола, уравнение которой в явной форме имеет вид

$$x = y^2, \quad (5.12)$$

может быть записана параметрически в виде

$$y = t, x = t^2, -\infty \leq t \leq +\infty, \quad (5.13)$$

а произвольная точка на кривой представляется в виде вектора

$$Q = (t^2 t) \quad (5.14)$$

или в однородных координатах

$$\bar{Q} = (t^2 t 1). \quad (5.15)$$

Широкое распространение в машинной графике получили в настоящее время идеи французского ученого Безье. Он показал, что при параметрическом представлении кривые однозначно определяются информацией о координатах точек пересечения касательных, проведенных к этим кривым.

Так, дуга параболы при $0 \leq t \leq 1$, представленная выражениями (5.13), может быть задана ломаной $Q_0 Q_1 Q_2$, составленной из отрезков касательных в точках $t = 0$, $t = 1$ (рис. 5.2, а).

Информация об этой дуге может храниться в виде матрицы L_0

$$L_0 = \begin{pmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1/2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.16)$$

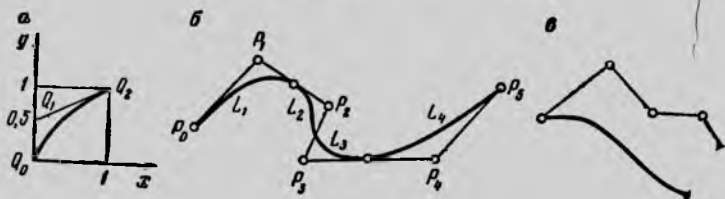


Рис. 5.2. Примеры кривых на плоскости:

a — дуга элементарной параболы; *б* — аппроксимация *B*-сплайнами; *в* — многоугольник и кривая Безье

Переход к произвольной дуге параболы, а также различные геометрические действия над этой дугой осуществляются с помощью матричных преобразований, т. е. сводятся в ЭВМ к операциям умножения матриц.

Значительное место в машинной графике занимает конструирование кривых. Часто при этом возникает задача восполнения данных: дано несколько точек, через которые следует провести кривую. Это в сущности не что иное, как классическая задача интерполяции, которая является частным случаем более общей задачи аппроксимации.

Для решения задачи аппроксимации в машинной графике широко используются сплайн-функции или *B*-сплайны. *B*-сплайн представляет собой кусочно-полиномиальную функцию, обладающую тем свойством, что ее производные всюду непрерывны, т. е. это «гладкая» кривая.

Задача нахождения *B*-сплайна 3-го порядка произвольной ломаной $P_0P_1, \dots, P_n$ сводится к определению $(n - 2)$ парабол $L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_{n-1}$. Причем парабола L_i при $i = 1$ задается точками $P_0P_1(P_1 + P_2)/2$; L_i при $2 \leq i \leq n - 2$ — точками $(P_{i-1} + P_i)/2$, P_i , $(P_i + P_{i+1})/2$; L_i при $i = n - 1$ — точками $(P_{n-2} + P_{n-1})/2$, P_{n-1} , P_n .

В точках соприкосновения параболы L_i имеют общую касательную, что обеспечивает гладкость кривой (рис. 5.2, б). Существуют и другие методы формирования плоских и пространственных кривых, ориентированные

исключительно на использование в диалоговом режиме работы с дисплеем, например метод параболической интерполяции. Использование этого метода аналогично способу рисования короткими, перекрывающимися штрихами на листе бумаги. Если изображение получается неправильным, последние штрихи могут быть уничтожены и заменены другими.

Полученное одним из указанных методов описание кривой хранится в памяти ЭВМ. В случае необходимости кривая в виде системы точек при различных значениях параметра t может быть подвергнута любым преобразованиям, выполняемым с помощью матричных методов.

Поверхности и их описание играют важную роль в проектировании. В большинстве случаев аналитическое описание отсутствует и используются методы построения поверхностей, создающие их из более простых исходных элементов, таких, как кривые или точки. Наиболее общей моделью поверхности является цилиндр, для формирования которого вводятся понятия образующей, направляющей и законы изменения образующей вдоль направляющей. Законы изменения обычно задаются набором сечений, каждое из которых может быть кривой сложной формы. Кривой в сечении становится ломаная линия. Такой подход к моделированию поверхности приводит к получению каркаса, информация о точках хранится в памяти ЭВМ. На основании этой информации могут быть получены координаты любой точки на поверхности.

Описание поверхностей может быть осуществлено также с помощью B -сплайнов или поверхностей Безье (рис. 5.2, б, в).

При изображении непрозрачных трехмерных объектов возникают задачи удаления невидимых линий и поверхностей, генерации «тоновых» рисунков.

Из рассмотренных выше способов описания графических объектов следует, что любое изображение состоит из точек. Координаты этих точек заносятся в базу данных. Для удобства идентификации, повторного вызова, изменения и манипуляции с изображением база данных представляется в виде отдельных блоков, каждый из которых описывает графический элементарный объект с индивидуальными характеристиками типа формы, размеров и площади. Элементарные объекты

могут представлять собой физические тела, а потому могут быть наделены такими свойствами, как, например, цвет, плотность, состав. Блоки объединены в связанные структуры данных. При использовании таких структур имеющиеся в каждом блоке указатели связывают этот блок с другими, описывающими объекты с подобными характеристиками.

5.3. Программное графическое обеспечение

Программное графическое обеспечение обычно разделяют на три уровня: базисное, функциональное и прикладное.

Базисное обеспечивает функционирование устройств графического ввода-вывода, организацию обмена графическими данными. Для графических дисплеев обеспечивается связь между операторами дисплея и программой. Базисное программное обеспечение позволяет вычерчивать основные графические элементы (примитивы): отрезки прямых, дуги окружностей, символы буквенные и цифровые, а также изображения, представляющие собой комбинацию этих элементов. Осуществляются преобразования изображений — масштабирование, перемещение, поворот.

Функциональные программы выполняют отдельные функции, часто используемые при вычерчивании чертежно-графической информации. Например, с помощью функциональных программ вычерчиваются системы координат, графики функций, ломаные, кривые второго порядка, спирали и т. д.

Прикладные графические программы предназначены для решения конкретных задач в графическом виде: расчет и изображение определенного типа деталей и узлов конструкций, выполнение картографических работ, изображение поверхностей, например участков местности, на плоскости и т. д.

Существует большое количество систем программирования графических устройств, например ГРАФОР, AUZEI, PAD-EC, GHOST, SSP.

Наиболее известный и распространенный комплекс программ ГРАФОР, написанный на языке ФОРТРАН IV, включает следующие основные группы программ:

- инициализации и завершения;
- вычерчивания графических примитивов;

вывода текстовой информации;
вычерчивания графиков;
аффинных преобразований.

Программы инициализации и завершения предназначены для выбора единиц измерения и определения поля чертежа, т. е. его размеров и положения начала координат. По программе MMS единицей измерения устанавливается миллиметр, по программе CMS — сантиметр. Размеры страницы задаются обращением к программе PAGE:

CALL PAGE (*XL*, *YL*, *NAME*, *NJ*),

где *XL* — размеры по оси *X* в заданных единицах ($10 \text{ см} \leq X \leq 60 \text{ см}$); *YL* — размеры по оси *Y* ($10 \text{ см} \leq Y \leq 26 \text{ см}$); *NAME* — название страницы; *N* — число символов в названии; *J* — признак, принимающий два значения:

$$J = \begin{cases} 0, & \text{если страница не очерчивается;} \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При этом, как и в дальнейшем, обозначения параметров определяют их тип согласно следующему правилу описания переменных по умолчанию в языке ФОРТРАН: если идентификатор переменной начинается с букв *I*, *J*, *K*, *L*, *M*, *N*, то она целая, в противном случае — вещественная.

Закрытие страницы осуществляет программа ENDPG.

В группу программ вычерчивания графических примитивов входят: программы проведения отрезка прямой, выбора пишущего элемента, программы вычерчивания прямоугольников, правильных многоугольников, прямоугольной сетки, дуг окружностей, спирали и эллипса.

К программе проведения отрезка прямой обращаются следующим образом:

CALL MOVE (*X*, *Y*, *J*),

где *X*, *Y* — координаты точки на странице, в которую перемещается перо;

$$J = \begin{cases} 0, & \text{если перо перемещается без вычерчивания;} \\ 1, & \text{если с вычерчиванием отрезка прямой.} \end{cases}$$

Программа выбора и смены пишущего элемента применяется при вычерчивании элементов чертежа, когда могут использоваться несколько видов линий: жирные

и тонкие, разного цвета. Каждому виду линий соответствует свой пишущий элемент, номер которого задается оператором: CALL PEN (M).

Для вычерчивания окружностей и их дуг ГРАФОР содержит несколько программ (рис. 5.3, а, б). Программа ARCIS вычерчивает дугу окружности по трем точкам:

CALL ARCIS (X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3, J),

где

$$J = \begin{cases} 0, & \text{если дуга проходит через точку } (X2, Y2), \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Программа ARCB рисует дугу окружности, начиная с места нахождения пера:

CALL ARCB (R, XK, YK, J),

где

$$J = \begin{cases} 0, & \text{если дуга менее } 180^\circ, \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Назначение программы CIRCLE более широкое: она вычерчивает спираль и дугу спирали (рис. 5.3, в). Обращение к программе:

CALL CIRCLE (XA, YA, TO, TF, RO, RF, L),

где XA и YA — координаты точки, с которой начинается вычерчивание; TO и TF — угол наклона начального и конечного радиуса; RO и RF — их длина; если L=0, то рисуется пунктирная линия, если L=1, то рисуется сплошная линия.

В частности, при RO=RF получается окружность или дуга окружности.

Для изображения эллипса используется оператор:

CALL ELIPS (XO, YO, A, B, AL, TO, TF),

где (XO, YO) — начальная точка; A и B — полуоси эллипса; AL — угол наклона большой полуоси к оси X; TO и TF — углы между большой осью эллипса и соответственно начальным и конечным диаметрами (рис. 5.3, г).

Группа программ текстовой информации содержит программы выбора набора символов и определения наклона символов, вычерчивания строк текста.

CALL SYMBOL (X, Y, H, IT, NC, TH)

вычерчивает строку, где X, Y — координаты левого нижнего угла строки; H — высота символов; IT — текст в символьном виде; NC — число символов; TH — угол наклона строки к оси абсцисс.

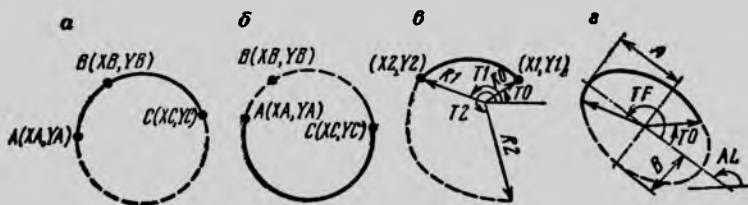


Рис. 5.3. Вычерчивание дуг с помощью операторов:

Окружность: а — CALL ARCIS ($X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, O$) или CALL MOVE (X_A, Y_A, O) CALL ARCB (R, X_C, Y_C, O), б — CALL ARCIS ($X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, I$) или CALL MOVE (X_A, Y_A, O) CALL ARCB (R, X_C, Y_C, I). Спираль: в — сплошная линия CALL CIRCLE ($X_1, Y_1, T_0, T_1, R_0, R_1, I$) пунктирная линия CALL CIRCLE ($X_2, Y_2, T_1, T_2, R_1, R_2, O$). Эллипс: г — CALL ELIPS ($X_0, Y_0, A, B, AL, T_0, T_F$)

Графики функций вычерчиваются в декартовой, полярной системах координат, в логарифмических масштабах. Имеются дополнительные возможности для построения графиков: вычерчивание календарных осей, гистограмм (диаграмм статистического распределения).

Например, для построения графика в декартовых осях нужно задать область графика программой REGION и пределы изменения функций программой LIMITS. Построение кривой осуществляет программа LINED (X, Y, N), где массивы X и Y задают последовательность значений аргумента и функции; N — их число. Программа построения осей координат — AXES.

Группа программ аффинных преобразований содержит программы элементарных преобразований: переноса, поворота, масштабирования, растяжения, а также программы композиции преобразований. Последние реализуются перемножением матриц, задающих соответствующие преобразования. Например (рис. 5.4), перенос изображения осуществляет оператор

CALL SHIFT (DX, DY),

где DX и DY — координаты вектора сдвига; поворот вокруг точки с координатами X, Y на угол PSI — оператор

CALL ROTATE (X, Y, PSI)

растяжение (сжатие) вокруг точки с коэффициентом K

CALL PSCALE (X, Y, K).

Примером программы композиции преобразований является программа LSCALE, осуществляющая растяжение (сжатие) и симметричное отражение изображения относительно оси, а также их комбинацию

CALL LSCALE (X1, Y1, X2, Y2, K),

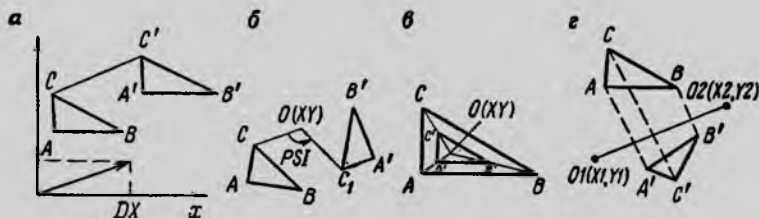


Рис. 5.4. Аффинные преобразования треугольника ABC в треугольник A' B' C':

a — сдвиг на вектор V: CALL SHIFT (DX, DY); б — поворот вокруг точки O на угол PSI: CALL ROTATE (X, Y, PSI); в — сжатие вокруг точки O ($|AO| = 2|A'O|$, $|BO| = 2|B'O|$, $|CO| = 2|C'O|$): CALL PSCALE (X, Y, 0,5); г — сжатие и симметричное отражение относительно оси O1O2 ($|AD| = 2|A'D|$, $|CE| = 2|C'E|$, $|BF| = 2|B'F|$): CALL LSCALE (X1, Y1, X2, Y2 — 0,5)

где координаты двух точек определяют ось; K — коэффициент растяжения (сжатия), причем симметричное отражение производится при $K < 0$.

Преобразования, заданным этими операторами, подвергается все изображение в пределах страницы, сформированное операторами, следующими за ними.

Например, для изображения бровки траншеи на плане карьера, состоящей из полуокружности и параллельных касательных к ней, можно воспользоваться подпрограммой POL вычерчивания ее половины и преобразованием симметричного отражения:

PROGRAM TRAN

CALL MMS

READ (1,1) XA, YA, XB, YB, YC, XC, YC, R

1 FORMAT (7F8.2)

CALL PAGE (200, 150, 7H ТРАНШЕЯ, 7, 1)

```

CALL POL (XA, YA, XB, YB, XC, YC, R)
CALL LSCALE (XA, YA, XC, YC, -1)
CALL POL (XA, YA, XB, YB, XC, YC, R)
CALL ENDPG (IHI)
STOP
END
SUBROUTINE POL (A, B, C, D, E, F, P)
CALL MOVE (A, B, O)
CALL MOVE (C, D, I)
CALL CIRCLE (C, D, E, F, P, I)
RETURN
END

```

Кроме перечисленных программ, имеется ряд программ интерполяции и аппроксимации функций. Для этого используются кубические сплайны и метод наименьших квадратов. При этих программах последовательность точек восполняется гладкой кривой, а ломаные линии сглаживаются.

Структура комплекса ГРАФОР такова, что он допускает расширение за счет введения программ, выполняющих дополнительные функции. Обращение к программам ГРАФОР может произвольно чередоваться с другими операторами ФОРТРАНа.

5.4. Программное геометрическое обеспечение

При разработке графического обеспечения САПР возникает большой круг геометрических задач, связанных с моделированием геометрических объектов, с различными геометрическими построениями, с расчетом координат точек, определяющих изображаемые объекты. Для автоматизации решения этих часто встречающихся задач разработаны геометрически ориентированные системы программирования, например ФАП-КФ, ГЕОМАЛ, DIGRA, GPDЛ, GPL/1. Ниже мы рассмотрим язык ФАП-КФ. В комплексе с программным графическим обеспечением такие геометрические системы программирования образуют программное геометрическое обеспечение САПР.

Пакет программ ФАП-КФ (формализованный аппарат геометрического моделирования на основе компилятора) является расширением языка ФОРТРАН геометрическими переменными и операциями. Он удобен для разработки алгоритмов и программ решения сложных геометрических задач, встречающихся в автоматизированном проектировании.

ФАП-КФ имеет более 200 геометрических операторов для определения геометрических объектов (ГО), для осуществления их отображений и операций над ними, для вычисления площадей, построения сечений, проекций, для аппроксимации кривых и т. д. Имеются также средства для анализа ГО и их взаимного расположения, операторы вывода графической информации на устройства отображения.

Рассмотрим основные типы геометрических переменных ФАП-КФ.

В ФАП-КФ используются плоские и пространственные ГО. Мы остановимся только на плоских объектах. Они разделяются на пять типов:

элементарный ГО: точка, прямая, окружность, кривая второго порядка (эллипс, гипербола, парабола), отрезок прямой, дуга окружности, дуга кривой второго порядка и вектор;

ломаная, причем крайние звенья могут быть полупрямыми;

лекальная кривая (участок гладкой кривой);

составной ГО: кривая, составленная из произвольных элементарных ГО (исключая вектор), ломаных и локальных кривых;

конструктивный ГО: плоская область, границу которой образует элементарный или составной ГО.

Все перечисленные ГО, кроме точки, считаются ориентированными на плоскости. В частности, каждая линия делит плоскость на положительную область (расположенную слева от линии) и отрицательную (расположенную справа от линии). ГО могут иметь самопересечения, составные ГО могут быть связными или несвязными, комплексные — односвязными, многосвязными или несвязными, ограниченными или неограниченными.

Чтобы задать комплексный ГО, необходимо определить элементарный или составной ГО, являющийся его границей. Тогда под комплексным ГО будет пониматься область, лежащая слева от заданного ГО. К комплекс-

ным ГО можно применять теоретико-множественные операции (пересечение, объединение, дополнение), которые лишены смысла для произвольных ГО. Для ограниченного комплексного ГО можно вычислять площадь, штриховать его.

Геометрические переменные получают в программе наименования, которые используются в геометрических выражениях и операторах для ссылки на эти переменные. Правила присвоения наименований в языке ФАП-КФ такие же, как в ФОРТРАНе. Тип геометрической переменной в программе не описывается, он устанавливается при выполнении программы в зависимости от вида геометрического выражения или оператора.

Геометрические переменные можно объединять в массивы, размерность массива указывается в его описании обычным для ФОРТРАНа образом. Элементами одного массива могут быть геометрические переменные различных типов. Например, в массиве A , описанном оператором

DEMENSION $A(3)$,

$A(1)$ может быть ломаной, $A(2)$ — точкой, $A(3)$ — областью, ограниченной контуром.

Геометрические операторы ФАП-КП представляют собой операторы присваивания или операторы обращения к подпрограммам языка ФОРТРАН. При этом в левой части оператора присваивания указывается наименование определяемой геометрической переменной, в правой — геометрическое выражение.

Геометрическое выражение определяет правило вычисления геометрического значения. Оно состоит из наименования подпрограммы — функции и списка фактических параметров, которые могут быть как исходными данными, так и результатами вычислений.

Например, геометрический оператор

$$P = PTA(T, A)$$

определяет геометрический объект P как прямую, проходящую через точку T под углом A к оси абсцисс. В свою очередь T можно определить как точку пересечения двух прямых $P1$ и $P2$

$$T = TRP(P1, P2).$$

Эти два оператора можно объединить в один

$$P = PTA(TPP(P1, P2), A) .$$

В наименованиях функций используется следующая мнемоника. Начальные буквы указывают тип определяемых переменных: T — точка; P — прямая; K — окружность; V — вектор; D — дуга окружности; S — плоскость; A — угловая величина; H — линейная величина. Остальные буквы наименования определяют тип фактических параметров в последовательности их перечисления (см. приведенные выше примеры).

Фактические параметры в геометрическом выражении должны однозначно задавать форму определяемого ГО и его положение относительно системы координат или относительно уже определенных ГО. При этом параметры могут содержать как метрическую информацию (координаты, линейные и угловые размеры ГО), так и позиционную (например, «слева», «внутри», «касается» и т. п.). Геометрический объект, относительно которого указывается положение другого объекта, называется базовым объектом.

Однозначность задания ГО достигается с помощью ориентации линий и поверхностей, приписывания знаков расстояниям и углам, последовательности задания базовых ГО в списке параметров.

Например, для двух заданных окружностей можно построить четыре касательные (рис. 5.5). Уточним понятие касания следующим образом: линии касаются, если их направления в точке касания совпадают. При таком определении касательная от окружности $K1$ к окружности $K2$ проводится однозначно в зависимости от ориентации окружностей (рис. 5.5, $б — д$). Окружность считается заданной с положительной ориентацией (против часовой стрелки), если ее радиус положительный, отрицательный радиус указывает на отрицательную ориентацию (по часовой стрелке).

Аналогично уточняется понятие параллельности прямых: прямые должны быть одинаково ориентированы. Угол от прямой или вектора $P1$ до прямой или вектора $P2$ равен углу, на который нужно повернуть $P1$ до совпадения с ориентацией $P2$. Угол считается положительным (отрицательным), если поворот происходит против часовой стрелки (по часовой стрелке). Расстояние между ориентированными ГО считается положительным (отри-

цательным), если оно откладывается влево (вправо) от базового ГО.

В ФАП-КФ вводится понятие отрицания ГО: отрицанием геометрического объекта P называется новый ГО, совпадающий с P , но противоположный ему по ориентации.

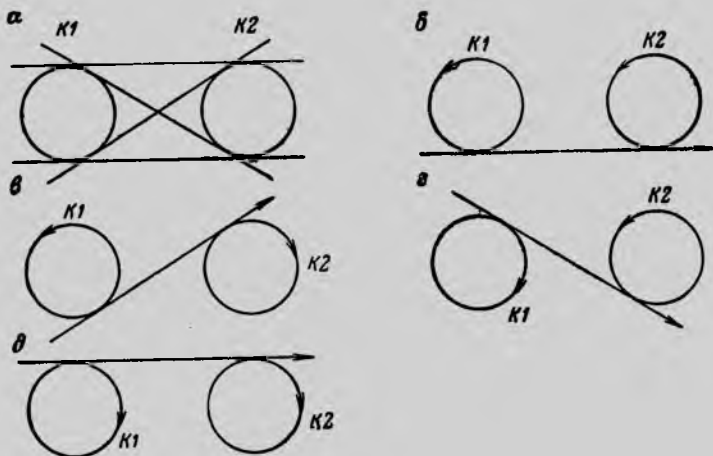


Рис. 5.5. Определение касательной к двум окружностям:

a — окружности и касательные неориентированы; b — d — касательная от K_1 и K_2 при различных ориентациях окружностей

В ФАП-КФ существует много способов задания геометрических объектов и операций над ними. Каждому такому способу соответствует геометрический оператор. Рассмотрим некоторые из них.

1. Точка T может определяться (рис. 5.6) координатами X и Y :

$$T = TXY(X, Y),$$

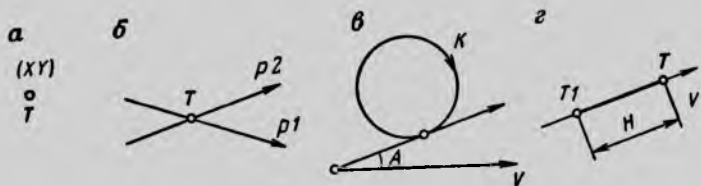


Рис. 5.6. Операторы ФАП-КФ для задания точки:

a — $T = TXY(X, Y)$; b — $T = TPR(P1, P2)$; $в$ — $T = TKVA(K, V, A)$; $г$ — $T = TTVH(T1, V, H)$

как точка пересечения прямых $P1$ и $P2$:

$$T = \text{TRP}(P1, P2),$$

как точка сопряжения окружности K и прямой, касательной к K и проходящей под углом A к вектору V :

$$T = \text{TKVA}(K, V, A),$$

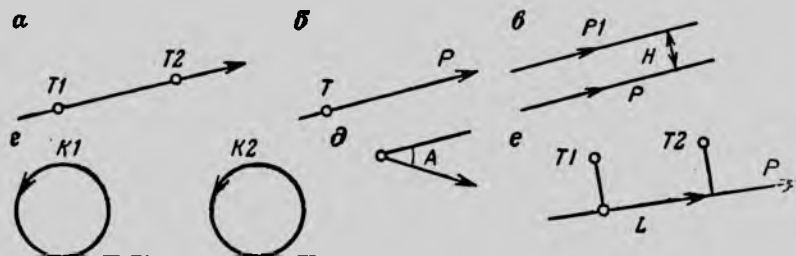


Рис. 5.7. Операторы ФАП-КФ для задания прямой и отрезка прямой

$a - P = \text{PTT}(T1, T2)$; $б - P = \text{PTVA}(T, V, A)$; $в - P = \text{PRH}(P1, H)$; $г - P = \text{PKK}(K1, K2)$; $д - L = \text{LTT}(T1, T2, P)$

как точка, расположенная от точки $T1$ на расстоянии H , отложенном в направлении вектора V :

$$T = \text{TTVN}(T1, V, H) \text{ и т. д.}$$

2. Прямая P определяется (рис. 5.7) как проходящая через точки $T1$ и $T2$ и ориентированная от $T1$ к $T2$:

$$P = \text{PTT}(T1, T2),$$

проходящая через точку T под углом A к вектору V :

$$P = \text{PTVA}(T, V, A),$$

расположенная на расстоянии H от прямой $P1$:

$$P = \text{PRH}(P1, H),$$

касательная к окружности $K1$ и $K2$, ориентированная от точки касания к $K1$ к точке касания к $K2$:

$$P = \text{PKK}(K1, K2).$$

Отрезок прямой L определяется точками $T1$ и $T2$:

$$L = \text{LTT}(T1, T2),$$

как часть прямой P , заключенной между проекциями точек $T1$ и $T2$ на прямую P :

$$L = LTTP(T1, T2, P)$$

и т. д.

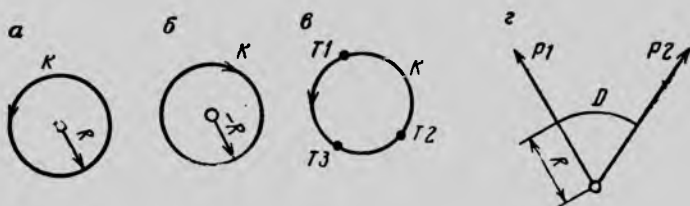


Рис. 5.8. Операторы ФАП-КФ для задания окружности и дуги окружности:

$a - K = KCR(C, R)$; $b - K = KCR(C, -R)$; $c - K = KTTT(T1, T2, T3)$
 $d - D = DPPR1(P1, P2, R)$

3. Окружность K определяется (рис. 5.8) центром C и радиусом R :

$$K = KCR(C, R),$$

по трем точкам $T1, T2, T3$:

$$K = KTTT(T1, T2, T3).$$

Дуга D окружности с радиусом R и с центром в точке пересечения прямых $P1$ и $P2$ определяется функцией:

$$D = DPPR1(P1, P2, R).$$

4. Ломаная задается перечислением вершин непосредственно или в виде массива. Например:

$$W = WXYN(X, Y, N1, N2).$$

Вершины ломаной имеют координаты $X(I)$ и $Y(I)$, где $I = N1, N1+1, \dots, N2$.

Этот оператор может задавать несколько ломаных, разделителем их координат в массивах X и Y служит O . Если участок ломаной замкнут, то первая и последняя его координаты должны совпадать.

Аналогично задаются локальные кривые:

$$Q = QXYN(X, Y, N1, N2).$$

При этом производится интерполяция параболоми пятой степени.

5. Непрерывные кривые, состоящие из отрезков и дуг окружностей (рис. 5.9, а), могут быть построены с помощью операторов натягивания контура. Оператор $C = CGN(K1, K2, \dots, KN)$ определяет кривую C , натянутую на элементы $K1, \dots, KN$, представляющие собой

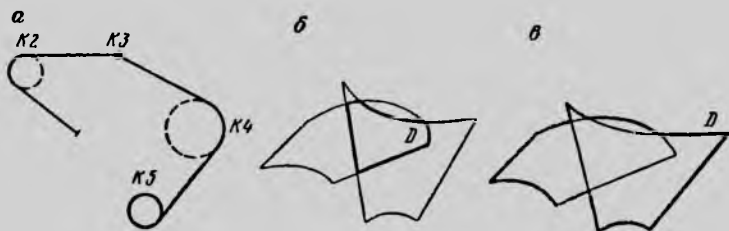


Рис. 5.9. Операции над геометрическими объектами:
а—составной объект: $C = CGN(K1, K2, K3, K4, K5)$; б—пересечение: $D = CON(D1, D2)$; в—объединение: $D = DIZ(D1, D2)$

точки или окружности. Элементы можно объединять в массив:

$$C = CGMN(M, N1, N2),$$

$$C = CXYRN(X, Y, R, N1, N2).$$

6. Преобразования плоского геометрического объекта $C1$ в объект $C2$ задаются следующими функциями: симметрия относительно прямой P

$$C = SIMP(C1, P),$$

поворот вокруг точки T на угол A

$$C = POVG(C1, T, A),$$

перемещение на вектор V

$$C = DGU(C1, V),$$

масштабирование с коэффициентом $1/AM$, оставляющее неподвижной точку T

$$C = GMAS(C1, T, AM).$$

7. Для анализа взаимного расположения ГО осуществляется:

вычисление кратчайшего расстояния между ГО C и прямой P , а также определение признака, принимающего значения:

$$I = \begin{cases} -1, & \text{если } P \text{ и } C \text{ не пересекаются,} \\ 0, & \text{если } P \text{ и } C \text{ касаются,} \\ 1, & \text{если } P \text{ и } C \text{ пересекаются,} \end{cases}$$

оператором

$$H = \text{HGP}(C, P, T, I);$$

установление инцидентности (принадлежности) точки комплексу ГО C оператором

$$I = \text{INC}(T, C, E),$$

где

$$I = \begin{cases} 1, & \text{если } T \text{ — внутренняя точка области } C, \\ 0, & \text{если } T \text{ — граничная точка области } C, \\ 1, & \text{если } T \text{ — внешняя точка области } C. \end{cases}$$

При этом точка T считается граничной точкой области, если она отстоит от ее границы не более чем на E .

8. Вычисление характеристик геометрического объекта осуществляется оператором

$$\text{CALL VGHAR}(C, X, Y, S),$$

где X, Y — координаты центра тяжести; S — площадь.

9. Теоретико-множественные операции над комплексными ГО $D1$ и $D2$ (рис. 5.9, б, в):

пересечение

$$D = \text{CON}(D1, D2),$$

объединение

$$D = \text{DIZ}(D1, D2).$$

10. Вывод графической информации на устройства отображения (графопостроители или дисплей):

вычерчивание геометрических объектов $C1, C2, \dots, CN$:

$$\text{CALL CHGA}(M, C1, C2, \dots, CN),$$

где M — модификатор, устанавливающий тип линий; штриховка области C тонкой сплошной линией под углом A к оси абсцисс с шагом S , мм

$$\text{CALL SHTRH}(C, A, S).$$

Существуют также операторы для вычерчивания рамки и штампа, выносных линий, для вывода текстовой информации и т. д.

Программа на ФАП-КФ должна удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к программам на ФОРТРАНе. Обычные фортрановские и геометрические

операторы могут произвольно чередоваться друг с другом.

Наряду с синтаксическим контролем программы, осуществляемым транслятором с ФОРТРАНа, ФАП-КФ имеет развитые средства диагностики ошибок, возникающих из-за неправильного применения геометрических операторов или неверно подготовленных исходных данных.

Следует заметить, что даже при отсутствии программного обеспечения, реализующего ФАП-КФ, этим языком удобно пользоваться для разработки и записи алгоритмов геометрических задач. Тем самым будет достигнута полная формализация решения, экономность и ясность конструкции программы или системы программы.

5.5. Автоматизированное изготовление планов карьеров

При проектировании разработки месторождений большая часть информации передается в графической форме. Исходной информацией для проекта является геологическая документация — погоризонтные геологические планы и поперечные разрезы месторождения, топографические карты и т. п. Результаты проектирования также в основном представляются в виде чертежей: планы и разрезы горных работ, паспорт управления уступами, паспорт управления БВР, конструкции транспортных площадок и т. п. На каждой стадии проектирования используется графическая информация предыдущих стадий и формируется новый графический документ.

Для машинного ввода, обработки и вывода графической информации горного проектирования необходимо соответствующее прикладное программное обеспечение САПР.

Как уже говорилось, в настоящее время существует много систем, позволяющих решать поставленные задачи на высоком программном уровне. В частности, рассмотренный выше язык ГРАФОР может являться основой для графического обеспечения САПР-карьер, для создания геометрического обеспечения может быть использован геометрически ориентированный алгоритмический язык ФАП-КФ.

Формирование геологических планов сводится в основном к вопросам хранения и представления информации, что связано с однотипностью его элементов. Геометрические объекты, образующие план карьера, мно-

гообразны и вычерчиваются по определенным правилам горной графики, поэтому основной задачей машинного изготовления планов карьера является формирование элементов и их синтез.

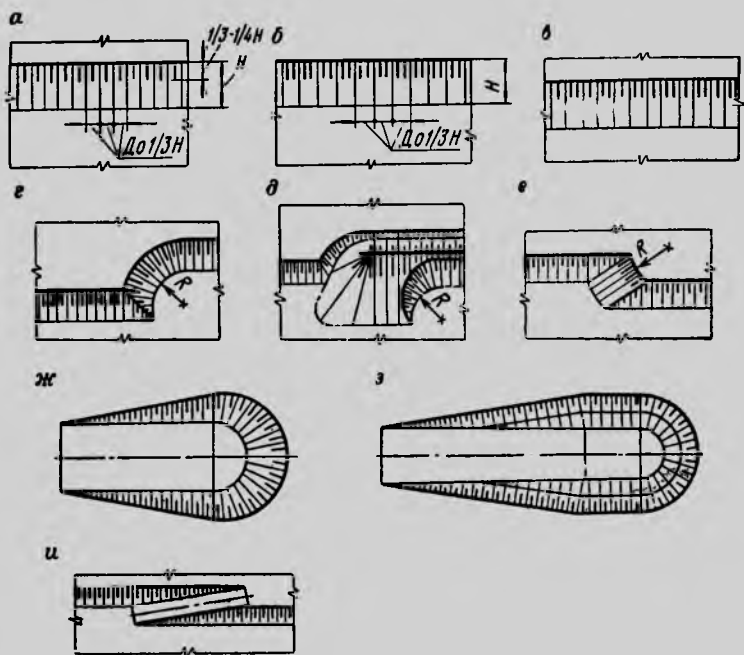


Рис. 5.10. Графическое изображение:

а—б — уступов; в—г — забоев; ж—з — траншей; и — съездов

К основным элементам горного чертежа относятся графические элементы: уступы, съезды, забои, траншеи, отвалы, а также текстовые элементы — надписи и размеры. Существует несколько разновидностей графических элементов, некоторые из которых изображены на рис. 5.10. Ввиду того что уступы реальных чертежей, как правило, не являются прямолинейными, эти элементы могут также модифицироваться.

Разнообразие форм делает необходимыми построение общей модели элемента горного чертежа, формулировку правил их формирования и синтеза. При этом надо стремиться к максимальной автоматизации построений при минимальном количестве исходной информации. Удобно предусматривать различные варианты задания

этой информации. Опишем одну из возможных моделей горного чертежа.

Элемент горного чертежа состоит из нижней и верхней границ, откосов и штриховки. Нижняя граница задается в качестве исходной информации, остальные части строятся по дополнительным параметрам.

Элемент может состоять из нескольких простых элементов. Простой элемент характеризуется самостоятельной штриховкой и связностью.

В общем случае нижняя граница элемента представляет собой кусочную кривую, состоящую из отрезков прямых и дуг окружностей, которые будем называть участками. Крайние участки границы могут быть неограниченными или представлять собой окружность. В первом из этих случаев элемент ограничивается фактически рамками плана. Допускается несвязность нижней границы, т. е. случай, когда она распадается на несколько непересекающихся кусков.

Граница простого элемента или часть границы сложного элемента, соответствующая простому элементу, гладкая. Это означает, что соседние участки границы имеют на стыках общие касательные. На математическом языке такую кривую можно охарактеризовать как дифференцируемую функцию кусочно-постоянной кривизны. Этими функциями можно описать любую гладкую кривую с наперед заданной точностью.

Форма задания информации о нижней границе может быть различной. Одна из них — задание вершин участков кривой, сами участки при этом определяются автоматически из условия гладкости. Такое задание дает выбор кривой неоднозначным, поэтому обычно добавляются условия сглаживания кривой. Например, выбирается кривая с минимальной наибольшей кривизной. Этот способ целесообразно применять при аппроксимации заданного контура карьера для моделирования его уступов. Он распространяется лишь на гладкие куски борта карьера, точки излома надо помечать особо.

Однозначное задание нижней границы, необходимое для выполнения построения элементов, может осуществляться с помощью различных параметров. Если известны вершины участков, то достаточно знать еще направления касательных во всех этих точках за исключением крайних точек и точек излома границы. Но более удобным для построения является задание радиусов

участков, хотя это и может быть связано с дополнительными вычислениями. Для однозначности такого задания кривой необходимо ее ориентировать.

Таким образом, внутренним представлением нижней границы будет упорядоченная последовательность координат вершин и ориентированных радиусов участков, задаваемых следующим образом:

$$R = \begin{cases} 0, & \text{для отрезка прямой;} \\ r, & \text{для дуги окружности радиуса } r, \text{ центр которой} \\ & \text{лежит справа от границы,} \\ -r, & \text{если центр лежит слева от границы.} \end{cases}$$

Внешнее представление может отличаться от внутреннего, в этом случае должна существовать программа, преобразующая информацию.

Для построения верхней границы по нижней нужна дополнительная информация, задающая расстояние между границами в плане. Это расстояние, вообще говоря, переменнo и является функцией точек нижней границы: $H = H(X)$.

В большинстве случаев либо H на участке постоянно или линейно, либо соответствующие участки верхней и нижней границ являются дугами неконцентрических окружностей.

При построении участков верхней границы, соответствующих излому нижней границы, в верхней границе также получается излом. В таком случае к верхней границе добавляется отрезок прямой, соединяющий верхнюю и нижнюю точки излома. При этом элемент разбивается на два простых элемента, имеющих откосы.

Операцию построения откоса можно применять также к неограниченным элементам. Для этого пара точек, заданных на верхней и нижней границах, соединяется отрезком прямой или дугой окружности. Этот новый участок может приписываться как верхней границе, тогда откос называется верхним, так и нижней границе (нижний откос).

К простому элементу можно применять операцию штриховки. Штриховка в горных чертежах отличается от обычной штриховки в чертежах машиностроительных, что не позволяет воспользоваться стандартными программами, например, из комплекса ФАП-КФ. Различные типы штриховки — для уступов рудных, вскрышных и смешанных — показаны на рис. 5.10.

Для однозначного задания штриховки простого элемента достаточно задать направление штрихов, тип уступа и в некоторых случаях положение первого штриха и расстояние между штрихами.

В большинстве случаев штриховка производится по нормали к верхней границе, т. е. перпендикулярно к прямолинейному участку верхней границы и по радиусу для кругового участка. Это направление штриховки может считаться основным. При этом действует правило: откос не изменяет направления штриховки. Другие модификации — штриховка по нормали к нижней границе, параллельно к линии откоса и в редких случаях в заданном направлении.

Для реализации штриховки необходимо разделить верхнюю границу на отрезки (дуги) длины $H/3$ или $H/2$ в зависимости от типа уступа, где H — расстояние между границами. Иногда требуется уместить в данном участке целое число штрихов. Затем из точек деления в заданном направлении проводятся отрезки до пересечения с нижней границей. Для проведения короткого штриха нужно вычислить длину полного штриха и вычертить треть этого отрезка, начиная от верхней границы. Все эти операции несложно реализуются на языке ФАП-КФ.

Из построенных и заштрихованных элементов можно образовывать новые элементы горного чертежа. Способы описания их взаимного расположения и способы соединения могут быть различными и поэтому следует использовать все средства языка ФАП-КФ или аналогичного языка. Например, один из способов — указание общих участков границы. Один из элементов (базовый) располагается на чертеже определенным образом, а второй подвергается аффинному преобразованию, совмещающему указанные участки так, чтобы они были противоположно ориентированы. При изображении второго элемента общий участок границы не вычерчивается. Например, элемент, изображенный на рис. 5.10, г, можно построить из двух откосов.

Горный чертеж может содержать надписи и размеры. Автоматизированное нанесение размеров на чертеже является довольно сложной задачей. В настоящее время существует множество алгоритмов, оптимизирующих размещение размеров в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307—68 (нанесение размеров и предельных отклонений).

6. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И КАРЬЕРОВ

6.1. Простые геометрические модели месторождений

Простые геометрические модели месторождений позволяют представить сложные в действительности формы реальных рудных тел и горных выработок их упрощенными изображениями в виде правильных простых геометрических фигур — параллелепипедов, усеченных конусов и пирамид, призм, а на поперечных сечениях — в виде параллелограммов и трапеций.

Простые геометрические модели широко используются при различных приближенных расчетах, так как позволяют быстро осуществить расчет большого числа вариантов, исследовать влияние тех или иных определяющих факторов, выявить зону, в пределах которой находится оптимальное значение искомой величины, уточняемой, при необходимости, другими методами.

Большинство известных и широко распространенных формул для определения таких параметров открытой разработки, как коэффициент вскрыши, границы и объемы карьеров, элементы систем открытых разработок, основаны на простых геометрических моделях месторождений.

Область применения простых геометрических моделей ограничивается однородными рудными телами относительно несложной формы, имеющими балл сложности не более 8—12 по методике П. П. Бастана. Чем сложнее месторождение, тем больше погрешность расчетов.

Представим сложный контур рудного тела, полученный в результате геологической разведки месторождения, в виде замкнутого многоугольника. Этот контур (назовем его разведочным) может быть с определенной степенью погрешности заменен более простым, например, имеющим форму трапеции.

Абсолютную погрешность определения площади, которая возникает при замене сложного контура более

простым, предлагается определять по следующей формуле:

$$m_S = \frac{L_m}{4N} \sqrt{\frac{L_p^2 - L_m^2}{N}}, \quad (6.1)$$

где L_m — длина (периметр) контура простой модели рудной залежи, м; L_p — разведочный периметр залежи, м; N — число пересечений обоих контуров.

Чем чаще пересекается контур модели с разведочным, тем меньше погрешность моделирования.

Относительная погрешность в процентах

$$M_S = m_S S^{-1} 100, \quad (6.2)$$

где S — площадь разведочного контура, м².

Наиболее часто рудное тело на поперечном разрезе представляется в виде параллелограмма. Методика моделирования в этом случае состоит в следующем:

на поперечном разрезе проводят горизонтальные линии с интервалом между ними, равным одной-двум высотам уступа;

на каждой горизонтали отмечают средние точки, равноудаленные от боковых сторон рудного тела и соединяют ломаной линией (рис. 6.1), которую аппроксимируют прямой линией таким образом, чтобы линия была близка по возможности к наибольшему числу отмеченных точек. Эта прямая будет являться средней линией параллелограмма. Вид уравнения прямой подбирается с помощью метода наименьших квадратов;

замеряют на каждой горизонтали значение мощности и на их основе вычисляют среднюю мощность залежи $\bar{M}$:

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i, \quad (6.3)$$

где n — число замеров (горизонтальных линий);

проводят стороны параллелограмма, т. е. две прямые, параллельные средней линии и удаленные от нее на расстояние $\pm \bar{M}/2$.

Вычисляют погрешность моделирования по формулам (6.1) и (6.2) *.

* В случае совпадения участков контуров залежи и модели величина N определяется по числу пересечений горизонтальных линий с контуром залежи (модели).

Пример моделирования формы рудного тела Петлинского железорудного карьера (основная залежь).

Петлинское месторождение бурых железняков представляет собой залежь длиной по простиранию около 700 м. Аппроксимируем рудное тело, изображенное на рис. 6.1, по предлагаемой методике. Для этого проводим ряд горизонтальных линий с интервалом 20 м. На каждой горизонтальной прямой отметим средние точки, равноудаленные от боков сторон рудного тела и соединяем их ломаной линией. Построенную ломаную аппроксимируем прямой, которая в данном случае проходит под углом 120° к горизонтали. Замеряем значения мощности по горизонталям $M_1=55$, $M_2=45$, $M_3=45$, $M_4=46$, $M_5=53$, $M_6=55$, $M_7=47$, $M_8=58$, $M_9=40$, $M_{10}=36$, $M_{11}=25$ и вычислим среднее значение мощности $M = 42$ м.

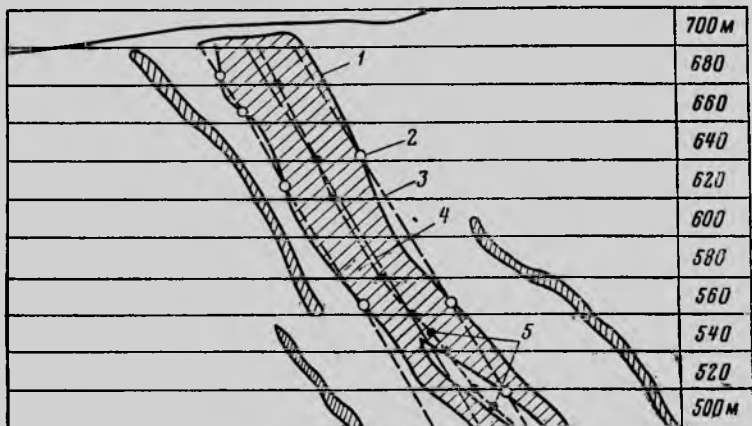


Рис. 6.1. Поперечный разрез по железорудной залежи, обрабатываемой Петлинским карьером:

1 — контур залежи; 2 — точки пересечения контуров; 3 — контур простой геометрической модели; 4 — средняя линия залежи; 5 — средняя линия простой модели

Проведем на расстоянии $\pm \bar{M}/2$ две прямые, параллельные средней линии до отметки 500 м. В итоге получим модель рудного тела в виде параллелограмма.

Оценим, пользуясь изложенной методикой, погрешность, допущенную при моделировании

$$m_S = \frac{L_m}{4N} \sqrt{\frac{L_p^2 - L_m^2}{N}} = 1093,9 \text{ м}^2;$$

$$M_S = m_S S^{-1} 100 = 11,2 \text{ \%}.$$

Как видно из приведенного примера, месторождения, аналогичные по условиям Петлинскому, могут быть с достаточной точностью описаны с помощью простых геометрических моделей.

Борта карьера в предельном положении и динамика рабочей зоны моделируются на поперечных сечениях в виде наклонных линий, а объемы горной массы определяются как сумма объемов правильных геометрических фигур. Запасы полезного ископаемого (V), а также его компонентов (m) вычисляются по формулам:

$$V = \bar{M} L H; \quad (6.4)$$

$$m = \bar{M} L H \alpha, \quad (6.5)$$

где $\bar{M}$ — средняя мощность залежи, м; L — длина залежи, м; H — глубина залежи, м; α — среднее содержание полезного компонента, % (мг/т).

6.2. Дискретные математические модели месторождений

При математическом моделировании полезных ископаемых широкое распространение получил принцип, при котором участок горного отвода, включающий месторождение и вмещающие его породы, представляется в виде суммы микроблоков, каждый из которых характеризуется координатами в трехмерном пространстве и кодом качественных признаков. Дискретные математические модели, основанные на этом принципе, получили название *цифровых или блочных*. Эти модели позволяют решать на ЭВМ разнообразные и сложные геометрические, технологические и технико-экономические задачи планирования и проектирования карьеров сложно-структурных многокомпонентных месторождений руд.

Дискретные цифровые модели позволяют с довольно высокой точностью учесть реальные геологические условия и геометрические параметры (форму рудных тел, контуры карьера и фронта работ на уступах и т. п.), а также качество рудных тел и горных пород.

Участок горного отвода, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда и полностью включающий месторождение, условно помещается в трехмерное пространство с координатными осями OX , OY , OZ , в качестве которых целесообразно использовать принятую для месторождения условную систему координат. По оси аппликат OZ фиксируются глубина карьера и отметки горизонтов Z_i (1, 2, ..., KG) через интервал H_i , равный или кратный принятой высоте уступа. Верхний слой обязательно

включает все отметки дневной поверхности месторождения. Использование поперечных геологических разрезов или погоризонтных планов, отображающих месторождение как серию сечений, проведенных на одинаковом расстоянии друг от друга, позволяет зафиксировать одну из координат и перейти от трехмерного пространства к двумерному. Для поперечных разрезов фиксируется координата x , а для погоризонтных планов z .

Первые наипростейшие цифровые модели представляли собой послойную сумму микроблоков, каждый из которых нес в себе большой объем информации: порядковый номер блока, код качества, технологические, стоимостные и временные характеристики оцениваемого варианта технологии и др. Вследствие этого подготовка информации и ввод ее в ЭВМ были настолько трудоемки и связаны с такой значительной погрешностью, что модели этого вида не получили практического применения.

Развитие цифровых моделей шло по пути уменьшения ручных операций по подготовке информации и ввода ее в ЭВМ, снижения погрешности и трудоемкости расчетов. Порядковый номер микроблока был заменен его координатами в трехмерном пространстве, а совместная модель месторождения и развития горных работ — раздельными моделями. Затем были разделены массивы информации о структуре месторождения и о качественных показателях (категория запасов, сорт руд, коэффициент рудоносности, содержание полезных компонентов).

Геологическое строение сложноструктурных месторождений в результате геологической разведки обычно представлено структурно в виде залежей или геологических блоков, каждому из которых присваивается определенный номер.

Если закодировать тем или иным способом все элементарные микроблоки и присвоить им номер той залежи или того геологического блока, в границах которых они находятся, то получим геометрический массив информации, т. е. первую часть математической модели месторождения. Геометрический массив характеризует структурное строение месторождения и объем его составляющих структурных частей — залежей или геологических блоков, а также пустых пород в пределах горного отвода как в целом, так и по горизонтам.

Положение микроблока на горизонте определяется координатами его центральной точки (x, y, z) (рис.

6.2, а). Это позволяет оперировать при расчетах на ЭВМ микроблоком как точкой.

Все горизонты простейшей цифровой модели одного месторождения должны иметь одинаковые размеры и равное число микроблоков. В оперативной памяти ЭВМ при расчетах одновременно находится один горизонт цифровой модели.

Координаты центральной точки (в масштабе чертежа) любого микроблока на горизонте определяются ЭВМ по следующим формулам:

$$x_i = \frac{B_6}{2} (2i - 1); \quad y_j = \frac{B_6}{2} (2j - 1), \quad (6.6)$$

где x_i , y_j — координаты микроблока, мм; i , j — порядковый номер микроблока соответственно по оси Ox , Oy ; B_6 — размер микроблока в плане, принимаемый в масштабе погоризонтного плана, мм.

Таким образом, положение микроблока в пространстве определяется координатами его центральной точки в плоскости xOy и номером горизонта.

На рис. 6.2, б представлена графическая интерпретация точечно-цифровой модели месторождения для одного горизонта.

Залежь или геологический блок характеризуется большим числом качественных показателей (категория запасов, сорт руды, коэффициенты рудоносности, содержание полезных компонентов), которые в пределах геологического блока считаются постоянными. Список качественных показателей с распределением их по структурным составляющим (геологическим блокам или залежам) представляет собой массив качественной информации.

Связующим показателем между массивами служит общий для них параметр — номер геологического блока или залежи. С помощью массива геометрической информации определяется объем того или иного контура, например траншеи, а с помощью массива качественных показателей устанавливается качественная характеристика объема.

Конструкция и параметры цифровой модели в различных геологических условиях и при различных видах исходной информации определяются главным образом в зависимости от двух основных требований — уменьшить погрешность моделирования и одно-

временно снизить трудоемкость работ по подготовке информации и производству расчетов.

Основными параметрами цифровой математической модели месторождения являются ее границы (размеры условного параллелепипеда, вмещающего в себя горный отвод) и размеры микроблока. Границы принимают минимальными, но достаточными для того, чтобы оцениваемые контуры карьера всегда находились внутри границ модели месторождения. Границы модели наносят на погоризонтных планах в виде прямоугольника, две стороны которого совпадают с координатными осями. Высота микроблока принимается равной высоте уступа.

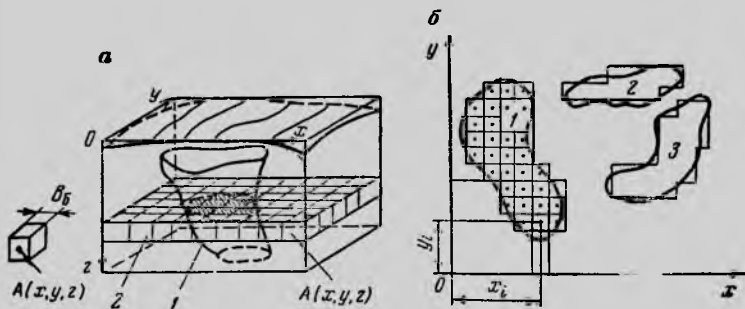


Рис. 6.2. Графическая интерпретация:

а — участок горного отвода в системе координат: 1 — контур залежи; 2 — микроблоки; *б* — горизонт цифровой модели месторождения: 1, 2, 3 — рудные блоки

Размеры микроблока в плане имеют важное значение, так как от них зависит точность решения горно-геометрических задач.

Допустимый размер микроблока сначала определяет-ся из условия точности моделирования горных вырабо-ток, а затем — из условия точности моделирования кон-тура рудных тел (сортовых участков). Минимальный полученный размер блока проверяют по условию раз-мещения одного горизонта математической модели в памяти ЭВМ.

На горизонтальных месторождениях, исходная инфор-мация о которых представлена планами изолиний, обык-но применяется объемно-интегральная модель, как сум-ма вертикальных призм с различными или одинаковы-ми площадями оснований, которые определяются при-нятым методом подсчета запасов (ближайших скважин, треугольников и т. п., рис. 6.3.).

На крутопадающих и наклонных месторождениях, информация о которых представлена погоризонтными планами, чаще применяют послойные объемно-интегральные модели. Объем слоя определяется как сумма вертикальных призм с одинаковой (палетка) (см. рис. 6.2, б) или различной (разноширные полосы, многоугольники) площадью основания.

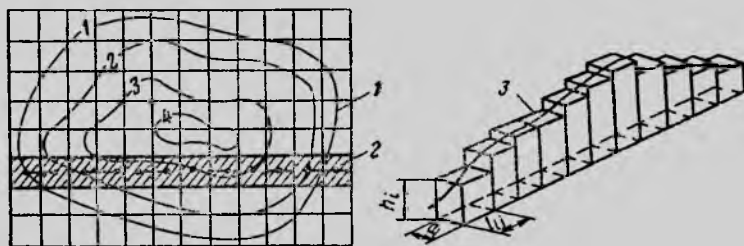


Рис. 6.3. Графическая интерпретация цифровой модели горизонтальных и пологих месторождений:

1 — линия изомощности; 2 — микроблок; 3 — схема к определению объема полезного ископаемого в выбранном сечении

Если геологическая информация представлена поперечными разрезами, то объем слоя рассматривается обычно как сумма горизонтальных блоков, ширина которых определяется мощностью залежи на этом горизонте, а длина — расстояниями между поперечными геологическими разрезами (рис. 6.4).

При подсчете запасов с помощью цифровой модели производится суммирование объемов выделенных элементарных блоков. Например, для многих модификаций цифровых моделей суммирование элементарных объемов производится по выражениям:

$$V = \sum_k \sum_i \sum_j l_{ij} a_j h_i, \quad (6.7)$$

$$m = \sum_k \sum_i \sum_j l_{ij} a_j h_i \alpha_k, \quad (6.8)$$

где l_{ij} — длина интервала, образованного пересечением j -й осью раstra (палетки) на i -м горизонте с k -м геологическим блоком; h_i — высота уступа на i -м горизонте; a_j — ширина j -го раstra; α_k — содержание полезного компонента в k -м геологическом блоке.

Как показали неоднократные расчеты, погрешность подсчета объемов с помощью цифровых моделей не превышает 3—7 %.

Порядок определения размера микроблока следующий. На погоризонтных планах карьера выбирают наиболее сложную по форме подготовительную выработку. Ее контур наносят на кальку в масштабе погоризонтного плана. На эту кальку накладывают

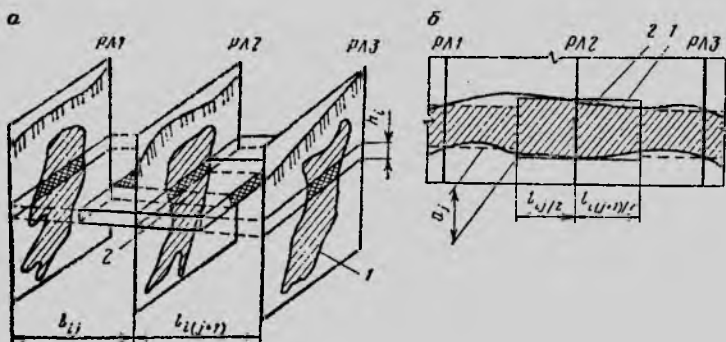


Рис. 6.4. Графическая интерпретация цифровой модели крутопадающих и наклонных месторождений (по разрезам):

а — в плоскости разреза; б — на горизонте; 1 — контур рудного тела; 2 — границы модели

квадратную палетку со стороной квадрата, равной или кратной ширине подготовительной выработки. Визуально подсчитывают число клеток, центры которых лежат на контуре траншеи и внутри него. По числу клеток определяют площадь S_m траншеи. Аналитически (путем разбивки площади траншеи на правильные фигуры) или с помощью планиметра определяют истинную площадь S_n траншеи. Определяют расчетную относительную погрешность подсчета объема траншеи по формуле

$$\eta_p = \frac{|S_n - S_m|}{S_n} 100, \% \quad (6.9)$$

Если расчетная погрешность получилась больше допустимой погрешности, принимаемой равной 3 %, то размер квадрата палетки уменьшают и расчеты повторяют до тех пор, пока относительная погрешность не будет меньше допустимой.

При определении размера микроблока из условия точности моделирования контура рудных тел на погори-

зонтных планах следует исходить из того, что точность расчетов должна соответствовать погрешности представления исходной геологической документации. Контуры рудных тел (сортовых участков) представляются с определенной погрешностью, которая колеблется в пределах 10—75 % в зависимости от категории запасов.

Регулировать погрешности вычисления объемов рудных тел с применением ЭВМ можно подбором соответствующего размера элементарного блока с учетом сложности формы рудных тел на погоризонтных планах. Принятый размер элементарного блока проверяется по условию размещения одного горизонта модели в оперативной памяти ЭВМ, т. е. размер блока должен удовлетворять условию

$$B_0 \geq \sqrt{\frac{L_x L_y}{n_p n_{\text{я}}}}, \quad (6.10)$$

где L_x , L_y — соответственно размеры модели в масштабе погоризонтного плана вдоль осей Ox , Oy , мм; n_p — число ячеек оперативного запоминающего устройства ЭВМ, отведенных для размещения одного горизонта; $n_{\text{я}}$ — число элементарных блоков, информация о которых размещается в одной ячейке.

Если это условие не выполняется, то необходимо разделить контур карьера на составные части и для каждой из них провести самостоятельный геометрический анализ на ЭВМ. Затем результаты сводятся в общую таблицу.

6.3. Аналитические модели месторождений

Аналитические модели месторождений в общем виде представляют собой набор аналитических функций $f_i(x, y, z)$, с помощью которых в заданных областях трехмерного пространства описывается распределение каждого из признаков f_i , характеризующих месторождение. Применение аналитических моделей формально ограничивается такими типами залежей, которые в пределах выбранной системы координат представляют собой однозначные функции. Основным условием для формирования аналитических моделей является выдержанная непрерывность геометрических и качественных свойств месторождения. Реализация таких моделей затруднена

для наклонных и крутопадающих сложноструктурных залежей, которые обычно состоят из множества рудных тел, часто подвержены тектоническим нарушениям и вследствие этого имеют чрезвычайно сложную форму. Математический аппарат функционального представления сложных форм в трехмерном пространстве до сих пор не имеет необходимого развития.

Практическое применение нашли аналитические модели, основанные на следующих положениях:

контуры залежей, рудных тел и геологических сортовых блоков являются заданными в качестве исходной геологической информации и в них посредством аналитических функций на основе данных скважин описывается размещение качественных признаков;

задача решается послойно, в каждом слое описываются контуры геологических блоков и качественные признаки;

плоские контуры описываются с помощью кусочно-линейных функций или сплайнов.

При аналитическом описании месторождений различают три рода функций:

1 — функции, выражающие реальную поверхность (поверхность кровли, почвы, тектонических нарушений и т. п.);

2 — функции, выражающие производные от реально существующих поверхностей (изомощности, изоглубины и т. п.);

3 — функции, выражающие реально не существующие поверхности (размещение содержаний компонента, физических свойств пород и т. д.).

Функции 1 и 2 рода строятся по значениям параметра, измеренного в отдельных точках залежи, по данным геологической разведки. Функция 3, как правило, устанавливается по средним значениям искомого параметра в некотором объеме.

Топографические поверхности почвы, кровли и дневной поверхности, а также изомощности и изоглубины обычно описывают компонентами заданного вида. Для этого все месторождения пересекают параллельными плоскостями (рис. 6.5). Эти плоскости выбирают проходящими перпендикулярно к одной из осей координат Ox или Oy . Такой выбор диктуется стремлением зафиксировать одну из двух переменных и тем самым перейти к полиномам вида

$$f(x) = \sum_{i=1}^n a_i x^i; \quad f(y) = \sum_{i=0}^n b_i y^i, \quad (6.11)$$

где i — степень полинома.

Точность аппроксимации поверхности в этом случае зависит от густоты сетки полиномов и от погрешности,

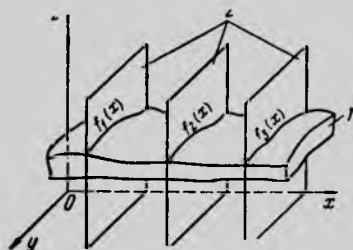


Рис. 6.5. Схема разделения параллельными плоскостями для аналитического описания горизонтальных месторождений:
1 — пласт; 2 — секущие плоскости

с которой получены сами полиномы. Оба вида погрешностей существенны, им следует придавать самое серьезное значение. При решении этой задачи присутствуют всегда элементы эвристики. Так, для определения параметров уравнений часто минимизируют сумму квадратов отклонений

$$Y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \rightarrow \min, \quad (6.12)$$

где y_i — опытные определения значений функций; $\bar{y}_i$ — расчетные значения при тех же величинах аргументов.

Выбор уравнений оптимальной сложности может быть осуществлен методом перебора всех возможных регрессий. Этот метод требует отыскания параметров всех возможных уравнений и их исследования для выявления лучших решений (например, по максимуму коэффициента множественной корреляции и принятия решения: какое уравнение лучше всего использовать). Этот метод требует больших затрат на его реализацию, поскольку число рассматриваемых уравнений не меньше 2^n , где n — число независимых переменных.

Второй метод — метод исключения — является развитием первого, с целью экономии затрат на реализацию. По этому методу рассчитывается уравнение регрессии, содержащее сразу все переменные, например, в виде степенного полинома Колмогорова — Габора:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_1^2 + a_4 x_2^2 + a_5 x_1 x_2 + \dots$$

Последовательно исключая отдельные переменные, находят оптимальный вид полинома.

Этот метод является более экономичным, так как здесь подлежат исследованию не все уравнения, а только некоторый набор «главных» уравнений. Однако и здесь затраты на реализацию сложных моделей остаются чрезмерными.

Третий метод — метод включения — основан на противоположной идее — последовательного усложнения аппроксимирующего полинома путем введения новых переменных, пока регрессионное уравнение не удовлетворит выбранному критерию. Последовательность введения переменных определяется ранжированным рядом частных коэффициентов корреляции, которые используются здесь в качестве меры «важности» переменных.

Моделируемая поверхность рудного тела описывается набором функций, аппроксимирующих контур рудного тела в определенных сечениях, поэтому практически все модели подобного типа могут быть отнесены к разряду дискретно-аналитических. Объемы полученного ископаемого в общем случае могут быть определены по выражению

$$V = \iiint_{\Omega} f(x, y, z) dx dy dz, \quad (6.13)$$

т. е. интегралом по объемам геологических блоков.

При моделировании сложных залежей на погоризонтных планах используется аппроксимация контуров рудных тел с помощью многоугольников (рис. 6.6, а). Такой подход упрощает расчет объемов горной массы и позволяет использовать при подготовке исходной геологической информации шифраторы, т. е. автоматизировать процесс съема координат. Точность расчетов при таком способе удовлетворительна. Вид функции, моделирующей рудное тело, кусочно-линейный, поэтому при расчете площади полезного ископаемого на горизонте пользуются формулой многоугольников

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N |(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)|, \quad (6.14)$$

где x_i , y_i — координаты вершин замкнутого многоугольника, аппроксимирующего контур залежи кусочно-линейной функцией.

Для выполнения условия замкнутости необходимо соблюдение соотношений: $x_{N+1} = x_1$; $y_{N+1} = y_1$.

Объем полезного ископаемого V и компонентов m на горизонте в этом случае будет определяться по соотношениям:

$$V = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \right| h_y; \quad (6.15)$$

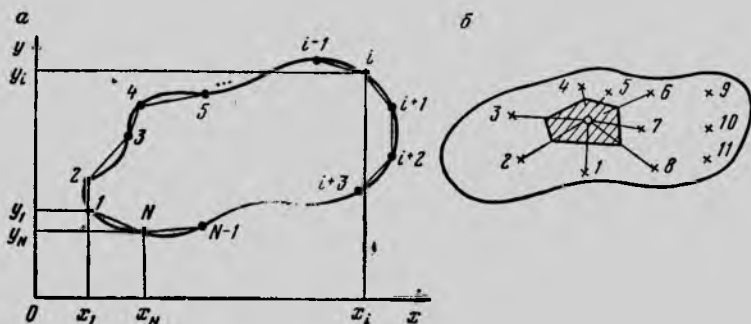


Рис. 6.6. Моделирование залежей:

1, 2, 3 ..., N — вершины замкнутого многоугольника; a — аппроксимация криволинейного контура рудного тела кусочно-линейной функцией (многоугольником); b — схема к определению зоны влияния скважины: 1, 2, 3, ..., 10 — номера разведочных скважин

$$m = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \right| h_y a_k, \quad (6.16)$$

где h_y — высота уступа.

Функции размещения качественных характеристик в рудном теле устанавливают или постоянными на некоторый объем геологического блока, или непрерывно изменяющимися по простиранию и падению залежи. При определении качественного состава геологических блоков сложноструктурных месторождений, где закономерности (тренд) распределения компонентов полезного ископаемого неустойчивы, наиболее широко распространен так называемый метод ближайшего района, когда содержание компонента по точечным данным скважин детальной и эксплуатационной разведки взвешивается на каждый объем геологического блока $V_{\text{бл}}$, подсеченного ими.

На основании метода, предложенного проф. Н. М. Болдыревым, контур зоны влияния любой скважины определяется как геометрическое место точек, равноудаленных от смежных с ней (рис. 6.6, б) скважин. Содержа-

ние полезного компонента α_i в скважине распространяется на выделенный элементарный объем V_i , тогда содержание металла α_k в геологическом блоке может быть определено по соотношению

$$\alpha_k = \frac{\sum_{i=1}^M V_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^M V_i} \quad (6.17)$$

при $V_{\text{бл}} = \sum_{i=1}^M V_i$.

При описании размещения полезного ископаемого в виде функциональных зависимостей от простирания рудного тела L , его мощности M и глубины по падению H с помощью предложенных выше методов запасы металла m выражаются интегралом по объемам

$$m = \iiint_{\Omega} f(L, M, H) dL dM dH. \quad (6.18)$$

При расчете параметров такой функциональной зависимости предполагается, что имеется устойчивая закономерность размещения полезных компонентов (тренд) в рудном теле. В связи с тем, что природа исходной информации вероятностна, выделяются длинно- и короткопериодные составляющие функции, характеризующие меру изменчивости моделируемого параметра.

В последнее время при аппроксимации функций такого вида используются двумерные и трехмерные сплайны.

6.4. Особенности математического моделирования пологих и наклонных пластовых месторождений

Особенностью пластовых месторождений является наличие четко выраженных контактов между полезными ископаемыми и вмещающими породами.

Моделирование пластовых месторождений основано на описании в цифровом виде планов разделительных поверхностей и различных качественных характеристик полезного ископаемого. В ЭВМ фиксируются высотные отметки и координаты опорных точек разделительных поверхностей. Сумма моделей разделительных поверх-

ностей по всем пластам и рельефу в целом представляет собой модель месторождения.

Методы моделирования разделительных поверхностей месторождений по способу подготовки данных делятся на три группы в зависимости от степени учета геоморфологических особенностей участков поверхностей (линии тектонических нарушений, линии перегиба кривизны поверхностей, линии водоразделов для рельефа, высоты экстремальных точек и т. д.).

К первой группе относятся модели, представленные регулярными массивами. Здесь каждая точка сопровождается одной координатой (z_i) — высотной отметкой, а две другие (x_i, y_i) вычисляются по номерам точки в массиве. Несмотря на высокую плотность информации, они не могут учесть особенности геоморфологии.

Ко второй группе относятся модели (пикетные, плоскоотно-координатные, структурно-цифровые и др.), в которых предусматривается описание экстремальных участков специальными структурными линиями или путем организации связей между опорными точками. Модели второй группы представляются нерегулярными массивами данных по опорным точкам, каждая из которых описывается двумя или тремя координатами.

В третьей группе представлены нерегулярные модели, формируемые по данным разведочной информации по скважинам, в результате которой выделены пласты, установлена их однородность и выполнена пространственная привязка пластопересечений.

Важной характеристикой цифровых моделей месторождений является информационная емкость, которая определяет трудоемкость подготовки данных, а следовательно, производительность и стоимость переработки и хранения информации в ЭВМ.

Вторая группа моделей при равной точности описания разделительных поверхностей имеет меньшую информационную емкость, чем первая. Главным фактором, обеспечивающим высокую точность моделирования, являются структурные поверхности. В них, помимо метрических данных, в неявном виде содержится синтаксическая информация, устанавливающая количественно и качественно изменения закона интерполяции. Структурные линии совпадают с реально существующими по местности границами между отдельными элементами разделительных поверхностей.

С появлением средств автоматизации ввода графической информации в ЭВМ процесс моделирования по гипсометрическим планам получил дальнейшее развитие. При этом хорошо автоматизируется процесс ввода графической информации по моделям второй группы, чего нельзя сказать о первой и третьей группах, особенно регулярных сеточных (первая группа).

Покажем на примерах принципы построения цифровых моделей разделительных поверхностей. На рис. 6.7 представлен фрагмент плана рельефа дневной поверхности в изолиниях. Построим регулярную сеточную (первая группа) и структурно-цифровую (вторая группа) модели данного фрагмента.

Для построения сеточной модели необходимо: нанести на план разделительной поверхности сетку с равным шагом по осям Ox и Oy (рис. 6.7, а); пронумеровать линии сетки; в узлах сетки снять высотные отметки (z_i) и занести их в двумерную таблицу. Отметим важную особенность подготовки данных при этом способе — необходимость интерполяции высотных отметок в узлах сетки ввиду несовпадения их с изолиниями. Эта особенность значительно затрудняет съем информации, а особенность автоматов фиксировать только плоскостные координаты (x_i, y_i) не позволяет снимать автоматическую высотную отметку.

Построение структурно-цифровой модели начинается с определения начала отсчета координат и нанесения на план структурных линий (если в этом есть необходимость). В представленном примере начало отсчета системы координат выбрано в левом нижнем углу. После выбора системы координат начинается процесс съема данных по изолиниям, структурным линиям и экстремальным точкам топографических поверхностей. В результате каждая изолиния представляется в кусочно-линейном виде точками перегибов кривизны. Стрела прогиба между кривой и хордой при этом не должна превышать обычных допусков, установленных для точности проведения горизонталей на картах, т. е. 0,2—0,3 мм. Фрагменты записей информации по общим примерам моделей показаны на рис. 6.7, б.

При «ручном» способе измерения метод моделирования по изогипсам весьма трудоемок, но при использовании кодировщиков графической информации съем координат (x, y) производится автоматически в местах

фиксирования опорных точек, что снижает трудоемкость построения моделей.

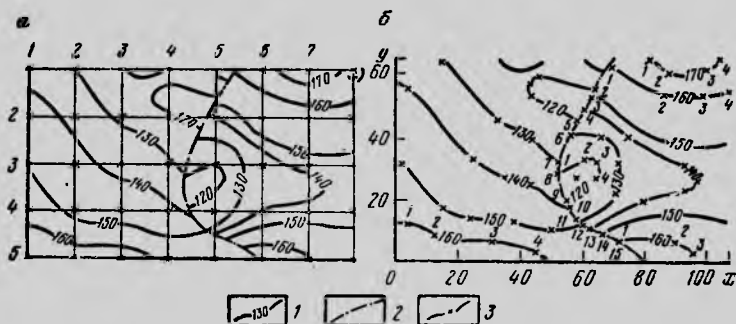


Рис. 6.7. Фрагменты графической документации к построению цифровых моделей разделительных поверхностей:

а — регулярной сеточной; *б* — структурно-координатной; 1 — изолинии поверхности; 2 — структурная линия (тектоническое нарушение); 3 — опорные точки; I — информация по изолиниям; II — информация по структурной линии

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	134	130	128	130	130	165	172	167
2	143	134	128	121	140	163	158	157
3	150	143	137	131	120	142	145	152
4	156	149	148	142	127	140	144	147
5	164	163	162	160	168	162	160	155

<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
170	82	64	88	61	100	62	64	102	K	
160	3	12	15	8	31	7	44	4	K	
160	72	7	90	6	94	4	K			
160	69	62	85	54	97	54	105	K		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
120	52	28	63	33	65	31	64	28	54	20 K

<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
160	69	63	120	64	56	150	63	53
140	60	49	120	58	46	130	56	32
120	53	28	120	52	20	140	59	17 II
150	60	18	130	58	13	140	63	10
160	72	7	K					

Очевидны преимущества данного метода построения модели по сравнению с сеточным. В методе моделирования по изолиниям данные о геоморфологии разделительной поверхности представляются в дискретно-цифровом виде с той же точностью, что и на карте.

6.5. Плоскостно-координатная модель пластового месторождения

Месторождение (или его участок) рассекается серией вертикальных условных геологических профилей (УГП), т. е. плоскостей, ориентированных вкрест простирания пластов. На каждом условном геологическом профиле в принятой системе координат представляются данные по характерным точкам (в цифровом виде) по всем разделительным поверхностям, имеющим место на данном профиле.

Процесс построения модели складывается из следующих последовательных операций:

выбирается условная система координат и строится план УГП;

снимается информация с геологической документации;

перфорируются данные и вводятся в ЭВМ;

производится автоматический и визуальный контроль данных.

Система координат (условная) выбирается таким образом, чтобы область моделирования располагалась в первом или пятом октанте декартовой системы, следовательно, координаты любой точки модели будут находиться в пределах $-\infty < z_i < \infty$ $x_i > 0$; $y_i > 0$. Система координат может быть прямоугольной (рис. 6.8, а) и цилиндрической (полярной) (рис. 6.8 в, г). Допустимо совмещение обеих систем по обусловленным правилам (рис. 6.8. б).

После построения плана УГП приступают к съему информации с геологической графической документации, представленной в виде гипсометрических карт, планов подсчета запасов, карт мощностей пластов и т. д. При этом снимаются в опорных точках по линиям УГП качественные и геометрические данные.

Непосредственный процесс снятия данных осуществляется следующим образом. На каждом плане разделительной поверхности, совмещенном с планом УГП, на линиях УГП намечаются характерные опорные точки в местах пересечения изолиний с УГП, у границы выхода пласта под насосы в местах перехода одних качественных показателей в другие, в местах тектонических нарушений и т. д. Число опорных точек по линии каждого УГП должно быть достаточным для отображе-

ния поверхности в плоскости УГП кусочно-ломаными линиями, максимально приближенными к оригиналу.

В каждой фиксируемой точке снимаются данные о высотной отметке (z_i), сорте полезного ископаемого

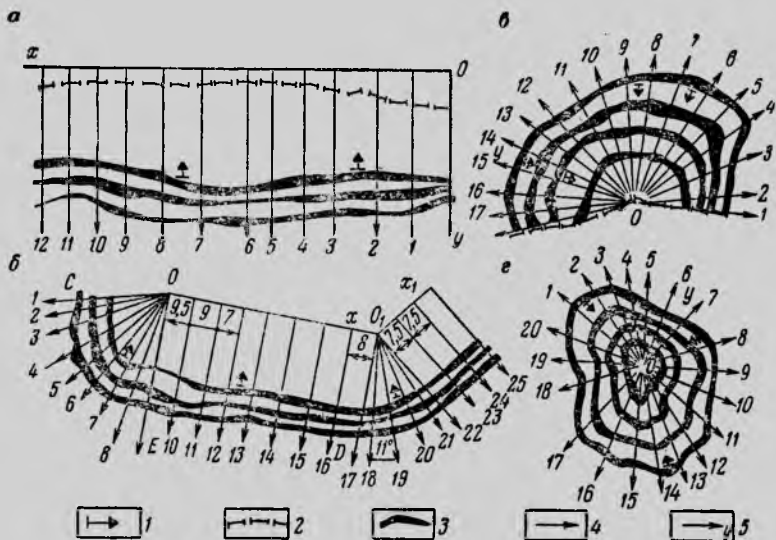


Рис. 6.8. Принципы построения системы координат и плана условных геологических профилей (УГП) для моделирования месторождений с различной формой залегания:

1 — направление падения пласта; 2 — верхняя граница карьера со стороны борта погашения; 3 — граница выхода пласта под насосы; 4 — линии УГП; 5 — ось координат

(S_i), мощности пласта (m_i), мощности породных прослоев (p_i) и удаление фиксируемой точки (y_i) от оси Ox в прямоугольной системе координат или от полюса в полярной системе координат. В случае, если информация снимается и по почве, и по кровле пласта, то нормальная мощность пласта не фиксируется. Если информация снимается только по почве или только по кровле пласта, то фиксируется в опорных точках нормальная мощность пласта. Все данные об опорных точках записываются в специальные таблицы и перфорируются.

Для примера формирования данных о месторождении на рис. 6.9, а представлен фрагмент плана изогипс кровли пласта, а на рис. 6.9, б — почвы этого же пласта. На этих рисунках показаны характерные точки и рас-

стояния удаления их от оси Ox . Из специальных качественных показателей учитываются зольность (A) и содержание серы (S). Качественные показатели и мощность внутренних породных прослоев (p) представлены

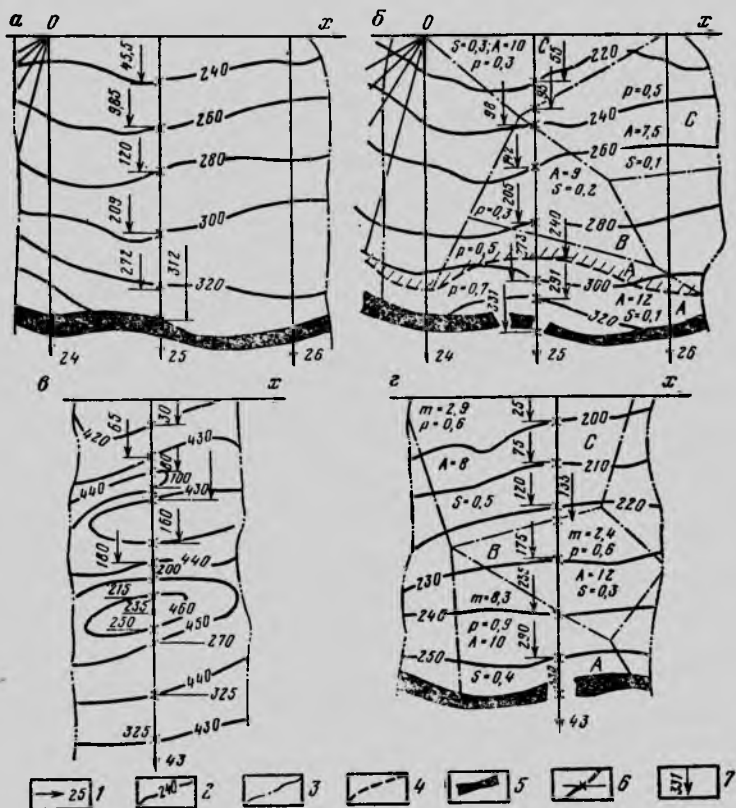


Рис. 6.9. Фрагменты гипсометрических планов к построению плоскостно-координатной модели месторождения:

1 — линия УГП с порядковым номером; 2 — изолинии; 3 — граница геологических блоков; 4 — граница зоны окисления; 5 — граница выхода пласта под насосы; 6 — опорная точка; 7 — удаление опорной точки от начала системы отсчета

на плане изогипс почвы пласта в границах геологических блоков подсчета запасов.

В табл. 6.1 показан пример записи информации о пространственном положении пласта для УГП № 25

Таблица 6.1

Пример записи информации о пространственном положении пласта в плоскости УГП и качественных характеристик

Номер УГП	Координаты точек				Нормальная мощность пласта, м	Мощность по родного про- слоя, м	Качественные показатели				
	кровля		почва				зола, %	сера, %	марка угля	зона окис- ления	категория запасов
	z	y	z	y							
25	240	45,5	220	55	—	0,3	10	0,3	K6	00	C
	260	98,5	230	75	—	0,3	10	0,3	—	—	—
	280	120	240	98	—	0,5	7,5	0,1	—	—	C
	300	209	260	142	—	0,3	9,0	0,2	—	—	B
	272	320	280	205	—	0,3	9,0	0,2	—	—	B
	312	335	290	240	—	0,3	12	0,2	—	—	A
	—	—	300	273	—	0,5	12	0,1	—	01	—
	—	—	320	291	—	0,7	12	0,1	—	—	—
	—	—	338	331	—	0,7	12	0,1	K6	01	A
	43	—	—	200	25	7,9	0,6	8	0,5	K9	00
—		—	210	75	7,9	0,6	8	0,5	—	—	—
—		—	220	120	7,9	0,6	8	0,5	—	—	—
—		—	224	135	7,9	0,6	8	0,5	—	—	B
—		—	230	175	7,4	0,8	12	0,3	—	—	—
—		—	240	235	7,4	0,8	12	0,3	—	—	A
—		—	250	290	8,3	0,9	10	0,4	—	—	—
—		—	255	330	8,3	0,9	10	0,4	K9	00	A

(см. рис. 6.9, а и б). Поскольку для данного примера информация снимается и по кровле и по почве пласта, то мощность пласта не фиксируется и колонка, предназначенная для записи мощности пласта в точках, не заполняется. В ЭВМ мощность пласта в любой точке его определяется по специальным алгоритмам на основе данных о положении кровли и почвы пласта в плоскости УГП.

В практике число фиксируемых точек по одной разделительной поверхности в плоскости одного УГП колеблется от 2 до 50. Меньший предел характерен для спокойных геоморфологических образований.

После снятия информации по всем намеченным линиям УГП таблицы данных собираются в определенной последовательности для каждого УГП и перфорируются. Затем данные вводятся в ЭВМ и автоматически производится контроль по следующим логическим пра-

вилам: линия кровли должна располагаться выше линии почвы пласта (в крайнем случае может быть слияние этих линий) в плоскости одного УГП; линия почвы пласта, расположенного стратиграфически выше в плоскости одного УГП, не может пересекаться (в крайнем случае возможно слияние) с линией кровли ниже расположенного смежного пласта; линия кровли самого верхнего пласта не может пересекаться с линией рельефа дневной поверхности; мощность внутреннего породного прослоя не может превышать мощность пласта и т. д.

При обнаружении логических ошибок ЭВМ сообщает причину ошибки, ее место и печатает данные, вызвавшие ошибочность информации. Параллельно на АЦПУ печатается в графическом виде изображение всех разделительных линий в плоскости УГП, на котором обнаружена ошибка.

Кроме того, при вводе печатается вся информация, не поддающаяся логическому анализу для визуального контроля. Безошибочно воспринятая информация формируется в файле прямого доступа. Каждая запись в этом файле соответствует одному УГП, что упрощает и возможность корректировки данных.

Трудоемкость процесса построения модели по сравнению с моделями первой группы здесь значительно ниже, так как плотность информации в 10—15 раз меньше. Точность расчетов проверена многолетним опытом использования в проектной практике. Отклонения от данных подсчета запасов ГКЗ не превышают $\pm 3-4\%$, что вполне приемлемо для практических целей.

6.6. Математическое моделирование бортов карьера

Открытые горные выработки, подлежащие моделированию борта карьера в погашенном состоянии, временно нерабочие, законсервированные, а рабочие борта карьера, горизонтальные, наклонные и крутые траншеи и полутраншеи простого и сложного сечения, насыпи, дамбы, отвалы и т. п. представляют собой искусственные поверхности, формирующиеся в процессе разработки. Их форма зависит прежде всего от природных и технологических условий эксплуатации месторождения.

При их моделировании необходимо иметь в виду следующие моменты.

1. Система координат при моделировании открытых горных выработок должна совпадать с системой координат модели месторождения.

2. Для многовариантной оценки проектных решений модели искусственных поверхностей должны допускать оперативное изменение своих конструктивных параметров.

3. Модели горных выработок должны удовлетворять широкому диапазону горно-геологических условий разработки.

Боковая поверхность карьера, состоящая из горизонтальных и наклонных площадок (берм и откосов уступов) и имеющая сложную ступенчатую форму, с достаточной точностью может быть представлена совокупностью замкнутых контурных кривых, ограничивающих каждый горизонт карьера или набором продольных и поперечных сечений с указанием конструктивных особенностей погашенного борта.

Таким образом, математическое моделирование карьера, как геометрического объекта, сводится к описанию его контуров на каждом горизонте в координатах x , y , z . При этом одна из координат (z) соответствует номеру горизонта.

Для моделирования бортов карьера используются аналитические и дискретные методы, а в качестве исходной информации используются как погоризонтные планы, так и поперечные сечения по карьеру.

Обычно применяются модели месторождения и карьера. При решении задач в процессе проектирования модель карьера «накладывается» на модель месторождения для вычисления объемов внутри контура карьера. При этом по сравнению с совместным моделированием не только значительно сокращается трудоемкость подготовки информации, но и существенно усиливаются возможности для оперативного использования моделей, изменения параметров карьера, перемещения его контуров и оценки различных технологических параметров.

Пример совместного моделирования контуров карьера и месторождения на поперечном сечении приведен на рис. 6.10, а. При этом микроблоки модели месторождения, непосредственно прилегающие к дневной поверхности и предельным контурам карьера, «метятся» по

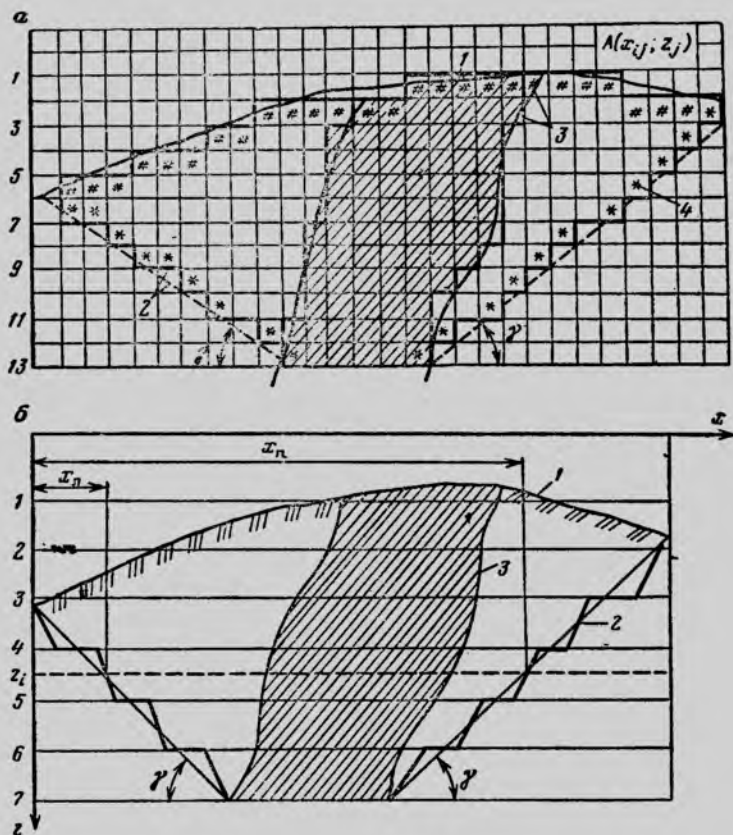


Рис. 6.10. Цифровые модели месторождения и контуров карьера: а — совместная; б — раздельная; 1 — дневная поверхность; 2 — контур карьера; 3 — контур рудного тела; 4 — «меченые» микроблоки

определенным правилам. Как видно из рисунка, математическое описание координат выделенных точек не сложно, но объем работ по подготовке информации, как показывает практика, чрезмерно велик. Именно этим и обусловлено разделение модели месторождения и горных работ.

Раздельная модель контуров карьера на поперечном разрезе представляет собой совокупность координат «правого» x_n и «левого» x_l бортов карьера на каждом из выделенных горизонтов z_i (рис. 6.10, б). Такой подход позволяет, не изменяя

модель месторождения, видоизменять контуры карьера, изменять глубину открытой разработки и т. п. При этом для подсчета объемов в выделенных контурах достаточно изменить координаты x_{li} и x_{pi} на каждом из горизонтов карьера, выделенных на поперечном разрезе.

В приближенных расчетах сложный по конфигурации профиль предельного борта карьера заменяют прямолинейным.

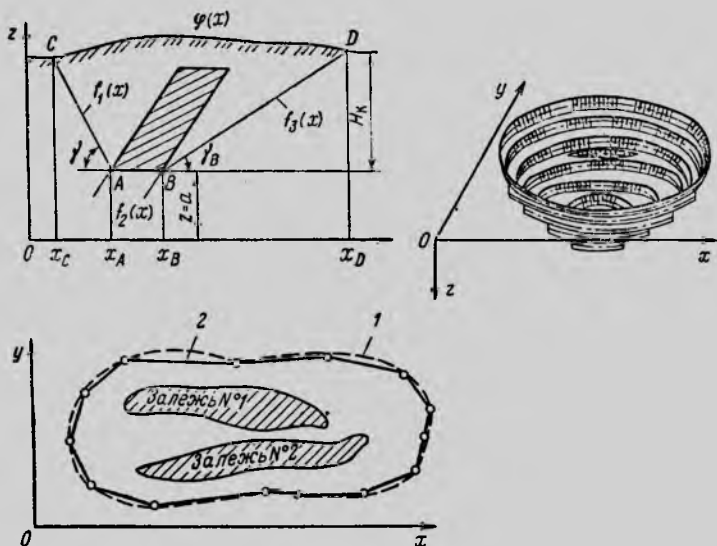


Рис. 6.11. Моделирование контуров карьера:

a — на поперечном разрезе; b — объемное; a — на горизонте; 1 — контур карьера; 2 — аппроксимирующая ломаная

Тогда площадь карьерного поля (рис. 6.11, a) на поперечном разрезе будет ограничена линией дневной поверхности $\varphi(x)$, линиями дна и бортов карьера. Аналитическая модель бортов карьера на поперечном разрезе представляет собой кусочно-линейную функцию вида

$$z = \begin{cases} f_1(x) & \text{при } x_C \leq x \leq x_A, \\ f_2(x) & \text{при } x_A < x < x_B, \\ f_3(x) & \text{при } x_B \leq x \leq x_D, \end{cases} \quad (6.20)$$

где

$$z_1 = f_1(x) = b + cx, \quad z = f_2(x) = a, \quad z = f_3(x) = d + gx.$$

Коэффициенты в функциях $f_1(x)$ и $f_3(x)$ зависят от угла откоса борта карьера при погашении. Путем трансформации аналитической модели можно исследовать большое число вариантов контуров карьера на поперечном разрезе.

При моделировании на погоризонтных планах горных работ чаще применяются аналитические модели контуров карьера. В качестве замкнутого контура горизонта принимается средняя линия граничного откоса уступа. На рис. 6.11, б штрихпунктирной линией изображен замкнутый контур верхнего горизонта карьера.

Математическое моделирование карьера как геометрического тела сводится к аналитическому описанию контуров каждого горизонта в координатах x, y , а координата z задается номером погоризонтного плана. Криволинейный контур карьера на каждом горизонте аппроксимируется прямолинейными отрезками ломаной (рис. 6.11, в). Уравнение отрезка ломаной имеет вид

$$\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y - y_i}{y_{i+1} - y_i}, \quad (6.21)$$

где x_i, y_i — координаты вершин ломаной, аппроксимирующей контур карьера на горизонте.

Общей моделью контура карьера будет являться совокупность уравнений замкнутых ломаных, аппроксимирующих контур карьера на всех горизонтах.

6.7. Математическое моделирование рабочей зоны карьера

Рабочая зона карьера ограничивается конечными или временно нерабочими бортами карьера. По мере отработки месторождения она перемещается в пространстве в соответствии с направлением развития горных работ, которое характеризуется положением разрезной траншеи на каждом горизонте. Направление развития горных работ для принятой системы разработки обычно задается в виде ряда вариантов, подлежащих оценке и сравнению.

По своей форме рабочая зона карьера является совокупностью горизонтальных и наклонных площадок. Поэтому в математической модели она может быть с достаточной степенью точности представлена аналогично

промежуточным и конечным бортам карьера линией фронта работ на каждом горизонте, т. е. средней линией или нижней линией откосов уступов (рис. 6.12, а). Перемещение рабочей зоны может быть принято дискретным с шагом по вертикали, равным высоте уступа, и по го-

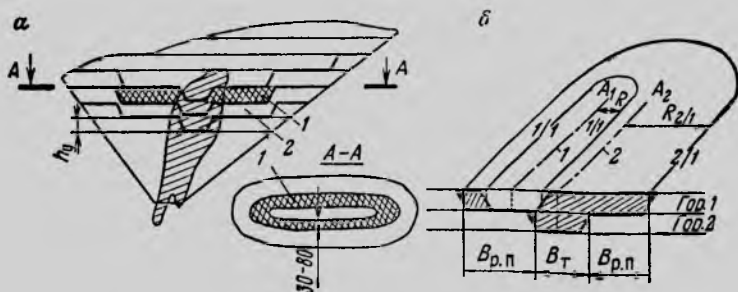


Рис. 6.12. Математические модели:

а — рабочая зона карьера: 1 — выемочный блок; 2 — этапы горных работ; б — развитие горных работ на горизонте; 1, 2 — оси разрезных траншей и второго горизонтов

ризонтали — с шагом, равным заданной ширине рабочей площадки или выемочного блока. Таким образом, при каждом шаге перемещения фиксируется этап (наклонный слой ломаной формы, объем которого складывается из выемочных блоков, выделяемых линиями фронта работ на каждом горизонте).

Под моделированием рабочей зоны карьера понимается математическое описание контуров участков, на которые разбивается каждый горизонт карьера этапами горных работ, т. е. контуров выемочных блоков. Сначала описываются выемочные блоки на первом горизонте, затем — на втором и т. д.

При математическом описании рабочей зоны карьера как геометрической поверхности используются модели подобия и модели трафаретов.

Модели подобия наиболее просты и компактны. Математическое описание рабочей зоны карьера основано на подобии конфигураций контуров горных работ, ограничивающих на горизонтах разрезную траншею и их участки в пределах одного этапа.

Чтобы определить принадлежность контура к горизонту и этапу горных работ, введем условное обозначение k/j , где k — номер этапа горных работ (горизонт подготовки); j — номер горизонта, на котором находится

данный контур (горизонт выемки). Например, 1/1 — контур разрезной траншеи первого этапа на первом горизонте, 2/1 — контур участка второго этапа на первом горизонте (рис. 6.12, б).

Все точки контура разрезной траншеи на первом горизонте (первый этап работ) удалены от оси разрезной траншеи на расстояние

$$R_{1/1} = B_{\tau}/2, \quad (6.22)$$

где B_{τ} — ширина разрезной траншеи, мм.

Точки контура второго этапа горных работ, спроектированные на первый горизонт, удалены от оси разрезной траншеи второго горизонта на расстояние

$$R_{2/1} = B_{p.n} + B_{\tau}/2, \quad (6.23)$$

где $B_{p.n}$ — ширина рабочей площадки с учетом горизонтальной проекции откоса уступа, мм.

Для j -го горизонта k -го этапа горных работ это расстояние определяется по формуле

$$R_{k/j} = B_{p.n} (k - j) + B_{\tau}/2. \quad (6.24)$$

Для моделирования рабочей зоны карьера на поперечном разрезе достаточно задать в масштабе чертежа координаты центров разрезной траншеи на каждом горизонте (т. е. направление понижения горных работ) ширину рабочей площадки и разрезной траншеи. Тогда координаты контуров участков $x_{k/j}$, ограничивающих этап горных работ на разрезе, определяются по выражению

$$x_{k/j} = x_k \pm \left[\frac{B_{\tau}}{2} + B_{p.n} (k - j) \right], \quad (6.25)$$

где x_k — координаты центра разрезной траншеи на горизонте подготовки k , мм.

Например, разрезная траншея $B_{\tau} = 16$ мм расположена на пятом сверху горизонте (рис. 6.13, а), тогда $k = 5$, $x_k = 200$ мм. Предельные координаты контуров пятого этапа горных работ на втором сверху горизонте ($j = 2$) с учетом, что $B_{p.n} = 25$ мм, численно будут иметь следующие значения:

$$x_{5/2}^* = 200 + \left[\frac{16}{2} + 25 (5 - 2) \right] = 283 \text{ мм};$$

$$x_{5/2}^* = 200 - \left[\frac{16}{2} + 25 (5 - 2) \right] = 117 \text{ мм}.$$

Как видно из рис. 6.13, a , ширина выемочного блока на горизонте может быть переменной. Она зависит прежде всего от принятого направления понижения горных

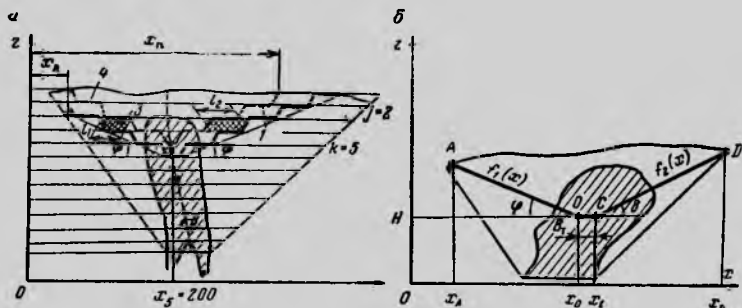


Рис. 6.13. Моделирование рабочей зоны:

a — на горизонтах: 1 — границы 5-го этапа; 2 — координаты понижения горных работ; 3 — выемочный блок; 4 — границы 4-го этапа; b — на поперечном разрезе

работ. Ширина участков выемочного блока $l_1 = l_2$ при вертикальном понижении рабочей зоны во всех других случаях $l_1 > l_2$ или $l_1 < l_2$.

Как и контуры карьера, рабочая зона может быть охарактеризована углом ее откоса φ . В простейшем случае угол откоса рабочей зоны рассчитывается по выражению

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{h_y}{B_{p.n} + h_y \operatorname{ctg} \alpha}, \quad (6.26)$$

где h_y — высота уступа, м; α — угол откоса рабочего уступа, градус.

Тогда в направлении, совпадающем с направлением углубки, ширина выемочного блока l_2 будет определяться по соотношению

$$l_2 = h_y (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \beta), \quad (6.27)$$

в противоположном направлении

$$l_1 = h_y (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \beta), \quad (6.28)$$

где β — направление понижения горных работ с горизонта на горизонт ($\beta \leq 90^\circ$).

Основываясь на вышеизложенных рассуждениях, можно описать откосы рабочей зоны карьера в виде

наклонных прямых с помощью формул аналитической геометрии (рис. 6.13, б).

Обозначим через $\operatorname{tg}(\pi - \varphi)$, $\operatorname{tg} \delta$ угловые коэффициенты рабочих бортов карьера по висячему и лежащему бокам залежи соответственно; H — расстояние от дна до нижнего вскрытого горизонта; x_0 — координата x точки пересечения рабочего борта карьера по висячему боку с линией нижнего вскрытого горизонта.

Заданием x_0 и H однозначно определяется положение рабочих бортов карьера при заданных углах их откоса и заданной ширине дна разрезной траншеи.

Уравнениями рабочих бортов по висячему и лежащему бокам залежи будут:

$$z = f_1(x) = -x \operatorname{tg} \varphi + x_0 \operatorname{tg} \varphi + H, \quad (6.29)$$

$$z = f_2(x) = x \operatorname{tg} \delta - (x_0 + B_T) \operatorname{tg} \delta + H, \quad (6.30)$$

$$z = \begin{cases} f_1(x), & \text{при } x_A \leq x < x_0, \\ f_2(x), & \text{при } x_0 < x \leq x_D, \\ H, & \text{при } x_0 \leq x \leq x_C, \end{cases}$$

$z = H$ — уравнение дна разрезной траншеи на нижнем вскрытом горизонте.

При объемном моделировании рабочей зоны карьера используются погоризонтные планы горных работ, а в расчет вовлекаются математические модели горизонтов месторождения.

В основу объемной модели рабочей зоны заложены те же принципы ее формирования, что и при решении плоской задачи на поперечных разрезах. По соотношению (6.24) каждый горизонт карьера разделяется на выемочные блоки. Контуры выемочных блоков, подобные по конфигурации разрезной траншее, разделяются на взаимно пересекающиеся фигуры: круги с центрами в вершинах ломаной оси разрезной траншеи и четырехугольники с вершинами в точках касания касательных между соседними окружностями (рис. 6.14). Контуры кругов описываются уравнением окружности

$$R_{kH}^2 - (x - x_{Ai})^2 - (y - y_{Ai})^2 = 0, \quad (6.31)$$

где x_{Ai} и y_{Ai} — координаты ломаной оси разрезной траншеи.

Координаты вершин четырехугольников (точки касания прямых с окружностями) определяются следующим

образом. Для определения координат четырехугольника 1—2—3—4 вычисляется угловой коэффициент прямой 1—2 по формуле

$$\rho = \frac{x_{A_2} - x_{A_1}}{y_{A_2} - y_{A_1}}. \quad (6.32)$$

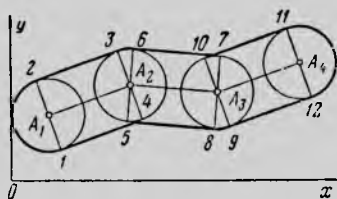


Рис. 6.14. Схема к аналитическому моделированию контура выемочного блока

Вычисляются координаты точек пересечения прямой 1—2 с первой окружностью с центром в точке A_1 по формулам:

$$\begin{cases} y - y_{A_1} = \rho(x - x_{A_1}), & (6.33) \\ R_{k/j}^2 - (x - x_{A_1})^2 - (y - y_{A_1})^2 = 0. & (6.34) \end{cases}$$

Определяются координаты точек пересечения прямой 3—4 со второй окружностью с центром в точке A_2 (угловой коэффициент прямой 4—3 равен угловому коэффициенту прямой 1—2) по формулам:

$$\begin{cases} y - y_{A_2} = \rho(x - x_{A_2}), \\ R_{k/j}^2 - (x - x_{A_2})^2 - (y - y_{A_2})^2 = 0. \end{cases}$$

Аналогично определяются координаты вершин всех четырехугольников, а их стороны описываются уравнениями отрезков. Таким образом, контур выемочного блока моделируется совокупностью дуг окружностей с центрами в вершинах ломаной оси разрезной траншеи и уравнениями касательных к ним.

При подготовке новых горизонтов котлованами рабочая зона имеет вид конуса, а выемочные блоки имеют вид кругов или колец (рис. 6.15, а). Линия фронта работ (контуры выемочных блоков $R_{k/j}$) в этом случае описывается с помощью канонического уравнения окружности

$$R_{k/j}^2 - (x - x_k)^2 - (y - y_k)^2 = 0$$

при

$$R_{k/j} = \frac{B_k}{2} + B_{p.n}(k - j), \quad (6.35)$$

где B_k — ширина пионерного котлована, мм; x_k , y_k — координаты центра котлована при подготовке горизонта k .

Рассмотренные модели рабочей зоны используются для ориентировочных расчетов для исследования главных параметров карьеров. При уточнении параметров рабочей зоны и исследовании вариантов отработки участков карьерного поля используются *модифицированные модели подобия*, основанные на задании контура раз-

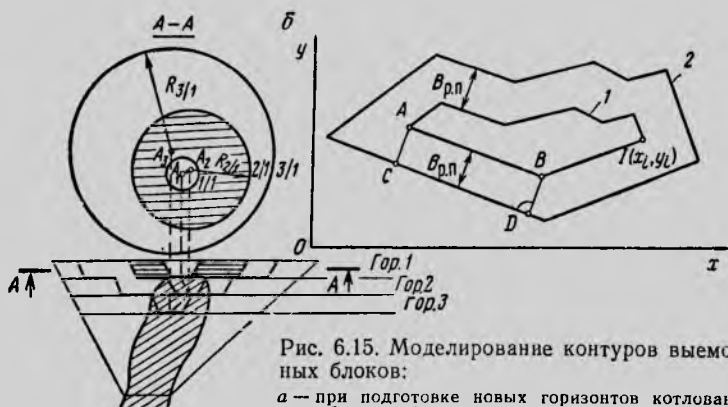


Рис. 6.15. Моделирование контуров выемочных блоков:

а — при подготовке новых горизонтов котлована; *б* — подобием контуру вскрывающей выработки; 1 — исходный контур; 2 — искомый контур

резной траншеи или котлована в виде неправильных многоугольников или функциональных зависимостей. Тогда контуры выемочных блоков на горизонте при понижении горных работ будут описываться рядом многоугольников или функциональных зависимостей, удаленных друг от друга на расстояние $B_{p,n}$, подобных по конфигурации вскрывающей выработке. В простейшем случае (рис. 6.15, б) для нахождения уравнения отрезка прямой (CD), сдвинутого относительно опорной линии (AB) на некоторую величину ($B_{p,n}$), необходимо определить координаты точек C и D . Их значения определяются по формулам:

$$x_{C(D)} = x_{A(B)} + \frac{(y_A - y_B) B_{p,n} \kappa}{\sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}}; \quad (6.36)$$

$$y_{C(D)} = y_{A(B)} + \frac{(x_B - x_A) B_{p,n} \kappa}{\sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}}, \quad (6.37)$$

где x_A, x_B, y_A, y_B — координаты контура траншеи, котлована; κ — номер этапа, которому принадлежит рассматриваемый контур ($\kappa = 1, 2, 3, \dots$).

Совокупность отрезков, удаленных от начального контура на расстояние $B_{р.п.}$, описывает контур промежуточного положения горных работ на горизонте. Координаты линии фронта работ, описываемого непрерывными функциями, могут сдвигаться относительно его начального положения аналогичным образом или с помощью специально разработанных алгоритмов.

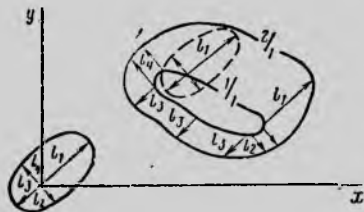


Рис. 6.16. Схема к определению контура выемочного блока при неравномерном подвигании рабочей зоны

В случае, когда величина подвигания фронта работ l неодинакова по многим направлениям, задаются некоторые параметры изменения ширины выемочных блоков. По предложению В. В. Квитки и Е. Л. Левина, неравномерное подвигание фронта работ может быть задано с помощью эллипса, смещенный центр которого перемещается по границе выемочного блока или подготовительной выработки (рис. 6.16). Таким образом, горизонт разбивается на ряд зон, характеризующихся неодинаковой скоростью подвигания горных работ по периметру карьера.

Модели трафаретов основаны на аналитических зависимостях, аналогичных описанным выше.

Элементарным трафаретом рабочей зоны (объемным или плоским) назовем поверхность (или ее сечение вдоль оси вращения) усеченного конуса с размерами нижнего основания, равными ширине подготовительной выработки и углом наклона образующей, равным углу откоса рабочей зоны карьера (рис. 6.17, а, б). Высота такого трафарета является переменной и зависит от глубины ведения горных работ. Если образующая элементарного трафарета (откос рабочей зоны) пересекает линию конечных контуров карьера или линию днсовой поверхности, которые выступают в виде ограничивающих, то линии рабочих уступов или ее участки заменяются линиями конечных контуров (на рис. 6.17, а, б выделены жирной линией). С помощью моделей, представляющих собой объединение элементарных трафаретов рабочей зоны,

возможно моделирование разработки сложных залежей, при этом профиль и конфигурация рабочей зоны карьера могут иметь произвольную форму. Пересечение плоских трафаретов рабочей зоны, описанное с помощью аналитических зависимостей, позволяет исследовать параметры рабочей зоны по глубине карьера (рис. 6.17, в).

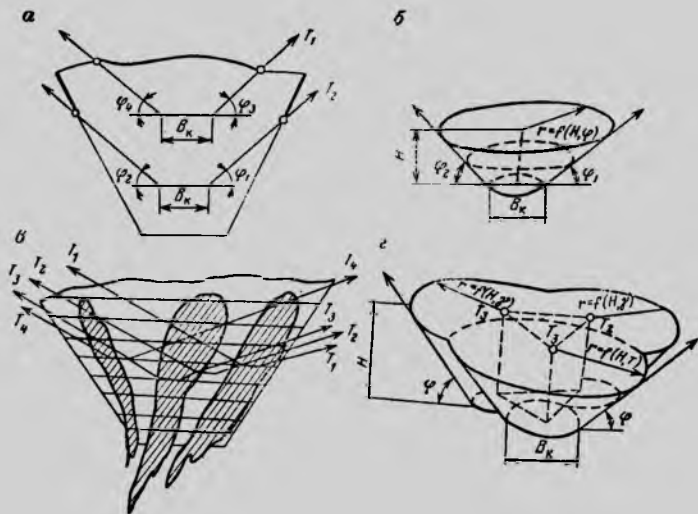


Рис. 6.17. Элементарные трафареты рабочей зоны:

а — плоский; б — объемный; в, г — примеры использования трафаретов T_1 , T_2 , T_3 и T_4 .

При моделировании поверхности рабочей зоны сложной конфигурации используются ее объемные трафареты, пересечение которых позволяет оценить развитие горных работ в плане (рис. 6.17, г).

6.8. Композиционные модели рабочей зоны карьера

Модели рабочей зоны, рассмотренные в предыдущем параграфе, предусматривают равномерное подвигание фронта горных работ, что, однако, расходится с реальными условиями текущего планирования работы карьеров. В течение каких-то малых сроков работы карьера фронт горных работ на некоторых участках может оставаться на месте, на других — интенсивно перемещаться в плане. Линия фронта работ получается сложной по конфи-

гурации и не может быть описана с помощью подобия и трафаретов рабочей зоны.

Наилучшими являются композиционные модели, которые предусматривают деление карьерного поля на ряд участков, что позволяет с большей точностью описывать фронт работ сложной конфигурации. Композиционные модели удобны при анализе подвигания горных

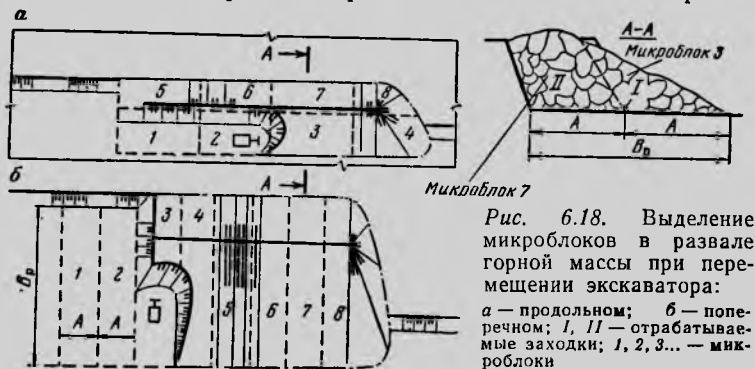


Рис. 6.18. Выделение микроблоков в развале горной массы при перемещении экскаватора:

а — продольном; б — поперечном; 1, II — отработываемые заходки; 1, 2, 3... — микроблоки

работ в различных направлениях (как по глубине, так и в плане), позволяют комплексно учитывать технологические и горно-геологические особенности разработки каждого конкретного месторождения.

При оперативном управлении добычными работами исходная модель включает: номера добычных горизонтов, номера экскаваторов, порядок отработки развала (продольные или поперечные заходки), номера и объемы микроблоков, которые условно выделены в развале горной массы, их качественные характеристики. На рис. 6.18 показаны границы выделенных микроблоков. Объемы микроблоков задаются или же могут быть получены расчетным путем на основании текущих маркшейдерских замеров по профилям. При этом поперечные размеры микроблока определяются конфигурацией развала и рабочими параметрами добычного экскаватора.

Длина микроблока устанавливается равной расстоянию между профилями или по другим соображениям. Например, при формировании таких моделей на Качканарском ГОКе длина микроблока принималась равной длине звена железнодорожного тупика. В этом случае объем микроблока составляет 1500—5000 м³. При попе-

речной отработке параметры микроблока определяются шириной развала B_p и шириной экскаваторной заходки A . Качественная характеристика микроблоков чаще всего задается цифровым способом для каждого из них в отдельности по данным шламоотбора из взрывных скважин или экспресс-методов опробования.

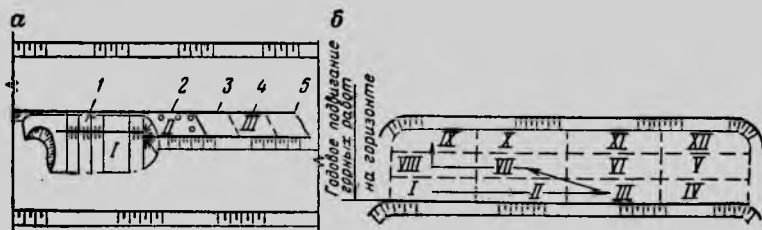


Рис. 6.19. Схема к выделению микроблоков:

а — при месячном планировании; б — при оптимизации квартальных планов; I, II, III — миниблоки; 1, 2, 3 ... — микроблоки

Номера экскаваторов и отметки горизонтов характеризуют пространственное положение забоев на плане горных работ, а номера микроблоков определяют возможное положение экскаватора при отработке развала. Объемы микроблоков и их качественный состав позволяют количественно оценить варианты распределения нагрузки на забой в течение ближайшей смены, суток, недели (декады). При моделировании разработки проигрываются технологически возможные варианты направления отработки развала.

При месячном планировании добычных и буровзрывных работ выделяются участки (миниблоки), в которых в течение месяца будут производиться экскаваторные, буровые и взрывные работы. Моделирование отработки месячных объемов осуществляется последовательной сменой состояния выделенных миниблоков: в целике — обуренный — взорванный (подготовленный к выемке) — экскавируемый. На рис. 6.19, а показана примерная схема выделения миниблоков на одном из рабочих горизонтов. Выделенные миниблоки I, II, III характеризуют сложившуюся на начало планирования горных работ ситуацию. Однако объем их может быть самым различным. Миниблок III, носящий первоначально признак «горная масса в целике», впоследствии разделяется на микроблоки (3, 4, 5).

При этом микроблок 3 изменяет в течение месяца свое состояние четыре раза (целик — обуренная — в развале — экскавируемая). Микроблок 4 представляет собой в конечном итоге остаток взорванной горной массы на конец планируемого месяца, а микроблок 5 — резерв обуренной горной массы. Задачей совместной оптимизации величины выделенных на всех горизонтах карьера миниблоков является установление наилучшего графика смены состояния выделенных в них микроблоков. Объемы микроблоков и время их отработки на горизонтах карьера могут быть различными. Качественные признаки выделенных миниблоков могут быть заданы как в цифровом, так и в аналитическом виде.

Для определения возможного объема миниблока III (V_{III}), являющегося суммой объемов микроблоков 3, 4, 5 ($V_3; V_4; V_5$), следует исходить из следующих соотношений:

$$B_t = V_t - B_{t-1} + B_{t+1}; \quad (6.38)$$

$$B_t = B_t - B_{t-1} + B_{t+1}, \quad (6.39)$$

где V_t , B_t , B_t — объем экскавации, взрывных и буровых работ на планируемый месяц, тыс. м³; B_{t-1} , B_{t-1} — переходный с предыдущего месяца объем обуренной и взорванной горной массы, тыс. м³; B_{t+1} , B_{t+1} — резерв обуренной и взорванной массы на следующий месяц.

По рекомендациям В. В. Ржевского объем взрывных работ следует принимать по следующей формуле:

$$B_t = (0,4 \div 0,6) V_{t+1}, \quad (6.40)$$

где V_{t+1} — объем погрузочно-транспортных работ на последующий месяц.

Таким образом, объем V_{III} прежде всего определяется объемом буровых работ B_t , который, в свою очередь, зависит от интенсивности отработки горизонта. Объемы микроблоков V_3 , V_4 определяются последовательным вычитанием из объема V_{III} , исходя из имеющихся резервов обуренной и взорванной горной массы.

На основе расчета оптимальных объемов миниблоков и сроков смен состояния микроблоков, их составляющих, строятся технологические графики отработки экскаваторных блоков.

При квартальном планировании горных работ используются композиционные модели, основанные на выделении в пределах годовых контуров карьера рудных миниблоков постоянной величины. Их

объем приблизительно равен месячному объему добычи одного экскаватора (см. рис. 6.19, б). Отбор конкурирующих вариантов осуществляется с помощью метода динамического программирования, в частности метода «ветвей и границ», путем формирования графа многовариантности, характеризующего последовательность отработки выделенных рудных блоков. При формировании графа учитывается технологическая возможность выемки. Например, миниблок IX может быть вовлечен в разработку только после извлечения миниблоков I, II, III, VII, VIII (см. рис. 6.19, б). Объем миниблока, по методике Криворожского горнорудного института, может быть принят равным объему подсчетного геологического блока, выделенного на рабочем горизонте. В этом случае с помощью стандартного программного обеспечения (симплекс-метод) оптимизируются объемы руды, вынимаемые из миниблока, в увязке с технологией их обработки и вынимаемыми при этом объемами вскрыши. Недостатком такой методики является невозможность получения координат квартальных границ горных работ. На печать выдаются только оптимизированные объемы руды и вскрыши по горизонтам карьера. Однако, как показала практика использования такого подхода, двух-, трехразовый пересчет на ЭВМ с последующим графическим построением планов горных работ позволяет с достаточной точностью определить их границы.

Одна из наиболее удачных методик годового планирования горных работ разработана И. Б. Табакманом. Рабочая зона разбивается на ряд секторов, как это показано на рис. 6.20, а, и в каждом из них исследуется подвигание фронта работ на всех уступах.

Возможно моделировать не только кольцевые, но и системы разработки с продольным и поперечным перемещением фронта работ, которые имеют сложную конфигурацию (рис. 6.20, б, в). Взаимоувязка движения горных работ на рабочих горизонтах производится по технологическим условиям разработки и применяемого вида транспорта. Опережение уступов в смежных участках (Δh) не должно превосходить допустимой величины по условиям применяемой техники и технологии.

Наиболее просто положение всех участков задается с помощью ориентированных отрезков — следов взаимо-

пересечения разграничительных плоскостей и поверхности самого верхнего горизонта.

Таким образом, математическая модель участков рабочей зоны карьера представляет собой совокупность уравнений ориентированных отрезков, которые совместно с математической моделью месторождения и мо-

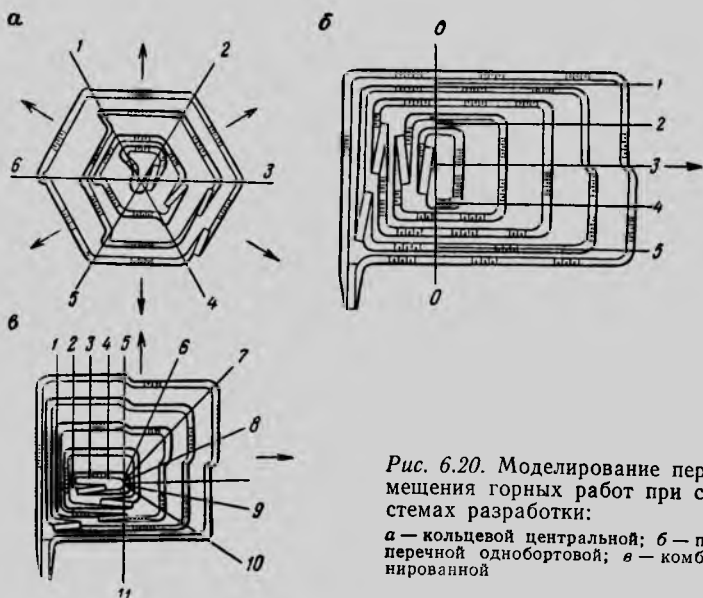


Рис. 6.20. Моделирование перемещения горных работ при системах разработки:

а — кольцевой центральной; *б* — поперечной однобортowej; *в* — комбинированной

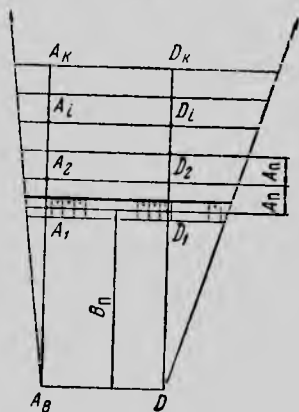


Рис. 6.21. Моделирование продвижения фронта горных работ на горизонте

делью контуров карьера являются базой для имитации неравномерного подвигания горных работ по разным направлениям на каждом горизонте.

Характеристики перемещения рабочей зоны получают с помощью анализа участков горизонтов карьера. Для этого дискретное перемещение фронта горных работ описывается уравнениями прямых (в торцевых участках — дугами и окружностями). Шаг перемещения фронта работ A_n принимается равным ширине буровой заходки (рис. 6.21). Одновременно подсчитываются нарастающим итогом объемы руды по сортам, вскрышных пород и полезных компонентов.

Расчет координат текущей линии фронта работ при перемещении его на величину A_n производится по выражениям:

$$x_{A_i(D_i)} = x_{A(D)} + \frac{(y_A - y_D)(B_n + A_n \kappa)}{\sqrt{(y_D - y_A)^2 + (x_D - x_A)^2}}, \quad (6.41)$$

$$y_{A_i(D_i)} = y_{A(D)} + \frac{(x_D - x_A)(B_n + A_n \kappa)}{\sqrt{(y_D - y_A)^2 + (x_D - x_A)^2}}, \quad (6.42)$$

где x_A ; y_A ; x_D ; y_D — координаты точек A , D ; B_n — удаление фронта горных работ по оси вскрывающей выработки (границы участка), мм; κ — номер заходки ($\kappa = 0, 1, 2, 3, \dots$).

Рассмотренный порядок определения объемов горных работ удобен для моделирования движения рабочей зоны по глубине карьера путем суммирования соответствующих объемов на горизонтах.

7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

7.1. Основы горно-геометрического анализа карьеров

Рабочая зона карьера, в которой производится выемка пустых пород и полезного ископаемого, формируется и перемещается в пространстве (рис. 7.1) в соответствии с принятыми способами вскрытия, системой разработки и направлением развития горных работ. Конструкция и размеры рабочей зоны, направление и скорость ее перемещения определяют во многом интенсивность и эффективность разработки месторождения, так как от динамики рабочей зоны зависит распределение по годам эксплуатации карьера объемов добычи и вскрыши и, следовательно, распределение затрат и прибылей и их дисконтированные суммы.

Поэтому в процессе проектирования карьеров при решении многих технологических задач и обоснования оптимальных параметров горных работ необходимо определение оптимального варианта формирования рабочей зоны и наилучшего распределения во времени объемов добычных и вскрышных работ в контуре карьера и его этапа. Для этого выполняется горно-геометрический анализ карьерного поля, т. е. устанавливается зависимость поэтапных объемов вскрыши V и полезного ископаемого P от глубины карьера H , $V=f(H)$. Его результаты служат основой для составления календарных планов, т. е. зависимости годовых объемов вскрыши V_t и полезного ископаемого P_t от времени их выемки P_t , $V_t=f(T)$, а они, в свою очередь, используются для подсчета затрат и, следовательно, для экономического сравнения и оптимизации технических решений.

Например, различные технологические схемы (циклическая, циклично-поточная, с автомобильными или ж.-д. транспортом) существенно влияют на конструкцию и динамику рабочей зоны (в том числе на ширину рабочих площадок, число рабочих уступов) и поэтому различаются не только величиной годовых затрат, но и распределением общих затрат по годам. Поэтому для их экономической оценки и сравнения необходимо для каж-

дой оцениваемой схемы сделать горно-геометрический анализ и на его основе получить календарный план. Затем, имея календарное распределение объемов работ, подсчитать для каждой схемы ежегодные затраты и прибыли, которые послужат основой для выбора оптимального варианта.

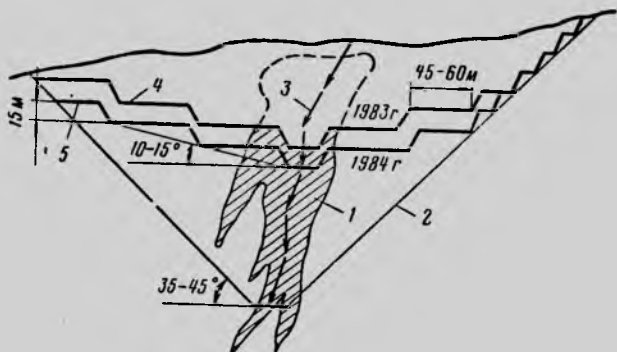


Рис. 7.1. Поперечное сечение по карьере:

1 — рудная залежь; 2 — контур карьера; 3 — направление развития горных работ; 4, 5 — последовательные этапы развития рабочей зоны карьера

Таким образом, горно-геометрический анализ — это метод определения поэтапных объемов вскрыши и полезного ископаемого, извлекаемых при ведении горных работ с заданными параметрами, в зависимости от места их нахождения в контуре карьера, главным образом от глубины карьера в контуре карьера, главным образом от глубины карьера (для крутых и наклонных залежей) или от границы карьера в плане (для горизонтальных и пологих залежей).

Результаты горно-геометрического анализа могут быть представлены в виде графиков $\Sigma V_1 P = f(H)$ или $\Sigma V = f(\Sigma P)$ (рис. 7.2) и другого вида, а также в виде таблиц различной формы (например, табл. 7.1).

В табл. 7.1 в горизонтальных строках показаны объемы, которые составляют в сумме объем наклонного слоя. Например, горизонтальная строка гор.— 60 м характеризует наклонный слой, выделенный на рис. 7.1 жирной линией. Объем вскрыши в этом наклонном слое равен 1590 тыс. м³. Он является суммой объемов 500, 390, 535, 165 тыс. м³, вынимаемых на лежащих выше горизонтах.

Таблица 7.1

Горизонты подготовки, м	Вынимаемый объем (тыс. м³) по горизонтам, м					Объем в на- клонном слое, тыс. м³	Нарастающий объем в на- клонных слоях, тыс. м³
	—15	—30	—45	—60	—75		
—15	<u>210</u> —	—	—	—	—	<u>210</u> —	<u>210</u> —
—30	<u>450</u> <u>200</u>	<u>180</u> <u>15</u>	—	—	—	<u>630</u> <u>215</u>	<u>840</u> <u>215</u>
—45	<u>590</u> <u>290</u>	<u>600</u> <u>205</u>	<u>140</u> <u>145</u>	—	—	<u>1330</u> <u>540</u>	<u>2170</u> <u>755</u>
—60	<u>500</u> <u>325</u>	<u>390</u> <u>470</u>	<u>535</u> <u>405</u>	<u>165</u> <u>20</u>	—	<u>1590</u> <u>1220</u>	<u>3760</u> <u>1975</u>
—75	<u>280</u> <u>265</u>	<u>390</u> <u>330</u>	<u>485</u> <u>370</u>	<u>435</u> <u>375</u>	<u>180</u> —	<u>1770</u> <u>1340</u>	<u>5530</u> <u>3315</u>
—75 (ниже гори- зонта)	—	<u>320</u> <u>100</u>	<u>620</u> <u>200</u>	<u>1112</u> <u>555</u>	<u>1420</u> <u>870</u>	<u>3472</u> <u>1725</u>	<u>9002</u> <u>5040</u>
Объем в горизон- тальном слое	<u>2030</u> <u>1080</u>	<u>1880</u> <u>1120</u>	<u>1780</u> <u>1020</u>	<u>1712</u> <u>850</u>	<u>1600</u> <u>870</u>	—	—
Нарастающий объем в горизон- тальных слоях	<u>2030</u> <u>1080</u>	<u>3910</u> <u>2200</u>	<u>5690</u> <u>3220</u>	<u>7402</u> <u>4170</u>	<u>9002</u> <u>5040</u>	—	—

Примечание. В числителе—данные для вскрышных пород, в знаменателе — для руды.

В вертикальных графах показаны объемы горизонтальных слоев и их составляющие. По данным табл. 7.1 могут быть построены графики режима горных работ и вычислены значения слоевого, среднего и текущего коэффициентов вскрыши в зависимости от глубины карьера. Из рис. 7.2 видно, что для добычи 4 млн. м³ руды необходимо при первом варианте развития горных работ удалить 48 млн. м³ вскрыши ($A_1B_1C_1D_1$) и углубить карьер до отметки 130 м ($A_1B_1E_1$), а при втором варианте — лишь 18 млн. м³ вскрыши ($A_1B_2C_2D_2$) и углубить карьер до отметки 90 м ($A_1B_2E_2$). Из рис. 7.2 также следует, что при различных углах наклона рабочего борта карьера необходимо удалить из карьера различные объемы вскрыши для добычи одного и того же объема руды. В практике проектирования получи-

ли распространение различные ручные методы горно-геометрического анализа (В. В. Ржевского, А. И. Арсентьева и др.), выполняемого на поперечных сечениях или погоризонтных планах. Для учебных и приближенных расчетов используется менее трудоемкий и обеспечивающий допустимую для сравнения вариантов погрешность расчетов линейный метод (В. С. Хохрякова) горно-геометрического анализа на поперечном сечении.

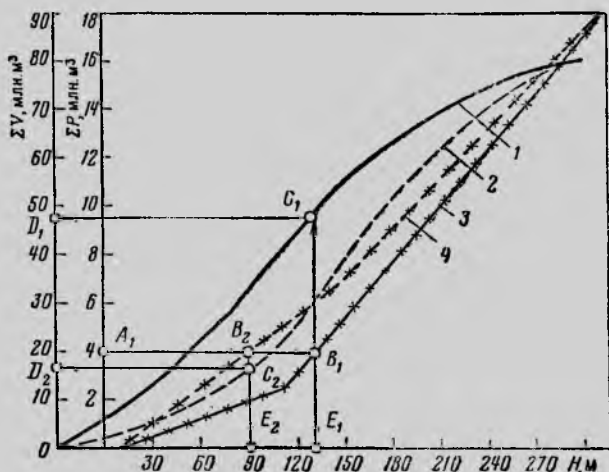


Рис. 7.2. График зависимости нарастающих объемов вскрыши ΣV и полезного ископаемого ΣP от глубины карьера H при двух вариантах развития рабочей зоны в карьере:

1 — ΣV_1 при $\varphi = 0^\circ$; 2 — ΣV_2 при $\varphi = 25^\circ$; 3 — ΣP_1 ; 4 — ΣP_2 .

Однако большая трудоемкость графических построений, измерений и вычислительных операций при ручных традиционных методах горно-геометрического анализа не позволяет оценивать достаточное число вариантов и ограничивает его применение в проектной практике.

Применение ЭВМ позволяет не только значительно (в десятки раз) сократить длительность вычислений и увеличить число оцениваемых вариантов и учитываемых горизонтов, но и оперативно вносить необходимые коррективы и производить дополнительные перерасчеты.

Горно-геометрический анализ с применением ЭВМ основан на использовании математических моделей месторождений, карьера и динамики рабочей зоны. Мате-

математическая модель месторождения отражает геометрию структурных составляющих месторождения (залежей, сортов руд, видов пород) и распределение качественных признаков. Модель карьера представляет борта карьера по конечным или промежуточным контурам. Модель рабочей зоны представляет рабочие борта карьера и их динамику, т. е. формирование и перемещение рабочей зоны внутри контура карьера.

Все модели ориентированы в трехмерном пространстве с единой координатной системой Ox , Oy , Oz , что является необходимым условием их совместного использования. Математические модели служат базой для составления комплекса программ, посредством которых проводится на ЭВМ горно-геометрический анализ.

Различные системы программ отличаются конструкциями моделей месторождений, карьера и рабочей зоны, алгоритмами, требованиями к исходной информации и формой результатов расчета, технико-экономическими показателями и условиями применения.

Простейшие программы используются лишь для массовых расчетов объемов горных работ, динамика которых предварительно нанесена на погоризонтные планы или поперечные разрезы и закодирована соответствующим образом для преобразования графической информации в числовую. В ЭВМ вводится вначале заранее подготовленная информация о месторождении и контурах карьера, а затем информация о динамике горных работ исследуемого варианта. В результате расчетов на печать выдается таблица распределения объемов руды и вскрыши по горизонтам и этапам (см., например, табл. 7.1). Программы такого вида требуют чрезмерных затрат на подготовку информации.

В более совершенных программах на погоризонтных планах или поперечных сечениях задаются лишь линии направления понижения горных работ, а остальные параметры (например ширина разрезной траншеи, рабочей площадки) вводятся в числовой форме.

Модель развития горных работ, построенная в аналитической форме, вводится независимо от моделей месторождения и карьера, а также от исходных данных по развитию горных работ. В результате расчетов выдаются поэтапные показатели (объемы, площади, длины фронта и др.) для всех заданных вариантов направлений понижения горных работ, ширины площадки и др.

Оценка и выбор вариантов осуществляются вручную. В этой системе программ процесс развития работ в карьере рассматривается как последовательная дискретная смена одного фиксированного положения рабочей зоны карьера в пространственной системе координат другим: по вертикали на высоту уступа, а в горизонтальном направлении — на ширину заданных и различных на разных горизонтах площадок. Каждая такая смена положения карьера в пространстве называется этапом горных работ в карьере, в плоскости горизонта — участком этапа на горизонте карьера.

Модели развития горных работ позволяют изменять скорость подвигания горных работ на каждом из горизонтов карьера при одновременном их углублении, оставив горные работы на одном из бортов карьера (оставлять временно нерабочий борт) и т. д. Погрешность подсчета запасов и объемов горных работ, как правило, не превышает допустимой по нормам технологического проектирования. Еще более высокий уровень программ позволяет решать оптимизационные задачи и находить оптимальные (в соответствии с принятыми критерием) направления развития горных работ и формирования рабочей зоны, параметры карьера, рабочей зоны и другие параметры и показатели открытых горных работ.

Горно-геометрический анализ карьерного поля при разработке крутопадающих и наклонных месторождений чаще всего используется для решения различных технологических задач [3, 8, 15, 44]. Например, при заданном направлении развития горных работ W и параметрах системы разработки — ширине рабочей площадки B и высоте уступа h посредством горно-геометрического анализа находится распределение поэтапных объемов вскрыши V и полезного ископаемого P по мере понижения глубины карьера, т.е. находится зависимость $P, V = f(h)$, выражаемая в табличной форме. Затем данные горно-геометрического анализа при заданном годовом понижении горных работ h_y преобразуются в календарный план $P_t, V_t = f(T)$, который подвергается экономической оценке, а ее результаты служат основанием для принятия решения о конечной глубине H_k карьера, о целесообразной скорости понижения горных работ h_y и т. д. Другими словами, эта задача может быть сформулирована в следующих вариантах.

Варианты	1	2	3	4
Заданные параметры	W, B, h	B, h, H_k	H_k, W	H_k
Искомые		$V, P=f(H)$		W, B, h
Оценка вариантов по параметру	H_k	W	B, h	$P, V=f(H)$

7.2. Горно-геометрический анализ с помощью малых ЭВМ

В качестве малых ЭВМ для проведения горно-геометрического анализа используются различные вычислительные машины с ограниченной оперативной памятью, но простые в обслуживании и не требующие для своего размещения больших производственных площадей. Примерами таких машин могут служить ЭВМ «Наири-2», «Наири-3», «Наири-К» и другие с оперативной памятью до 4 Кбайт 36-разрядных двоичных чисел, «Электроника» ДЗ-28 с памятью до 32 Кбайт. Печать результатов осуществляется пишущей машинкой «Консул» с числом печатаемых символов в строке до 100 единиц.

К задачам, решаемым на малых ЭВМ, относятся:

1. Подсчет общих и слоевых (горизонтальных) объемов в контуре карьера.

2. Выбор направления углубки на поперечном разрезе.

3. Расчет поэтапных объемов в контуре карьера по установленному или заданному направлению углубки и с определенными параметрами системы разработки.

Результатами расчетов являются таблицы распределения объемов вскрыши и полезного ископаемого по этапам или горизонтам и соответствующие коэффициенты вскрыши.

Исходным материалом для горно-геометрического анализа служат поперечные геологические сечения масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000.

Ограниченная память ЭВМ не позволяет держать в памяти машины полную модель месторождения, состоящую из всех геологических сечений. Исходя из этого в качестве промежуточного этапа используются математические модели поперечных разрезов. Способ представления геологической информации в ЭВМ на основе поперечных разрезов применим для месторождений любых размеров. Точность учета горизонтальных про-

180

слоёв обеспечивается выбором соответствующей высоты слоя.

Подготовка информации заключается в следующем.

1. На поперечные геологические разрезы наносят линии отсчета, в качестве которых может быть использована одна из линий сетки координат (линия Oz на рис. 7.3). Возможные контуры карьера не должны пе-

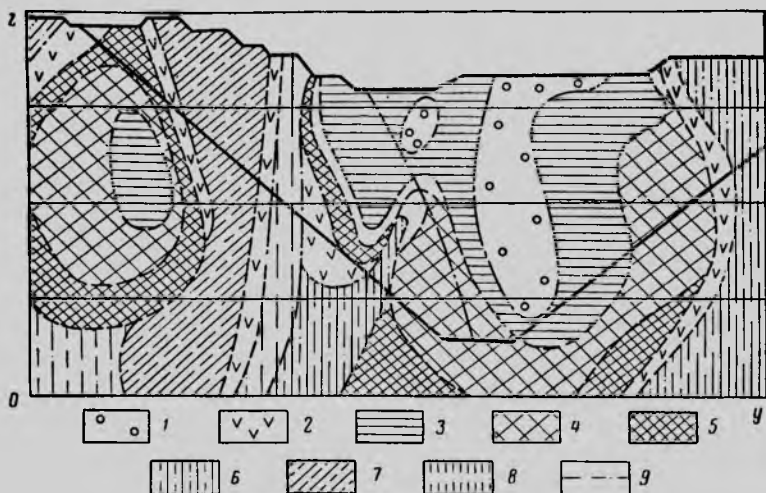


Рис. 7.3. Подготовка геологической информации на поперечном разрезе:

1 — перидотит; 2 — серпентинит; 3 — перидотит с асбестом отороченного типа; 4 — серпентинит с асбестом крупносетчатого типа; 5 — серпентинит с асбестом мелкосетчатого типа; 6 — серпентинит с просечками асбеста; 7 — серпентинит с продольно- и косоволокнистым асбестом; 8 — серпентинит с асбестом мелкопрожилкового типа; 9 — направление углубки

ресекаться с плоскостью отсчета. Затем на разрез накладывается палетка, горизонтальные линии которой проведены по средней линии горизонтов.

2. По каждой линии палетки (средней линии горизонта) считывают правые ординаты точек контакта m_{ik} (m — расстояние в миллиметрах от линии отсчета до контакта, i — порядковый номер горизонта, k — номер блока), позволяющие из выражения $m_{ik} - m_{i,k-1}$ определить горизонтальную мощность любого k -го блока горной массы на i -м горизонте. Для определения первого блока на всех горизонтах задается нулевой блок горной

массы с ординатой, равной нулю. Размеры снимаются в масштабе разреза.

3. Каждому блоку присваивается признак F_{ik} , позволяющий отнести рассматриваемый блок к определенному типу горной массы. Например, 1 — перидотиты, 2 — серпентиниты, 3 — перидотиты с отороченными жилами асбеста, 4 — перидотиты и серпентиниты с асбестоносностью типа круглой сетки и т. д. Признак выработанного пространства (воздуха) — 10. Максимальное число признаков (ε) не должно превышать 10, т. е. $1 \leq F_{ik} \leq \varepsilon \leq 10$. Признаки, определяющие полезное ископаемое, располагаются в конце, начиная с некоторого β , $\beta \leq F_{ik} \leq \varepsilon$. Для приведенного примера $\varepsilon = 8$, $\beta = 3$.

4. Для уменьшения задалживания оперативной памяти ЭВМ полученные данные (признак и ордината блока горной массы) при записи в бланк (табл. 7.2) группируют следующим образом: $F_{ik} + m_{ik}/M1$, что позволяет записать их одним числом, целая часть которого признак, а дробная — ордината точки контакта в масштабе перевода $M1$ (обычно это 1000 или 10 000).

5. После записи строки, соответствующей горизонту или слою, осуществляется визуальная проверка считанной геологической информации. При этом первое число в строке всегда равно нулю (нулевой блок горной массы). Значения расстояний (ординат) от линии отсчета до точек контакта горной массы (дробные части чисел) в каждой строке должны все время увеличиваться и заканчиваться $F_{ik} + 0,999$, что соответствует границе горного отвода. У двух соседних блоков горной массы (чисел) должны быть различные признаки (целые части).

6. Закончив процесс считывания и записи информации о всех горизонтах (слоях) поперечного разреза, подсчитывают номера нулевых блоков (нулей) k_i , если все числа расположить подряд в одну строку, начиная с первого. Всего должно быть $KG + 1$ чисел (KG — число горизонтов). Количество чисел, описывающих геологическую информацию разреза, будет равно $K_{KG+1} - 1$, а всего в бланк записано $KG + K_{KG+1}$ чисел.

Математическая модель месторождения, построенная на основе поперечных разрезов, после соответствующей программной проверки выводится для хранения на перфоленту или магнитную ленту. Все остальные данные благодаря отдельному способу моделирования вводятся с печатающего устройства.

Пример записи геологической информации в бланк

Номера нулевых блоков

1, 7 14 22 . . . 203 216 . . .

Условная отметка горизонта, м	Признаки и ординаты блоков горной массы									
	—15	0	7,0113	10,0305	2,0331	7,0413	10,999	10,999	10,999	10,999
—30		0	7,0061	2,0212	5,0310	2,0341	7,0548	10,999		
—45		0	7,0023	2,0151	5,0321	2,0356	7,0635	10,1662	8,999	
—225		0	8,0260	7,0541	2,0592	8,0673	6,0881	5,0998	4,1292	3,1431
		5,1668	2,1712	8,9990						4,1533

К этим данным относятся.

1. Контуры карьера. С плана карьера на конец отработки по линиям поперечных разрезов для каждого горизонта считают расстояния левой (ближайшей к линии отсчета) l_{ij} и правой n_{ij} границ карьера в масштабе разрезов (j — номер разреза). Компактность информации достигается записью ординат контуров одним числом: $l_{ij} + n_{ij}/M1$, где $M1$ — масштаб перевода.

2. Зона влияния разреза. Принято, что геологические характеристики, представленные на попе-

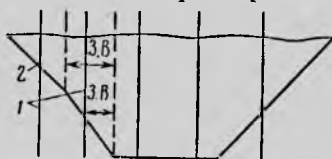


Рис. 7.4. Определение зоны влияния разреза на горизонте:

1 — поперечные разрезы; 2 — контур карьера в продольном разрезе; 3.B — зона влияния разреза

речном геологическом разрезе, распространяются в обе стороны от разреза на половину расстояния до соседних разрезов (рис. 7.4). Особенно важное значение принимают зоны влияния (3. В) для крайних разрезов, что позволяет учесть угол погашения бортов карьера в торцах. В этом

случае зона влияния складывается из расстояний с одной стороны до контура карьера, а с другой — до середины между разрезами У центральных (внутренних) разрезов зона влияния для каждого горизонта разреза чаще всего будет одинакова. Исключение могут составлять нижние горизонты, на которые оказывает влияние контур карьера.

3. Направление углубки. Траектория перемещения центра вскрывающей выработки (траншеи) в плоскости разреза по мере понижения горных работ называется направлением углубки. При подсчете объемов по заданному исследователем направлению углубки на каждом поперечном разрезе наносится эта траектория (см. рис. 7.3), ординаты которой снимаются в масштабе разреза. Если решается задача выбора направления углубки, то этот массив чисел заполняется нулями.

4. Учет расположения рабочей зоны на соседних разрезах. Все параметры рабочей зоны карьера определяют перпендикулярно к ее бортам. Однако ось вскрывающей выработки чаще всего расположена под некоторым углом к плоскости отсчета, поэтому размеры рабочих площадок и разрезной тран-

шей на поперечном разрезе могут корректироваться с учетом направления углубки на соседних разрезах.

Указанная поправка будет вычисляться программно по заданным коэффициентам увеличения рабочей зоны на каждом горизонте k_{ij} или по заданному направлению углубки на соседнем разрезе из выражения

$$k_{ij} = \sqrt{1 + \frac{(y_{ij} - y_{ij-1})^2}{B_{ij}^2}},$$

где y_{ij} , y_{ij-1} — ордината направления углубки на i -м горизонте j -го и соседнего сечения; B_{ij} — зона влияния разреза.

Одно из преимуществ проведения горно-геометрического анализа на малых ЭВМ заключается в том, что при решении задачи исходные данные, записанные в памяти машины, сохраняются без изменений и могут быть использованы сразу же без дополнительного ввода для решения другой задачи. Например, по введенным данным одного поперечного разреза можно подсчитать общие и слоевые объемы, выбрать направление углубки, проанализировать его и, скорректировав, пересчитать поэтапные объемы.

В процессе вычисления в ЭВМ подсчет объемов на горизонте в определенных границах y_1 , y_2 ($y_1 < y_2$) осуществляется методом трапеций из выражения

$$V_{ij} = \sum_{k=\gamma_1+1}^{\gamma_2-1} (m_{ik} - m_{ik-1}) H_i B_{ij} + (\delta_1 + \delta_2) H_i B_{ij},$$

где m_{ik} — ординаты точек контакта блоков горной массы; δ_1 , δ_2 — ширина блоков γ_1 и γ_2 , вовлекаемых в отработку и внутри которых зафиксированы ординаты y_1 , y_2 , т. е.

$$m_{i\gamma_1-1} \leq y_1 \leq m_{i\gamma_1},$$

$$m_{i\gamma_2-1} \leq y_2 \leq m_{i\gamma_2}.$$

Определение объемов в целом по разрезу или этапу производится суммированием соответствующих величин, подсчитанных на всех горизонтах.

Задача выбора направления углубки решается методом целенаправленного перебора. При этом перебираются всевозможные положения вскрывающей траншеи с заданным шагом, отстраиваются рабочие борты, под-

считываются объемы и вычисляются коэффициенты вскрыши, минимальный из которых и определяет направление углубки на данном горизонте.

Процесс отстройки рабочих бортов для ординаты центра вскрывающей выработки y_{ij} заключается в определении ординат y_{1l} и y_{2l} , для вычисления которых используются рекуррентные формулы:

$$y_{1l} = y_{ij} - b/2; \quad y_{2l} = y_{ij} + b/2 \quad (l = i),$$

$$y_{1l} = y_{1l+1} - Ш_l; \quad y_{2l} = y_{2l+1} + Ш_l \quad (1 \leq l < i),$$

где b — ширина траншеи.

При этом контролируется положение рабочей зоны относительно контура карьера

$$n_l \leq y_{1l} < y_{2l} \leq n_l.$$

При подходе рабочего борта к предельной границе ширина рабочей площадки уменьшается до размеров бермы безопасности или транспортной полосы.

Выдача результатов производится в виде специальной формы на печать общих и слоевых объемов в контуре карьера.

212	129.6	0,0	31.2	0,0	0,0	0,0	0,	98,4	0,0	0,317
197	597,0	0,0	139.5	0,0	0,0	147,0	0,0	310,5	0,0	0,305
182	1253,0	0,0	42.5	0,0	0,0	181,5	0,0	418,5	610,5	0,035
253	303,0	0,0	0,0	0,0	303,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000
	10630,9	1232,2	846,1	3015,6	1012,3	937,2	443,2	2001,1	1143,2	0,243

Первая колонка соответствует отметке горизонта; вторая — объему горной массы (тыс. м³); в третьей по десятую колонках приведены объемы по типам горной массы (тыс. м³), причем в пятой по десятую колонку данные соответствуют полезному ископаемому; в одиннадцатой колонке приведен коэффициент вскрыши (м³/м³). Последняя строка таблицы соответствует объемам в контуре карьера.

Проведение горно-геометрического анализа на малых ЭВМ имеет следующие преимущества перед ЕС ЭВМ.

1. Возможность оперативного вмешательства в процесс ввода исходных данных и решения задачи.

2. Значительно меньшие затраты времени на получение результатов.

3. Возможность разделения процесса решения задачи на ряд отдельных расчетов (по количеству поперечных

разрезов), которые могут проводиться независимо друг от друга и с разрывом во времени.

Сравнительные данные применения малых ЭВМ и ЕС ЭВМ в одинаковых условиях

	Малые ЭВМ («НАИРИ-К»)	ЕС ЭВМ (ЕС-1020)
Трудоемкость подготовки информации	Одинаковая	
Объем учитываемой информации	До 1350 чисел	Не ограничен
Количество учитываемых признаков (типов горной массы)	До 10	Не ограничено
Язык написания программ	Машинные коды	Алгоритмические языки
Объем программы	480 команд	До 100 операторов
Носители информации	Перфоленты	Перфокарты, магнитная лента
Время, необходимое для записи информации на носители по одному разрезу, мин	До 15	До 30
Время расчета варианта по одному разрезу, мин	До 20	До 2
Суммарное время, затрачиваемое на получение результата по одному варианту, мин	До 35	До 32*
Общее время расчетов по месторождению (получение окончательного результата), дни	Через 2—3	Через 1—2*

* При выходе на ЕС ЭВМ не менее 2 раз в день.

Небольшая оперативная память предопределяет условия проведения горно-геометрического анализа с помощью малых ЭВМ для следующих целей:

- 1) для учебных расчетов на одном или ограниченном (2—4) числе разрезов;
- 2) для оперативной предпроектной проработки;
- 2) для месторождений, представленных небольшим (до 10) числом поперечных разрезов;
- 4) для месторождений, где можно выделить не более 10 различных типов горной массы без учета качественных характеристик и не более двух различных высот уступов и размеров рабочих площадок.

С помощью малых ЭВМ и ИГД Минчермета СССР был проведен горно-геометрический анализ Петлинского железорудного месторождения, Центрального карьера комбината Ураласбест и др.

7.3. Комплекс программ ГЕОМА-77 для горно-геометрического анализа на сложноструктурных месторождениях

Комплекс программ основан на дискретной координатно-линейной математической модели месторождения с раздельным хранением геометрической и качественной информации. Исходной геологической информацией являются погоризонтные планы. Съём информации — растровый. Индекс модели — ДКЛ.

Комплекс программ ГЕОМА-77 состоит из 12 программ.

Информационные программы предназначены для формирования и корректировки математической модели месторождения и карьера, основные программы решают горно-геометрические задачи, сервисные — обеспечивают вывод информации в форме, удобной для контроля и чтения.

Программы, написанные на языке PL/I, предназначены для эксплуатации на ЕС ЭВМ в операционной системе ДОС.

Комплекс программ применяется для горно-геометрического анализа сложноструктурных многокомпонентных крутопадающих месторождений при оценке вариантов ведения горных работ в процессе проектирования карьера. Комплекс программ сдан в Отраслевой фонд алгоритмов и программ Минцветмета СССР.

Характеристика программ для горно-геометрического анализа приведена в табл. 7.3, схема информационного обмена между программами комплекса изображена на рис. 7.5. Для хранения информации используются два вида носителей: магнитные диски для оперативного хранения данных при расчете и магнитные ленты для длительного хранения информации о рассматриваемых месторождениях.

Описание комплекса программ ГЕОМА-77 представляет собой комплект технической документации из восьми томов объемом 76 страниц. Программы хранятся на ВЦ в виде исходных модулей (на перфокартах — для контроля и на МЛ — для восстановления) и абсолютных модулей (на МД) для выполнения заданий. На перфокартах хранятся также контрольные примеры и управляющие карты для формирования заданий. Кроме заданий на выполнение модулей комплекса имеются задания

на выполнение системных обслуживающих программ: чистка участков МД, перезапись с МД на МЛ и обратно, распечатка файлов на МД. Порядок расчета комплекса программ ГЕОМА-77 показан на рис. 7.5.

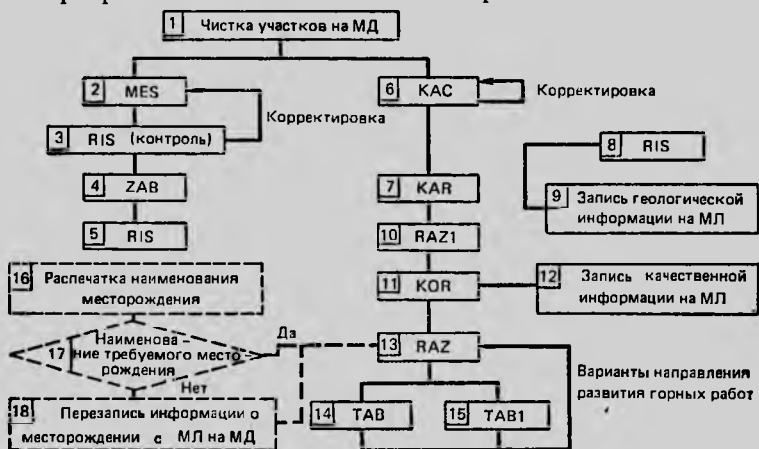


Рис. 7.5. Схема информационного обмена между программами комплекса ГЕОМА-77

При практической работе пользователя с комплексом программ возможны два варианта: 1) задача по данному месторождению решается впервые и необходимо предварительно создать математическую модель месторождения и карьера; 2) модель месторождения и карьера имеется на ВЦ. В первом варианте операции выполняются блоками 1—15. Во втором варианте проверяется, есть ли модель данного месторождения в оперативной памяти или на магнитных дисках и если нет, то информация переписывается из долговременной памяти с магнитной ленты, а затем выполняются программы RAZ, TAB и (или) TAB1.

Рассмотрим порядок решения задачи создания модели месторождения и горно-геометрического анализа карьера. Основными источниками информации при создании моделей служат: погоризонтные планы месторождения, качественные характеристики геологических блоков, балансовые запасы, утвержденные ГКЗ, конечные контуры карьера на горизонтах.

Характеристика программ горно-геометрического анализа ГЕОМА-77

Имя	Назначение	Входные данные	Выходные данные	Среднее время расчета на ЕС-1020, мин	Число операторов
MES	Ввод, контроль, корректировка геометрической информации месторождения	Параметры модели: координаты контактов блоков (на ПК)	Сообщения об ошибках на АЦПУ; геометрическая информация на МД и на АЦПУ	20	102
MES1	Ввод и корректировка геометрической информации	То же	Геометрическая информация на МД	5	50
ZAB	Формирование одинаковых записей геометрической информации	Число горизонтов (на ПК)	То же		11
KAC	Ввод, контроль, корректировка качественной информации	Качественные характеристики блоков (на ПК)	Сообщения об ошибках на АЦПУ; качественная информация МД	5	70
KACS	Ввод и корректировка качественной информации по скважинам	Характеристики блоков, глубины скважин, содержание компонентов (на ПК)	То же	5	39

KAR	Формирование геометрической информации о контурах карьера	Контуры карьера (на ПК); геометрическая информация карьера (на МД)	Геометрическая информация карьера (на МД)	10	140
RAZ1	Расчет объемов геологических блоков в карьере	Контуры рабочей зоны (на ПК); модель карьера (МД)	Объемы блоков (МД)	30	153
RAZ	Формирование рабочей зоны карьера и расчет объемов для участка этажа на горизонте	Оси разрезных траншей, ширина рабочих площадок (на ПК); модель карьера (МД)	То же	30	247
RIS	Графическое изображение погоризонтных планов	Номера изображаемых горизонтов (на ПК)	Рисунки планов на АЦПУ	10	83
KOR	Корректировка запасов месторождения	Контрольные объемы руды (на ПК); объемы блоков (МД)	Скорректированные объемы блоков (МД)	5	42
TAB (TAB1)	Печать таблицы объемов вскрышных пород, руды, полезных компонентов по участкам этажей на горизонте (по этапам)	Число печатаемых компонентов, диапазон выделенных сортов (на ПК); объекты блоков, качественная информация (МД)	Таблица объемов АЦПУ	20 (10)	225 (210)

Геометрическая информация снимается пользователем с помощью палетки (равномерного раstra) и представляет собой ординаты точек контактов геологических блоков и их номера для каждого слоя палетки на каждом горизонте. Качественная информация содержит для каждого номера геологического блока категорию запасов, сорт руды, содержание компонентов и другие характеристики. Контуры карьеров представляются в виде многоугольников, выпуклых вдоль оси ординат, и задаются координатами их вершин, начиная с крайней левой в порядке обхода против часовой стрелки.

Вся эта информация, а также общие данные о месторождении, карьере и способе съема информации (наименование, число горизонтов, высота уступов, ширина слоя палетки и др.) записывается пользователем в специальные бланки.

Собственно горно-геометрический анализ, выполняемый настоящим комплексом программ, состоит в построении контуров рабочей зоны этапов для каждого горизонта и вычислении объемов руды, вскрыш, а также суммирование объемов по сортам руды и определение коэффициентов вскрыши по этапам и участкам этапов на горизонтах. Построение рабочей зоны этапа описано в п. 6.7 (см. рис. 6.12, а).

Под этапом понимается углубка горных работ на очередной горизонт. Исходными данными служат координаты осей разрезных траншей, представляющих собой ломаные прямые, и значения ширины рабочих площадок для участков этапов на горизонтах. В одном задании могут рассматриваться несколько вариантов направления развития горных работ. Эти исходные данные также записываются в специальные бланки.

После подготовки информации вычислительному центру дается следующее задание:

1. Отперфорировать исходные данные (бланки $1 + N$).
2. Сформировать задания на выполнение программ (перечень программ).
3. Распечатать задания. Прилагается N бланков.

Если при распечатке обнаружены ошибки перфорации или в формировании колод, дается задание на исправление ошибок.

Расчет производится в несколько этапов.

1. Ввод геометрической и качественной информации о месторождении (чистка участков МД, MES, KAC, RIS).

2. Корректировка геометрической и качественной информации (MES, RIS, KAC).

3. Окончание формирования модели месторождения (ZAB, RIS).

4. Формирование модели карьера (KAR, RIS).

5. Корректировка модели карьера (KOR, RIS).

6. Окончание формирования модели карьера (RAZ1, KAR, запись на МЛ геометрической и качественной информации).

7. Собственно горно-геометрический анализ.

8. Печать результатов расчета в табличной форме.

Каждому этапу соответствует свое задание на ВЦ, в котором указываются имена резидентного и рабочего пакетов дисков, магнитных лент, необходимых для работы, а также перечень системных программ и программ комплекса в порядке их выполнения.

Программы MES, KAC и KAR выдают сообщения об ошибках с номером ошибочной перфокарты, горизонта, слоя. Данные проверяются на ограничения типа упорядоченности значений или принадлежности к заданному интервалу. Например:

*ПК*56 ГОРИЗОНТ 4*СЛОЙ 23*КООРДИНАТА У БОЛЬШЕ МАХ*

Для визуального контроля геометрической информации используется погоризонтный план, распечатываемый программой RIS.

После исправления ошибок отдается задание на корректировку. Этапы 2 и 5 повторяются несколько раз.

Задание на собственно горно-геометрический анализ следующее.

1. Поставить на устройство X190 резидент ГГА1.

2. Поставить на устройство X191 рабочий пакет КАРЬЕР1.

3. Распечатать файл FPN.

4. Если наименование месторождения не совпадает с НГМК, то

4.1. Установить на устройство X280 ленту КАРЬЕР2.

4.2. Переписать МЛ на МД.

5. Выполнить программу RAZ.

6. Выполнить программу TAB.

7. Выполнить программу TAB1.

В данном примере наименование месторождения НГМК. Все использованные имена должны быть унифицированы.

Результаты расчета выдаются на печать в виде таблицы и содержат следующие данные: нарастающие объемы руды, металла и пород по этапам разработки карьера; поэтапные и погоризонтные объемы горных работ; промышленные запасы руды и металла в карьере.

В таблицу сводятся результаты расчетов (т, м³, тыс. т и тыс. м³) по каждому блоку, по категориям запасов, по сортам руд, по сумме сортов руд, по видам вскрышных пород, по сумме видов вскрышных пород, приводятся средние с начала разработки коэффициенты вскрыши (м³/м³, т/т, м³/т).

7.4. Комплекс программ СПЕКТР-79 для горно-геометрического анализа на сложноструктурных месторождениях

Комплекс программ СПЕКТР-79 предназначен для проведения горно-геометрического анализа сложноструктурных крутопадающих месторождений на ЭВМ и состоит из шести программ, выполненных в виде самостоятельных программных модулей. Требуемый объем памяти не менее 128К. Требуемый состав технических средств — типовой комплекс ЕС ЭВМ, включающий устройство ввода с перфокарт ЕС-6012, устройство вывода на АЦПУ ЕС-7033, накопитель на магнитных дисках ЕС-5056, три накопителя на магнитной ленте ЕС-5012-01. Операционная система ДОС ЕС. Трансляторы с языков ALGOL, PL/1, версия (v. м.) не ниже 2.1. Расчеты производились на ЭВМ М-4030, ЕС-1020, ЕС-1022.

Подготовка геологической информации осуществляется следящим способом, и для создания информационного фонда на магнитной ленте разработано соответствующее программное обеспечение. Параметры системы разработки вводятся с перфокарт. Назначение и характеристика программ комплекса СПЕКТР-79 приведены в табл. 7.4, а зависимость между программами и возможный порядок расчетов — на рис. 7.6.

С помощью данного комплекса программ решаются следующие задачи горно-геометрического анализа.

1. Подсчет горизонтальных слоев и общих объемов в произвольно заданных контурах (в том числе в кон-

туре карьера) с получением образа области подсчета на АЦПУ.

2. При заданной высоте уступа, параметрах рабочей зоны и контурах карьера по критерию минимального текущего или среднего коэффициента вскрыши определить положение вскрывающей выработки на каждом горизонте.

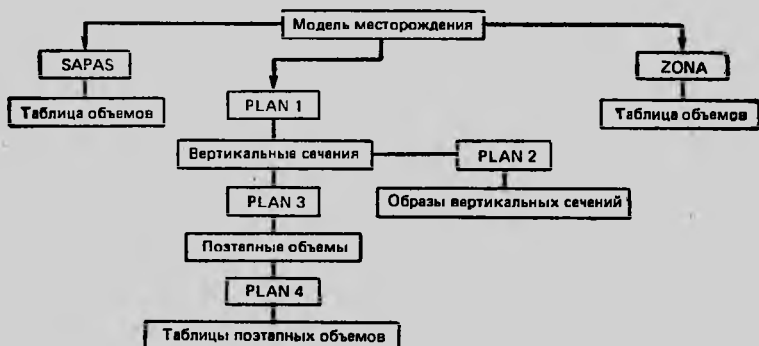


Рис. 7.6. Порядок расчета по программам комплекса СПЕКТР-79

3. При заданных параметрах рабочей зоны и положению дна вскрывающей выработки на горизонте отстроить контур рабочей зоны на вышележащих горизонтах и подсчитать общие и слоевые объемы.

До начала решения второй задачи модель месторождения на основе погоризонтных планов трансформируется в модель вертикальных сечений с получением их образов на АЦПУ для контроля. Распечатка подсчитанных поэтапных объемов осуществляется с помощью специальной программы.

Комплекс программ внедрен на ИВЦ Коршуновского ГОКа. Документация оформлена согласно «Единой системе программной документации» и содержит девять документов (13001.00101-01). В качестве машинных носителей используются перфокарты и магнитные ленты.

Порядок практической работы пользователя.

1. Создать модель месторождения на основе погоризонтных планов с помощью комплекса программ «Создание информационного фонда», предназначенного для контроля, отображения, записи, корректировки и пополнения файла геологической информации. Назначение и характеристика программ комплекса «Создание

Характеристика программ комплекса СПЕКТР-79

Таблица 7.4

Программы	Назначение	Входные данные	Выходные данные	Число операторов	Среднее время расчета на ЕС-1020. мин
SAPAS	Подсчет общих и слое- вых объемов в произ- вольно заданных конту- рах	Модель месторождения на магнитной ленте (МЛ) и координаты области	Таблица общих и сло- евых объемов, образ об- ласти подсчета на АЦПУ в условных обозначениях	209	2
PLAN1	Построение вертикаль- ных сечений по погори- зонтным планам	Модель месторождения, расстояние между сече- ниями	Модель вертикальных сечений на МЛ	306	5
PLAN2	Построение образов вертикальных сечений на АЦПУ	Модель вертикальных сечений	Образы на АЦПУ и таблица общих и слоевых объемов в контуре карьера	83	3

Координаты оси вскрывающей выработки на каждом горизонте, объемы по горизонтам этапов на МЛ

Модель вертикальных сечений на МЛ, параметры системы разработки. Вариант решения задачи

Выбор направления понижения горных работ по критерию минимального текущего или среднего с начала разработки коэффициента вскрыши с постоянной или переменной шириной рабочих площадок по полезному ископаемому

PLAN3

1

43

Таблицы поэтапных объемов для всех положений вскрывающей выработки

Объемы по горизонтам этапов на МЛ

Печать поэтапных объемов

PLAN4

3

362

Таблица общих и слесовых объемов для данного положения рабочей зоны

Модель месторождения на МЛ, координаты дна вскрывающей выработки на горизонте, параметры системы разработки

Построение контура рабочей зоны по заданному положению дна вскрывающей выработки с подсчетом соответствующих объемов

ZONA

информационного фонда» приведены в табл. 7.5, а зависимость между программами и возможный порядок расчетов — на рис. 7.7. Квадратные скобки указывают на необязательность расчета.

2. Сформулировать задачу.

Таблица 7.5

Характеристика программ комплекса «Создание информационного фонда»

Программы	Назначение	Выходные данные	Число операторов	Среднее время расчета на ЕС-1020, мин
KS	Проверка перфорации и самопересечения многоугольников	Ошибки перфорации	38	1
PETAT	Печать данных с перфокарт	Распечатка исходных данных	29	0,5
CONTUR	Отображение информации на АЦПУ в виде многоугольников	Рисунок погоризонтного плана	175	1,5
KARTAS	Подсчет общих и слоевых объемов в условных единицах с перфокарт	Образы погоризонтных планов и таблица объемов	298	2
GRAF	Запись информации на магнитную ленту	Модель месторождения на магнитной ленте	238	1

Примечание. Входные данные представляют собой закодированную информацию на перфокартах.

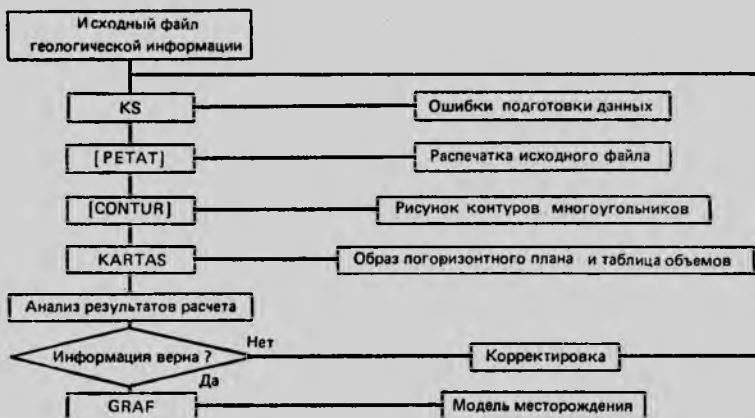


Рис. 7.7. Программное обеспечение для создания модели месторождения на основе погоризонтных планов

3. Определить исходные данные (согласно документа 13001.00101-01 32) и подготовить их для перфорации.
4. Отперфорировать и проверить исходные данные.
5. Сформулировать пакет задания для ВЦ.
6. Провести расчеты.

Выходными результатами являются таблицы объемов по горизонтам. При выборе направления развития горных работ дополнительно печатаются: рациональное направление, область оптимальности и скорректированное направление понижения горных работ.

7.5. Комплекс прикладных программ ФОСФОРИТ-80

Комплекс прикладных программ ФОСФОРИТ-80 создан для горно-геометрического анализа пластовых сложно-структурных месторождений большой протяженности типа фосфоритового месторождения Каратау, представленного выдержанными по условиям залегания крутыми пластами мощностью 15—25 м. Длина отдельных участков месторождения составляет в ряде случаев десятки километров и для разработки их разделяют на отдельные блок-участки длиной 2—4 км.

Пакет программ находится в промышленной эксплуатации и используется для решения задач, выбора направления и календарного планирования горных работ в карьере.

Основой пакета служит многокомпонентная дискретная математическая модель месторождения и развития рабочей зоны карьера (МДММК), которая представляет собой матрицу размером $(n \times m) \times z$, где n — число горизонтов, m — число зон, z — число показателей, хранящихся в модели.

Карьерное поле разделено по простиранию на m зон, длина каждой из которых L_z принимается равной длине выработки, обеспечивающей подготовку нового горизонта, т. е. около 200 м при автомобильном транспорте. При понижении горных работ в карьере на один уступ h_y в границах зоны выделяется участок (рис. 7.8), являющийся первичным элементом модели, который характеризуется количественными и качественными показателями (объемами руды, выделенными по сортам и типам; объемами вскрыши, подсчитанными для различных параметров системы разработки; качественными показателями полезных и вредных компонентов; средневзвешенной

длиной транспортирования руды и вскрышных пород и др.).

Структура хранения информации управляется параметрами σ ; $n_1 - n_5$. Параметр σ указывает на наличие добываемых типов руд. При $\sigma=0$ добывается один тип руды, например рядовая, а при $\sigma=1$ — добывается рядо-

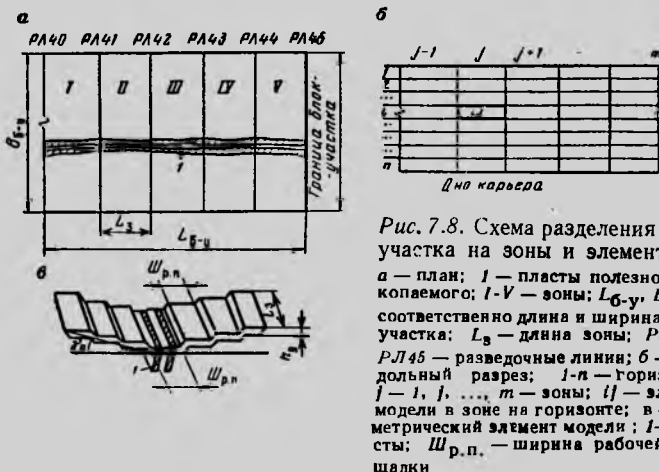


Рис. 7.8. Схема разделения блок-участка на зоны и элементы:

а — план; I — пласты полезного ископаемого; I-V — зоны; $L_{б-у}$, $L_{б-л}$ — соответственно длина и ширина блок-участка; $L_{з}$ — длина зоны; $РЛ40 - РЛ45$ — разведочные линии; б — продольный разрез; I-n — горизонты; $l - 1, l, \dots, m$ — зоны; l — элемент модели в зоне на горизонте; в — геометрический элемент модели; l — пласты; $Ш_{р.п.}$ — ширина рабочей площадки

вая и богатая руда и т. д. Остальные параметры предназначены для указания числа контролируемых вредных компонентов в рядовой (n_1), богатой (n_2), забалансовой (n_3) руде и т. д., удаляемой пустой породы при различной ширине рабочей площадки (n_4); дополнительных параметров — количество сланцев, кремния, забалансовой руды (n_5).

Таким образом, общее число показателей хранимой информации z для каждого элемента МДММК определяется по следующей формуле:

$$z = 2 + n_1 + \sigma(2 + n_2) + n_3 + n_4.$$

Например, для условий рудника «Жанатас» (объединение «Каратау») $\sigma=1$, так как добывается два типа руды (богатая и рядовая). Поскольку для каждого типа имеются ограничения на два вредных компонента: ($SiO_2 + Al_2O_3$ и Fe_2O_3) в рядовой, (CO_2 и MqO) в богатой, то $n_1=n_2=2$. Требование селективной добычи сланцев, кремней и забалансовой руды определяют $n_3=1$, а $n_4=3$.

Таким образом, общее число показателей в каждом элементе модели будет

$$z = 2 + 2 + 1(2 + 2) + 1 + 3 = 12.$$

Комплексом предусмотрены две модификации формирования модели. В первой каждый ij -элемент представляет собой объем, заключенный между двумя смежными положениями горных работ с дном карьера на $i-1$ -м и i -м горизонтах (см. рис. 7.8, б) и по простиранию ограниченный двумя смежными разрезами. Например, на рис. 7.8, а между разрезами $РЛ\Delta 41$ и $РЛ\Delta 42$.

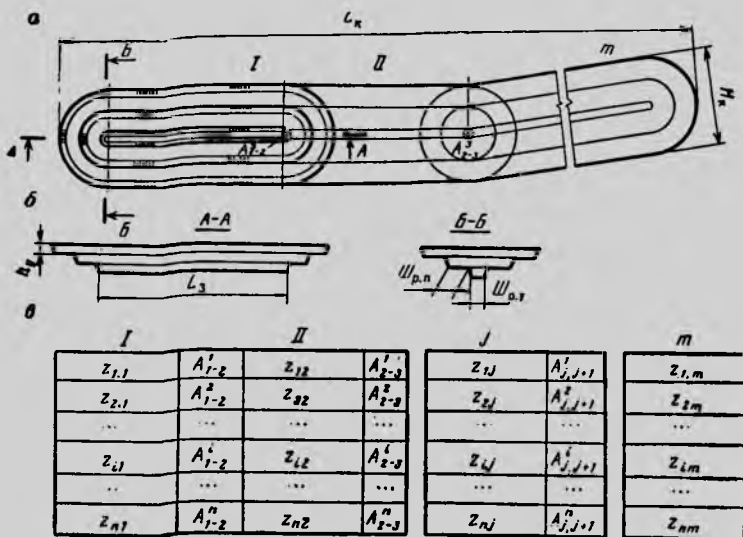


Рис. 7.9. Схема разделения карьера на зоны:

а — формирование промежуточных положений карьера; б — матричное представление модели; в — отображение технологических ограничений в виде графа; I, II, ..., m — зоны; 1, 2, ..., n — горизонты

По второй модификации ij -элемент представляет собой объем рабочей зоны при понижении на один горизонт участка, имеющего форму карьера длиной L_3 и ограниченного по простиранию не вертикальными ячейками, а торцами, построенными по кривой (рис. 7.9, а).

Для моделирования рабочей зоны с различной шириной рабочих площадок последние при подготовке исходной информации представляются в виде матрицы (табл. 7.6), на главной диагонали которой даны размеры подготавли-

вающей выработки по дну ($Ш_{р.т}^I$) по всем горизонтам. Нижняя часть главной диагонали матрицы заполняется размерами соответствующей рабочей площадки для борта со стороны лежащего бока залежи ($Ш_{ik}^л$), а верхняя — со стороны висячего ($Ш_{ik}^в$). Например, для промежуточного положения рабочей зоны с разрезной траншеей на четвертом горизонте (см. рис. 7.9, табл. 7.6) ширина рабочих площадок со стороны висячего блока заносится в четвертый столбец выше главной диагонали по соответствующим горизонтам ($Ш_{43}^в$, $Ш_{42}^в$, $Ш_{41}^в$), а со стороны лежащего бока в четвертую строку слева от главной диагонали матрицы ($Ш_{43}^л$, $Ш_{42}^л$, $Ш_{41}^л$).

Таблица 7.6

Ширина разрезной траншеи и рабочих площадок со стороны лежащего и висячего боков залежи

Горизонты висячего бока	Горизонты лежащего бока						
	1	2	3	4	5	6	7
1	$Ш_{р.т}^I$	$Ш_{21}^в$	$Ш_{31}^л$	$Ш_{41}^в$	$Ш_{51}^в$	$Ш_{61}^в$	$Ш_{71}^в$
2	$Ш_{21}^л$	$Ш_{р.т}^I$	$Ш_{32}^в$	$Ш_{42}^в$	$Ш_{52}^в$	$Ш_{62}^в$	$Ш_{72}^в$
3	$Ш_{31}^л$	$Ш_{32}^л$	$Ш_{р.т}^I$	$Ш_{43}^в$	$Ш_{53}^в$	$Ш_{63}^в$	$Ш_{73}^в$
4	$Ш_{41}^л$	$Ш_{42}^л$	$Ш_{43}^л$	$Ш_{р.т}^I$	$Ш_{54}^в$	$Ш_{64}^в$	$Ш_{74}^в$
5	$Ш_{51}^л$	$Ш_{52}^л$	$Ш_{53}^л$	$Ш_{54}^л$	$Ш_{р.т}^I$	$Ш_{65}^в$	$Ш_{75}^в$
6	$Ш_{61}^л$	$Ш_{62}^л$	$Ш_{63}^л$	$Ш_{64}^л$	$Ш_{65}^л$	$Ш_{р.т}^I$	$Ш_{76}^в$
7	$Ш_{71}^л$	$Ш_{72}^л$	$Ш_{73}^л$	$Ш_{74}^л$	$Ш_{75}^л$	$Ш_{76}^л$	$Ш_{р.т}^I$

Исходная информация для построения многокомпонентной дискретной математической модели месторождения (МДМММ) и развития рабочей зоны карьера следующая:

а) поперечные разрезы (геологические и маркшейдерские) с нанесенными контурами рудных тел и породных прослоев, границами карьера на момент его полной обработки;

б) данные эксплуатационной разведки (канавного опробования);

- в) установленные границы блок-участков;
- г) основные элементы принятой системы разработки (высота уступа, ширина рабочей площадки по простиранию и вкрест простирания, минимальная длина и ширина разрезной траншеи по дну).

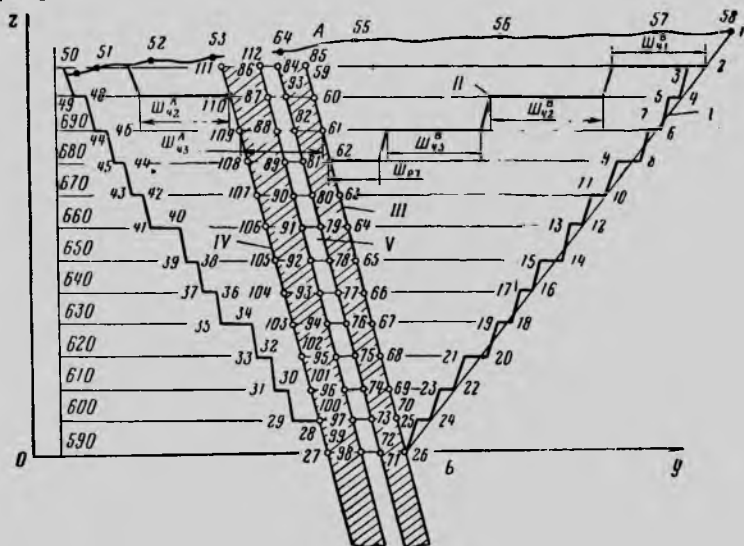


Рис. 7.10. Геологический разрез № 780, подготовленный для снятия исходной информации:

I — контур карьера; II — промежуточное положение рабочей зоны; III — верхний фосфоритовый пласт; IV — нижний фосфоритовый пласт; V — пропласток фосфорно-кремнистых сланцев; А—Б — линия направления углубки

При кодировании геологической информации на каждом поперечном разрезе снимаются координаты характерных точек дневной поверхности, контур карьера, рудных тел и пропластков породы. Снятие координат ведется по часовой стрелке, начиная с верхней точки правого бокового контура карьера. Например, на рис. 7.10 конечный контур карьера и дневная поверхность представлены точками 1—58, верхний фосфоритовый пласт — точками 59—85 и т. д. Затем снимаются координаты точек линии направления углубки горных работ (линия АБ, точки 59—71).

Поскольку математическая модель месторождения и рабочей зоны карьера строится по блок-участкам, то аналогичная информация снимается со всех поперечных разрезов, ограничивающих каждый блок-участок (25—

30 разрезов). Заполненные специальные бланки исходной информации передаются оператору ВЦ для перфорации. Исходные данные пробиваются на перфокарте через запятую или пробел.

Модель относится к классу дискретных, принцип моделирования — совместный. Комплекс программ написан для ЭВМ ЕС-1022 на языке PL/1, операционная система — ОС, версии 4.1, 5.1, 6.1, потребный объем памяти 512 Кбайт.

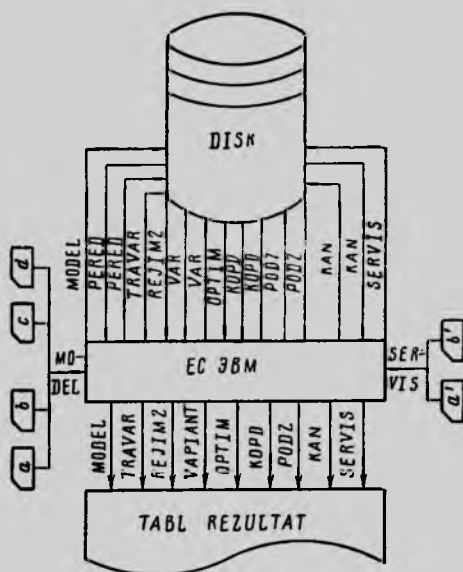


Рис. 7.11. Информационные связи комплекса программ ФОСФОРИТ-80:

a, b — геологическая и геометрическая информация о месторождении по данным поперечных разрезов; *c, d* — информация о контурах карьера и параметрах системы разработки; *a', b'* — геологическая и геометрическая информация о месторождении по данным канавного опробования

Порядок работы программ комплекса ФОСФОРИТ-80 следующий. После ввода с перфокарт исходной геологической и геометрической информации о месторождении с поперечных разрезов (соответственно *a* и *b* на рис. 7.11) информации о контурах карьера (*c*) и параметрах системы разработки (*d*) работает программа MODEL, которая сформированную математическую модель месторождения и рабочей зоны записывает на МД и через АЦПУ выдает на печать в виде таблицы (на рис. 7.11 соответственно стрелки от ЕС ЭВМ к DISK и TABL REZULTAT).

Для уточнения и корректировки модели месторождения по данным эксплуатационной разведки (например,

канавного опробования) работают программы **SERVIS**, **KAN** и **PODZ**. Для работы программы с перфокарт вводится геологическая и геометрическая информация (a' и b' на рис. 7.11) по данным эксплуатационной разведки. Эти программы также осуществляют запись результатов на МД и выдачу их на печать.

Для корректировки модели месторождения и рабочей зоны карьера по фактическому положению горных работ на планируемый период служит программа **PODZ**, для работы которой с перфокарт вводятся координаты точек фактического положения рабочей зоны карьера. Сама модель считывается с МД (стрелка от **DISK** к **ЕС ЭВМ**). Скорректированная модель записывается на МД (стрелка к **DISK**) и выдается на печать в виде таблицы (стрелка к **TABL REZULTAT**). Скорректированная модель на МД является исходной информацией для работы программ **TRAFAR**, **REJIM2**, **VAR**. Результаты работы программы **VAR** записываются на МД и служат исходной информацией для работы программы **OPTIM**.

Характеристика программ комплекса **ФОСФОРИТ-80** приведена в табл. 7.7.

Результаты горно-геометрического анализа выдаются ЭВМ на печать в форме таблиц для каждой зоны и каждого горизонта, а также для суммы зон по каждому горизонту и для суммы горизонтов по каждой зоне.

7.6. Комплекс прикладных программ КВАРЦИТ-82 для горно-геометрического анализа сложноструктурных месторождений штокверкового типа

Комплекс прикладных программ **КВАРЦИТ-82** предназначен для решения задач проектирования карьеров, связанных с горно-геометрическим анализом карьерных полей при открытой разработке штокверковых месторождений многокомпонентных руд с неравномерным распределением минерализации в контурах балансовых и забалансовых запасов.

Математическая модель является совместной, т. е. геометрические и качественные геологические параметры кодируются в одной модели, предусмотрена возможность внесения дополнительной информации и корректировки модели без ее перестройки в целом. Исходная геологическая информация может быть представлена в виде

Характеристика программ комплекса ФОСФОРИТ-80

Таблица 7.7

Программы	Назначение	Входные данные	Выходные данные	Число операторов	Среднее время расчета на ЕС-1022, мин
PERED	Перезапись набора исходных данных после корректировки модели	Число горизонтов и зон рассматриваемого блока участка	Скорректированный набор исходных данных на МД	17	2
MODEL	Формирование модели месторождения и рабочей зоны карьера на МД	Файлы исходных данных по блок-участкам на перфокартах	Файл математической модели. Текст сообщения об ошибках и причинах их появления	310	7
TRAFAR	Построение трафарета рабочей зоны и установление развития горных работ	Модель месторождения на МД, параметры системы разработки	Направление развития горных работ в карьере (в пределах блок-участка), объемы руды и вскрышных пород, качественные показатели	361	5—7
REJIM2	Установление рационального направления развития горных работ с переменными параметрами системы разработки	Модель месторождения на МД, переменные параметры системы разработки	То же, с переменными параметрами системы разработки	410	7
VAR	Формирование технологически возможных вариантов ведения горных работ в карьере	Модель месторождения на МД, параметры системы разработки по проектированию	Границы каждого варианта на МД и АЦПУ, объемы вскрышных пород и руды по сортам, содержание полезных и вредных компонентов	356	Зависит от числа набранных вариантов

OPTIM	Отыскание годового контура горных работ по критерию минимума среднего с начала разработки коэффициента вскрыши	Файл технологически возможных вариантов ведения горных работ в карьере (на МД)	370	5-7
KORD	Корректировка математической модели месторождения и рабочей зоны карьера	Модель месторождения на МД и координаты точек фактического положения рабочей зоны карьера	175	5
SERVIS	Ввод, контроль и корректировка, формирование записи на МД информации по данным канавного опробования	Данные ведомости химического анализа: номера горизонта, канавы, блок-участка, число проб, полезных и вредных компонентов, номер, мощность пробы и содержательность компонентов в ней	876	Зависит от числа проб
KAN	Выделение кондиционных пересечений, удовлетворяющих заданным ограничениям на минеральное сырье	Запись на МД информации по данным канавного опробования, данные о кондициях и ограничениях	1500	То же
PODZ	Подсчет запасов и качественной характеристики определенных сортов руд и пород в пределах выделенного подсчетного блока	Записи на МД исходной геологической информации с учетом выделенных пропластков руд и пород	510	1-3

погоризонтных планов, геологических разрезов, данных опробования геологоразведочных скважин и эксплуатационных выработок. Если в качестве исходных данных используются данные геологоразведочных скважин, то информация представляется в виде координат устья разведочных скважин, данных инклинометрии, интервалов опробования и содержания полезных и вредных компонентов в выделенных интервалах. При снятии информации с погоризонтных планов и поперечных разрезов контуры рудных тел задаются замкнутыми ломаными линиями, а качественные характеристики задаются в характерных точках в пределах рудных тел, т. е. используется следящий способ. Рассматриваемая математическая модель относится к классу дискретно-аналитических. Комплекс программ, работающих с математической моделью, написан на языке ПЛ/1 и реализован на ЕС-1022 в операционной системе ОС версии 4.1 и выше.

Для работы комплекса программ необходимы следующие технические средства: центральный процессор с емкостью оперативного запоминающего устройства не менее 512 Кбайт, накопитель на магнитных дисках емкостью 29 Мбайт, устройство ввода с перфокарт, алфавитно-цифровое печатающее устройство, два накопителя на магнитных лентах, пультовая машинка (дисплей).

Носителями информации и программ в ЭВМ являются магнитные диски и ленты, где программы представлены в виде библиотек загрузочных модулей, а информация — последовательными и индексно-последовательными файлами.

Математическая модель месторождения является дискретной и построена на базе объемной решетки, в узлах которой сосредоточивается информация о тех или иных признаках, характеризующих месторождение и параметры горных работ. Решетка помещена в трехмерные координаты x , y , z (рис. 7.12). Из этой области по заданным любым трем точкам $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$ и $C(x_3, y_3, z_3)$ можно выразить любую плоскость (на рис. 7.12 плоскость Q) с фиксированными на ней или ближайшими к ней узлами (точками) сети.

Если в качестве исходной геологической документации используются данные геологоразведочных скважин, то первичным элементом информации являются данные о пробах в разведочной скважине (координаты каждой пробы и ее показатели качества). По известным пара-

метрам скважины (координатам ее устья, глубине каждой пробы, азимутом и углом наклона оси скважины) на ЭВМ вычисляют пространственные координаты каждой пробы и размещают их в сети модели, разнося численные значения показателей пробы в ближайшие узлы с учетом интерполяции во всей области.

Если геологическая информация задана погоризонтными геологическими планами или поперечными разре-

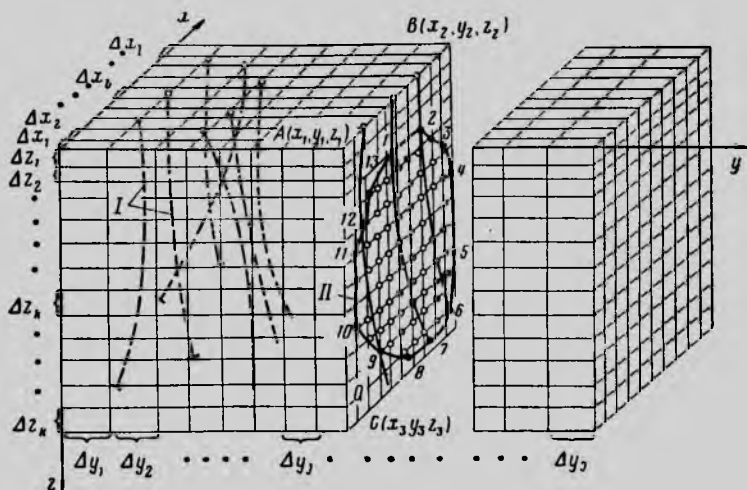


Рис. 7.12. Графическая интерпретация математической объемной модели месторождения:
I — геологоразведочные скважины; II — контур рудного тела на поперечном и геологоразведочном сечении; 1, 2, ... — точки контура

зами, то необходимо совместить координатные сетки планов и модели, аппроксимировать замкнутые контуры рудных тел ломаными линиями и точки перелома ввести в модель в качестве элемента информации. Координаты точек снимаются по ходу часовой стрелки (следящий способ). Каждой точке присваивается признак принадлежности контуру — тот или иной показатель качества, сорт руд, принадлежность технологическому контуру и т. д.

В основе автоматизированного процесса обработки первичных исходных данных и построения математической модели лежит метод интерполяции и аппроксимации

в области моделирования гармоническими функциями, удовлетворяющими уравнению Лапласа, вида

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

где $u(x, y, z)$ — функция моделируемого параметра.

Решение задачи может быть получено заменой уравнения Лапласа в дифференциальной форме его конечно-разностным аналогом.

Итерационный процесс ведется до тех пор, пока во всех узлах не выполнится условие $|u_{i,j,k}^l - u_{i,j,k}^{l-1}| \leq \epsilon$ где ϵ — необходимая точность расчетов; $u_{i,j,k}$ — значение функции в точке ijk на l -й итерации.

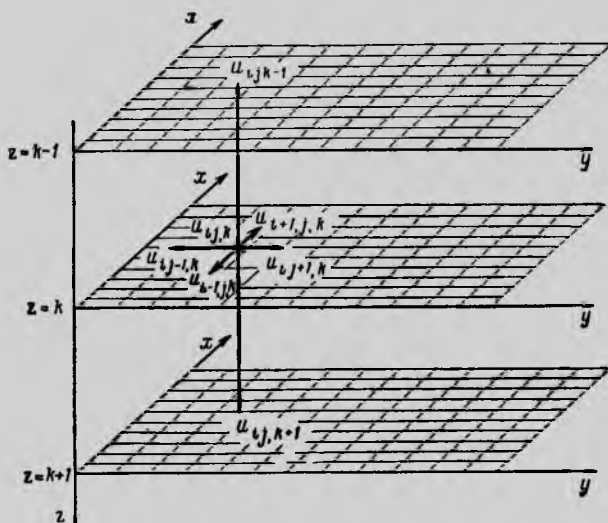


Рис. 7.13. Семиточечная модель конечно-разностного аналога

На рис. 7.13 показана семиточечная модель для расчета значений функций в каждом узле.

Назначение комплекса программ КВАРЦИТ-82 определяется задачами:

математического моделирования сложноструктурных многокомпонентных месторождений и карьера;

выделения произвольного блока, участка месторождения, горизонтального, вертикального или наклонного слоя из математической модели месторождения;

подсчета объема руд и пород, дифференцированного по сортам по всему месторождению или в выделенном блоке;

подсчета запасов при изменении кондиционных ограничений;

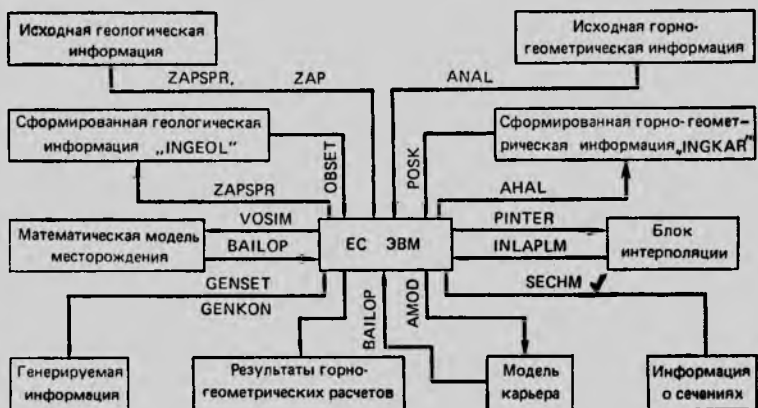


Рис. 7.14. Структурная схема комплекса программ КВАРЦИТ-82

расчета средних коэффициентов вскрыши и горной массы;

отображения горно-геологической информации в виде графика на АЦПУ;

моделирования высотных отметок рельефа дневной поверхности.

Характеристика основных программ комплекса КВАРЦИТ-82 приведена в табл. 7.8.

Исходными данными для работы комплекса являются сформированные записи двух информационных файлов JNGEOL и JNGKAR (рис. 7.14). В файле JNGEOL хранятся данные разведочных скважин и эксплуатационных выработок, снятая информация с погоризонтных планов и геологических разрезов. Файл JNGKAR служит для обеспечения комплекса информацией о положении грани карьера на каждом горизонте. В процессе работы данные обоих файлов могут дополняться и корректироваться. Ввод с перфокарт первичной геологической информации, ее корректировка и формирование файла JNGEOL, осуществляют программы ZAPSPR, ZAP и KOOR. Формирование горно-геометрической информации осуществляет программа ANAL (см. рис. 7.14).

Характеристика программ комплекса КВАРЦИТ-82

Таблица 7.8

Программы	Назначение	Входные данные	Выходные данные	Число операторов	Среднее время расчета на ЕС-1022, мин
ZAPSPR	Перезапись справочных данных с перфокарт на МД	Справочные данные: наименование месторождения, тип геологической выработки, число компонентов, код сортов руд и пород	Справочные данные на МД (МД)	32	10
ZAP	Контроль исходной информации по геологической выработке, формирование унифицированных записей	Справочные данные на МД (МД): координаты устья скважины, интервалы опробования, процентное содержание компонентов	Координаты средней точки каждой пробы, процентное содержание компонентов в ней на МД (МД)	682	3 (на 100 проб)
KOOR	Корректировка унифицированных записей по выработкам	Унифицированные записи по выработкам на МД (МД)	Номер удаляемой записи	143	1 (на 100 записей)
РЕСНСАТ	Печать номеров обработанных выработок	Номера обработанных выработок	Распечатка номеров обработанных выработок на АЦПУ	92	1,5

OBSET	Формирование области моделирования в виде объемной сетки; запись значений количественных и качественных показателей проб в узлы сетки	Координаты объемной области моделирования, координаты и качественные показатели проб	Файл обменной области моделирования, файл координат области моделирования по трем осям	675	5-7 (на разнесение 1000 проб)
PINTER	Выделение из общей области блока интерполяции в виде прямоугольного параллелепипеда	Координаты начала и конца выделяемого блока по осям координат, значения радиусов влияния	Координаты блока интерполяции на МД	400	Зависит от числа узлов сетки и числа компонентов
INLAPLM	Интерполяция и экстраполяция геологических параметров в пределах сформированной области	Численные значения точности расчета, число циклов интерполяции	Блок интерполяции на МД	601	Зависит от числа узлов и компонентов
VOSTM	Восстановление объемной математической модели месторождения	Блок интерполяции, данные с погоризонтных планов и разрезов	Объемная модель месторождения на МЛ (МД)	743	То же
ANAL	Контроль геометрической формы и взаимного расположения контуров карьера на смежных горизонтах	Координаты точек контуров и номера горизонтов	Координаты контуров карьера, записанные на МЛ (МД)	226	0,3
POSK	Моделирование рабочих зоны и контуров карьера	Координаты точек дна карьера, значения параметров системы разработки	Координаты точек контура карьера и линии фронта горных работ на горизонте на МЛ (МД)	1106	1 (на горизонт)

Программы	Назначение	Входные данные	Выходные данные	Число операторов	Среднее время расчета на ЕС-1022, мин
АМОД	Выделение из объемной модели месторождения ее части, находящейся внутри заданного контура; выделение блока произвольного объема	Координаты точек контура, номера горизонтов	Часть математической модели	142	2 (на горизонт)
BAILOR	Выполнение горно-геометрических расчетов	Математическая модель месторождения и карьера	Объемы руды и породы по месторождению, в выделенном блоке, по отдельным горизонтам, с начала отработки и т. д.	1023	Зависит от характера решаемой задачи
GRAF	Отображение на АЦПУ горно-геометрической информации	Координаты точек контуров рудных тел, геологических блоков, контура карьера	Расчетка графиков на АЦПУ	210	0,5
SECHM	Выделение произвольного сечения из модели месторождения	Математическая модель месторождения	Расчетка на АЦПУ геологических параметров и их признаков	581	1,5

Построение математической модели месторождения выполняется тремя программами OBSET, PINTER и INLAPLM. Программа OBSET строит область математического моделирования в виде равномерной или неравномерной пространственной сетки узлов и производит первоначальное разнесение геологических данных из информационного файла JNGEOL. Далее программа PINTER осуществляет выделение блока из модели и формирование области интерполяции.

Поскольку интерполяцию имеет смысл проводить только в пределах рудного тела, вводится параметр радиуса влияния точки. Значение радиуса влияния точки, имеющей реальную геологическую информацию, по любой из оси координат задается проектировщиком в зависимости от геологической структуры месторождения. Программа INLAPLM производит интерполяцию в выделенном блоке. Предусмотрен вариант как объемной трехмерной интерполяции, так и двухмерной на плоскости. Функции корректировки значений параметров в некоторых точках области моделирования и введения ранее выделенного блока в математическую модель после завершения интерполяции выполняет программа VOSTM.

На основании данных информационного файла JNGKAR программа POSK осуществляет моделирование границ и рабочей зоны карьера.

На базе построенных моделей месторождения и карьера производятся горно-геометрические расчеты для подсчета объемов руды и породы по всему месторождению и в выделенном блоке, по отдельным горизонтам, а также с начала отработки месторождения. Расчет осуществляется программой BAILOP, которая позволяет определить 19 показателей.

7.7. Пакет прикладных программ ИГДАН-2 для горногеологического анализа на пластовых месторождениях

Пакет прикладных программ (ППП) предназначен для автоматизации горно-геометрических расчетов при проектировании угольных карьеров и обеспечивает информацией подсистему САПР-разрез.

Применим пакет для условий пластовых горизонтальных, пологих и наклонных месторождений, однобортowej системы разработки. Вынимаемые слои могут быть горизонтальными и наклонными. Число разрабатываемых пластов от одного до 11. Расчеты ведутся по

этапам отработки карьера, число которых допустимо до 49.

Вычислительная среда: ДОС, ОС любых версий. Технические средства: ЭВМ класса ЕС-1033 и более с объемом памяти не менее 512 Кбайт; накопители на МД — два комплекта емкостью по 29 Мбайт; АЦПУ, перфокарточный ввод; перфоратор; графопостроитель (планшетный, рулонный).

Рабочая программа пакета состоит из восьми книг с общим объемом 327 стр. Библиотека исходных модулей размещается на одном томе магнитной ленты. Перфокарты отсутствуют.

Программы построения профилей на графопостроитель и графиков распределения объемов разработаны в институте Сибгипрошахт, который является организацией-держателем программ по САПР-уголь.

Условия залегания горизонтальных и пологих угольных месторождений определяют специфику горно-геометрического анализа.

Большая длина месторождений по простиранию, прослеживающаяся иногда на десятки километров, и большое количество пластов вызывают необходимость решения таких задач, как раскройка месторождения на карьерные поля, обоснование порядка разработки карьера и др.

Карьерное поле зачастую разделяется на отдельные технологические зоны, имеющие самостоятельные системы транспортных коммуникаций и отрабатываемые различными структурами комплексной механизации. Например, верхние вскрышные уступы отрабатываются транспортной, а нижние — бестранспортной системами.

Для уменьшения потерь угля часто применяется выемка наклонными и пологими слоями по контакту с почвой и кровлей пластов.

Режимы работы ППП программы ИГДАН-2 — задачный и пакетный (рис. 7.15). В первом случае результаты решения отдельных задач выводятся в виде таблиц на АЦПУ и не передаются в другие части подсистемы. При этом решаются следующие задачи.

1. Подготовка данных для анализа режима горных работ: распределение запасов полезного ископаемого по этапам отработки карьера по каждому пласту; общие запасы по каждому пласту; распределение объемов вскрыши по этапам над каждым пластом и суммарные по между-

пластьям и в целом; текущие коэффициенты вскрыши над каждым пластом по этапам и в целом по рабочей зоне за каждый этап; запасы нарастающим итогом от этапа к этапу по каждому пласту и суммарные по всем пластам; объемы вскрыши нарастающим итогом от эта-



Рис. 7.15. Пакет ИГДАН-2 в подсистеме САПР-разрез

па к этапу по всем вскрышным технологическим зонам, средний коэффициент вскрыши на каждый этап отработки карьера в целом по рабочей зоне и по каждой технологической зоне.

2. Вычисление геологических запасов с их разновидностью по качеству полезного ископаемого.

3. Вычисление длин фронта работ по этапам для каждого вскрышного и добычного уступа по технологическим зонам.

4. Вычисление поуступного распределения вскрыши и полезного ископаемого по каждому этапу и суммарных объемов вскрыши и полезного ископаемого на горизонтах и слоях и др.

Получение данных по каждой из перечисленных задач выполняется по требованию, т. е. решаются не все перечисленные задачи одновременно, а любая из них отдельно.

Каждая задача предусматривает получение таблиц, которые используются в документах или приложениях к записке проекта.

Кроме табличных данных по результатам вычислений строятся на графопостроителе положения горных работ на профилях по всем этапам отработки карьера для заданных систем разработки и их параметров; вычерчиваются графики режима горных работ и другие.

Работа пакета в качестве составной части подсистемы отличается тем, что результаты вычислений (порядка 40 различных массивов) не выдаются специально на печать (возможна только выдача для контроля), а записываются на магнитный диск в обусловленном порядке согласно требованиям других пакетов.

При этом решаются задачи:

обоснования интенсивности обработки карьерного поля конкретным типом комплексной механизации и календарного планирования (ППП программы «Интенсивность»);

вычисления вместимости внутренних и приконтурных отвалов (ППП программы ИГДАН-3).

Информационное обеспечение пакета включает:

геолого-геометрическую информацию, отражающую пространственное расположение формообразующих элементов и качественных компонент полезного ископаемого и вмещающих пород;

информацию о технологических параметрах различных систем разработки, граничных и промежуточных контурах карьера.

Структурно-информационное обеспечение имеет два информационно-независимых раздела: геолого-геометрический, горно-технический. Геолого-геометрический раздел содержит плоскостно-координатную модель месторождения. Горно-технический раздел содержит информацию, которая отражает варианты технических проектных решений и в процессе проектирования реорганизуется. Назначение этого раздела — описать в формализованном виде вариант технического решения, на основании которого в ЭВМ по модели месторождения создается модель карьера и вычисляются необходимые параметры для горно-геометрического анализа.

Формирование первого раздела производится программой GGRZ1, которая создает в памяти ЭВМ модель месторождения, выполняя следующие операции:

ввод данных и структурно-логический их контроль;

преобразование данных к единому виду в соответствии с требованиями модели месторождения;

запись данных на магнитный диск в файле прямого доступа.

Минимальный объем вводимой информации составляют данные по одному УГП (см. раздел 6.5), максимальный — данные по всем УГП месторождения. Име-

ется пассивная защита данных. Шифром, открывающим доступ к записи (чтению) информации, является имя месторождения.

Формирование второго раздела информационного обеспечения выполняется программой GGRZ2. Назначение программы сводится к организации данных для расчета горно-геометрических характеристик карьера и моделирования процесса его развития при заданных параметрах варианта модели карьера.

После ввода любого массива выполняется структурный и логический анализ данных. В случае обнаружения ошибок выдается на АЦПУ сообщение о месте и причине их возникновения. Массив, воспринятый без ошибок, записывается в файл прямого доступа. Одновременно выполняется отметка в «диспетчерском массиве» о факте записи.

Такая организация ввода и хранения данных позволяет легко осуществлять расчеты по вариантам. Например, повторяя ввод данных о параметрах систем разработки (массив ГТИ-3) при неизменных данных по всем другим массивам, можно проводить анализ по обоснованию оптимального взаиморасположения технологических зон в рабочем пространстве карьера в процессе разработки месторождения.

Изменение любого параметра в массиве, а не только отдельного массива в целом, практически означает формирование нового варианта модели карьера.

Пример. Рассмотрим порядок подготовки информации о параметрах систем разработки (массив ГТИ-3). Предположим, что месторождение представлено парой пологих пластов. Мощность верхнего пласта (пласт № 1) колеблется в пределах $12 \div 20$ м; мощность пласта № 2 — $9 \div 15$ м. Предлагается (как вариант расчета) разработку вскрыши над верхним пластом производить горизонтальными слоями (рис. 7.16) с заданными высотами уступов (см. высотные отметки у оси Oz). Пласт № 1 предполагается вынимать одним уступом (пологим слоем), высота которого может достигать в местах наибольшей мощности 20 м. Разработка породы между пластами осуществляется двумя наклонными слоями. При этом высота первого уступа — 20 м, а второй вышерасположенный уступ будет иметь переменную высоту, зависящую от мощности междупластья. В местах максимальной мощности высота уступа может достигать 25 м. Рабочая площадка на наклонном уступе имеет уклон 4° . Пласт № 2, как и пласт № 1, будет выниматься одним наклонным слоем с максимальной высотой до 15 м. Для формализованной записи варианта необходимо записать в макет ГТИ-3 границы технологических зон и параметры системы в каждой зоне. В соответствии с предлагаемым решением по отработке месторождения в данном примере формируются четыре технологические зоны:

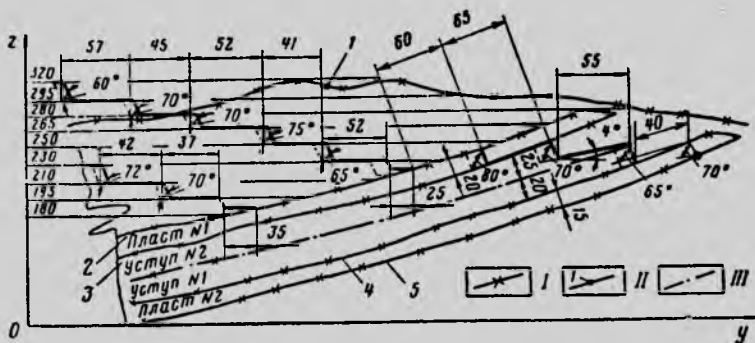


Рис. 7.16. Поперечный геологический разрез (УГП) с информацией о параметрах системы разработки:

I — парные точки на модели профиля по разделительным линиям; II — номера разделительных линий; III — граница наклонных уступов в между-пластье; 1—4 — технологические зоны

1 — горизонтальные слои над верхним пластом (граница 1—2, где 1, 2 разделительные линии на профиле, означающие: 1 — линию рельефа дневной поверхности; 2 — линию кровли верхнего пласта);

2 — наклонный слой по первому пласту (зона между линиями 2—3, где 3 — линия почвы первого пласта);

3 — наклонные слои в зоне между пластами (зона между линиями 3—4, где 4 — кровля второго пласта);

4 — наклонный слой по второму пласту (зона между линиями 4—5, где 5 — почва второго пласта).

Параметры систем разработки определены согласно предполагаемым структурам комплексной механизации и указаны на рис. 7.16.

Для формализованной записи данных по вариантам систем разработки составлена специальная форма макета. В качестве примера в табл. 7.9 показана запись предполагаемого варианта системы разработки месторождения. Все значения параметров приняты по рис. 7.16.

Таким образом, проектировщику предоставлена возможность записать любой вариант системы разработки с указанием параметров в каждой технологической зоне.

Программное обеспечение горно-геометрических расчетов пакета ИГДАН-2 построено по модульному принципу и включает программы:

выполнения отдельных операций при решении геометрических задач;

формирования модели карьера и моделирования динамики перемещения рабочей зоны;

расчета основных параметров горно-геометрического анализа по данным моделирования;

сервисные и вспомогательные.

Параметры систем разработки в технологических зонах

Месторождение: условное										Выполнил:		Макет ГТИ-3	Вариант № к
Транспортная система с горизонтальными уступами													
техно-логическая зона	высот-ные отметки горн-зонтов, м	ширина рабочей площадки, м	ширина раз-резной траншеи, м	угол откоса уступа, градус	опере-жение фронта, м	техно-логическая зона		номер уступа, м	высота уступа, м	ширина рабочей площадки, м	угол наклона рабочей площадки, градус	угол откоса уступа, градус	опереже-ние фронта, м
						Верх	Низ						
1	2	320	0	0	0	2	3	1	20	65	4	90	0
		295	57	60	60	3	4	1	20	40	4	65	0
		280	45	70	60			2	25	65	4	70	65
		265	52	70	60	4	5	1	15	40	4	70	0
		250	47	75	60								
		230	52	65	60								
		210	42	72	60								
		195	37	70	60								
		180	50	60	60								

Весь комплекс модулей функционирует под управлением организующей (управляющей) программы. Программа формирования границ карьера GGRZ3 выделена в самостоятельную задачу в связи с необходимостью раскройки месторождения на карьерные поля. Задача решается перебором мест расположений карьера по площади месторождения.

Характеристики основных программ ППП ИГДАН-2 представлены в табл. 7.10. Программное обеспечение написано на языке ФОРТРАН-IV. Часть модулей управляющей программы написана на языке АССЕМБЛЕР.

Порядок работы с пакетом ППП ИГДАН-2 благодаря наличию управляющей программы не требует специальной квалификации в области программирования. Оператору предоставлена возможность использовать пакет в трех режимах: начального счета, повторного счета и продолжения прерванных расчетов.

В режиме начального счета оператор вначале ставит перфокарту с именем месторождения и общими данными о месторождении (максимальное число пластов и УГП). По этим данным по специальной программе производится инициализация магнитного диска под информационное обеспечение для месторождения. Затем ставится перфокарта с именем задания, которое необходимо выполнить, после чего на консоли (печатающая машина или дисплей) появляется вопрос: «Будете вводить геологическую информацию?» При ответе «Да» управляющая программа загружает в ОЗУ программу ввода геологической информации и затем задает вопрос: «Будете вводить ГТИ?» (горно-техническую информацию). При положительном ответе «Да» — производит ввод, контроль и запись на магнитный диск (МД).

При нормальном завершении ввода управляющая программа анализирует достаточность введенной информации для выполнения задания и организует его выполнение. При этом выдается сообщение: «Выполняется задание № k », где k — номер задания. Если введенной информации недостаточно, то управляющая программа сообщает наименование недостающей информации и выдается, например, запрос: «Будете вводить ГТИ № n », где n — номер массива. При положительном ответе «Да» организуется пауза, используемая для ввода. Если информация для ввода не подготовлена (ответ «Нет»),

Характеристики основных программ ППП ИГДАН-2

Программы	Назначение программы (модуля)	Входные данные	Выходные данные	Среднее время счета, мин
Основные программы				
GGRZ1	Ввод, контроль и формирование модели месторождения на МД	Информация по УГП на перфокартах (W'_1)	Модель месторождения (W_1) на МД, диспетчерский массив (D)	$\frac{30 + 5n}{60} N$
GGRZ2	Ввод, контроль и запись горно-технической информации	Информация по массивам на перфокартах (W'_2)	Массивы на МД (W_2), диспетчерский массив (D)	$2 \div 3$
GGRZ3	Формирование границ карьера по флангам	Данные на перфокarte (W'_3)	Массив на МД (W_3)	1
GGRZ4	Вычисление координат рабочих бортов по технологическим зонам и этапам на вертикальных разрезах	W'_1, W'_2, W'_3	Координаты рабочего борта на каждом УГП (W_4)	$\frac{40 + 70\kappa}{60} N$
GGRZ5	Программа вычисления площадей на УГП между смежными положениями рабочих бортов по этапам	W'_1, W'_2, W'_3, W'_4	Площади (W_5), координаты центра тяжести площадей (W_6)	$\frac{35 + 40\kappa}{60} N$
GGRZ6	Программа вычисления длин фронта работ	W'_1, W'_4	Длины фронта по этапам (W_7)	$\frac{20 + 8\kappa}{60} N$
GGRZ7	Программа расчета потерь и разубоживания	W'_1, W'_2, W'_5	Теряемые объемы (W_8) Объем породы в угле (W_9)	$\frac{25 + 35n}{60} N$

Продолжение табл. 7.10

Программы	Назначение программы (модуля)	Входные данные	Выходные данные	Среднее время счета, мин
GGRZ8	Программа вычисления объемов вскрыши и угля между каждой парой смежных УГП по всем уступам	W_1, W_5, W_6	Объем вскрыши (W_{10}) и полезного ископаемого (W_{11})	$\frac{50 + 60\kappa}{60} N$
GGRZ9	Решение задачи подготовки данных для анализа режима горных работ в заданных границах карьерного поля	W_{10}, W_{11}	Печать таблиц	$\frac{70 + 40\lambda}{60}$
GGRZ10	Расчет геологических запасов в заданных границах карьерного поля	W_{11}	То же	$\frac{20 + 40\lambda}{60}$
GGRZ11	Расчет промышленных запасов	W_{11}, W_8, W_9	"	$\frac{20 + 40\lambda}{60}$
GGRZ12	Печать таблиц длины фронта работ по уступам, этапам и технологическим зонам	W_7	"	$\frac{30 + 30\kappa}{60}$
GGRZ13	Вычисление поуступного распределения вскрыши и полезного ископаемого	W_{10}, W_{11}	"	$\frac{40 + 35\kappa}{60}$
GGRZ14	Подготовка информации для других ППП подсистемы	$W_1, W_2, W_4, W_7, W_{10}, W_{11}$	Запись на МД 30-н массов	$\frac{300 + 70\kappa}{60}$
GGR	Управляющая программа	D , информация по заданию	Собщение оператору (диалог)	

Примечания: λ — число пластов на месторождении; κ — число рабочих зон; N — число УГП.

управляющая программа снимает задание. Вся введенная информация сохраняется на диске.

Таким образом, в режиме начального счета должна вводиться вся необходимая информация. Например, для расчета данных при анализе режима горных работ должна вводиться вся геологическая информация в заданных границах поля карьера, а также весь перечень горно-технической информации. Для этого необходимо подготовить следующие пакеты перфокарт.

I — пакет задания, включающий: а) имя месторождения; б) директивную перфокарту (номер задания); в) информационные карты, указывающие, на каких участках карьера выполнить расчеты и в какой последовательности выдать результаты; г) карту с признаком /*, означающим конец задания.

II — пакеты карт с геологической информацией.

III — пакеты карт с горно-технической информацией.

В других режимах в отличие от начального не требуется операция по инициализации магнитного диска.

Режим продолжения счета может возникать в случае сбоя работы технических средств. Для возобновления счета на вводное устройство ставится пакет перфокарт с номером задания. Управляющая программа организует выполнение задания с той точки, на которой оно было ранее прервано. В режиме расчета очередного (нового) варианта организация работы несколько иная. Для расчетов по другому варианту требуется подготовить новый массив ГТИ-3, где необходимо записать новые параметры системы разработки.

Таким образом, предусмотренная трехрежимная работа программы комплекса полностью контролируется управляющей программой, упрощает работу с пакетом и ликвидирует контроль за прохождением задания со стороны программиста.

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ

8.1. Расчет параметров и показателей разрушения скальных пород взрывом на уступе карьера

Традиционное решение задачи расчета параметров и показателей разрушения скальных пород взрывом осуществляется вручную. Но трудоемкость расчетов резко возрастает, когда требуется определить наивыгоднейшее сочетание параметров массового взрыва, обеспечивающее наиболее высокие технико-экономические показатели процесса разрушения и экскавации горных пород, например при применении различных моделей буровых станков и способов бурения взрывных скважин в сочетании с использованием различных типов ВВ. Учитывая различие в физико-механических свойствах пород, а также то, что для бурения скальных пород может быть использовано около 20 долот стандартных диаметров бурильных станков и более 20 типов различных промышленных ВВ, общее число возможных вариантов технических средств достигает порядка четырехсот. Подобный многовариантный расчет наиболее целесообразно проводить с помощью ЭВМ.

При этом решение возможно в пакетном и диалоговом режиме. Диалоговые программы, как правило, имеют более длительное время решения (на 15—20 %), чем программы пакетной обработки данных, но и имеют перед последними ряд преимуществ: возможность гибкого решения задачи с участием технолога и получения оптимального результата, контроль вводимой информации и ее корректировка, диагностирование, протоколирование хода расчетов и наглядность решения.

Программа расчета параметров массового взрыва является характерным примером решения задачи на ЭВМ в диалоговом режиме. Программа написана для микро-ЭВМ МЕРА-60 (на базе процессора «Электроника-60») в интерпретирующей системе BASIC—RT/60.

На рис. 8.1 приведена укрупненная блок-схема диалогового решения задачи.

Целью вычислений является расчет параметров шахматной (или квадратной) сетки скважин на блоке уступа заданной конфигурации с получением требуемой степени дробления горной массы и ее развала.

Расчет производится для пород II—IV категорий взрываемости исходя из предположения, что объем сква-

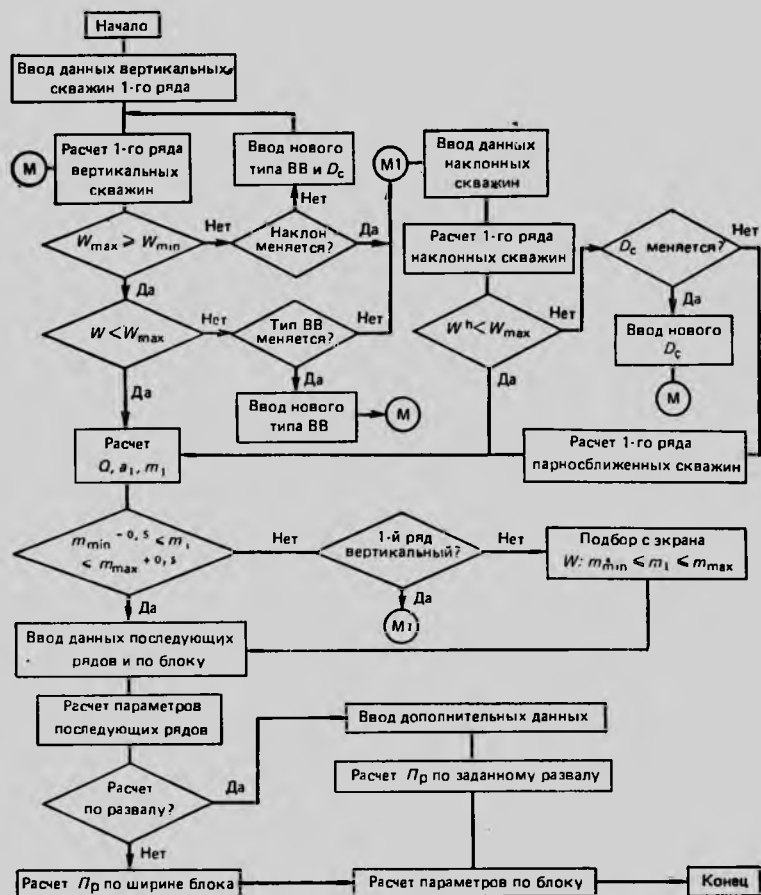


Рис. 8.1. Укрупненная блок-схема программы расчета параметров массового взрыва

жин максимально используется для размещения ВВ (сплошной скважинный заряд, короткозамедленный взрыв).

Входными данными программы являются физико-механические свойства разрушаемых пород, объемный вес, предел прочности на сжатие, растяжение и сдвиг, трещиноватость массива; характеристики применяемых ВВ, бурильных станков; требуемый средний диаметр куска и коэффициенты относительного сближения скважинных зарядов.

Решение начинается с вычисления параметров сетки вертикальных скважинных зарядов; в процессе расчета варьируют: тип скважин по первому ряду — вертикальные, наклонные, парносближенные, тип ВВ и диаметр скважины D_c . Построение 1-го ряда такой сетки контролируется проверкой рассчитанного значения линии сопротивления по подошве (W) на предельно допустимые значения $W_{\min}$, определяемые по условию безопасности установки бурового оборудования, и $W_{\max}$ определяемые по условию прорыва почвы уступа. Приоритет принимаемых решений зависит от конкретно сложившейся ситуации. Результаты расчетов, анализа и рекомендуемые действия диагностируются на экране для принятия решения. При удовлетворительном результате определяются заряд в скважине Q , расстояние между скважинами a_1 и коэффициент относительного сближения скважин m_1 . Рассчитанное значение m_1 проверяется на предельно допустимые введенные $m_{\min}$ и $m_{\max}$. В случае невыполнения ограничений возможен пошаговый подбор наилучшего соотношения $m_1 = a_1/W$ путем изменения линии сопротивления по почве уступа от $W_{\min}$ до $W_{\max}$.

Для расчета параметров по блоку в целом вводится дополнительная информация и проводится диагностируемый дальнейший расчет. При этом по усмотрению исполнителя определение числа рядов в блоке n_p производится по заданной ширине развала в случае, если взрывание происходит в стесненных условиях либо по объему взрываваемого блока.

Всего в процессе решения программой предусматривается около 40 диагностируемых сообщений, из них 10 требуют ввода информации, 8 — принятия решения по ходу вычислений. Для каждого конкретного варианта расчета выводимая информация индивидуальна по объему и содержанию.

Результаты расчета, как и протокол вычислений, выводятся на дисплейный экран и широкую печать. Далее приводится итоговая таблица контрольного расчета параметров и показателей — разрушения пород взрывом на уступе карьера:

Сетка расположения скважин	Шахматная
Короткозамедленное взрывание	Сплошной заряд
Скважины 1-го ряда	Наклонные
Угол наклона, градус	60
Параметры 1-го ряда:	
длина забойки, м	6,2
величина перебура, м	2,5
глубина скважины, м	18,6
сопротивление по почве, м	6,8
удельный расход ВВ ряда, кг/м ³	0,81
Параметры последующих рядов:	
глубина скважины, м	18
расстояние между скважинами, м	8,3
коэффициент сближения скважин	1,2
расстояние между рядами, м	6,6
Параметры по блоку:	
ширина буровой заходки, м	20
число рядов скважин	3
время замедления, м/с	25
число скважин в блоке	86
общий заряд ВВ, кг	28 300
общая длина скважин, м	123,3
удельный выход горной массы, м ³ /м	44,3

Длительность расчета по программе зависит от уровня подготовленности пользователя, сложности поставленной задачи и равна 7—15 мин. Длина программы составляет 400 строк BASIC, общий объем занимаемой памяти 37 256 байтовых блоков.

8.2. Оптимизация параметров внешнего железнодорожного отвала и его календарного плана

Отвал представляет собой насыпь, формируемую в процессе эксплуатации карьера из пустых пород и некондиционных полезных ископаемых в пределах специально выделенного для этой цели участка горного отвода. Как геометрический объект, отвал — тело неправильной формы, размеры которого в плане могут достигать четырех и более километров, высота 100—120 м в равнинной местности и до 500 м на склонах гор.

Проектирование и планирование отвала и отвальных работ включает:

1. Обоснование параметров отвала (высоты яруса и отвала величины и площади основания отвала, положения пионерных насыпей ярусов).

2. Выбор модели отвальной машины.

3. Выбор направления развития и порядка формирования отвала в плане и по высоте.

Эти оптимизационные задачи тесно взаимосвязаны, поэтому необходим совместный подход к их решению с использованием общего критерия, в качестве которого приняты суммарные затраты, связанные с отвалообразованием за весь период эксплуатации отвала, приведенные к одному моменту оценки. В качестве ограничений выступают плановые, законодательные и нормативные факторы (необходимость выполнения заданного календарного графика складирования пород, установленных темпов изъятия и рекультивации земель).

Совместное решение задач осуществляется методом поэтапной оценки и отбора технологически возможных вариантов.

В начале задается n вариантов конструкций отвала, каждая из которых характеризуется размерами отвала в плане и по высоте, высотой яруса, длиной панели и другими параметрами, в том числе определяемыми моделью отвальной машины для данного варианта. Таким образом, каждый из вариантов одновременно характеризует и оцениваемую конструкцию, и оцениваемую модель отвальной машины.

В каждом из принятых на первом этапе вариантов конструкции отвала принимается m вариантов формирования отвала, каждый из которых характеризуется сроком ввода в эксплуатацию второго и последующих ярусов.

Затем принятые к оценке $N = nm$ варианты подвергают проверке на ограничения, в результате чего для экономической оценки остается N' вариантов, из числа которых и определяется оптимальный, отвечающий принятому критерию.

Решение задач осуществляется на ЭВМ с применением трех прикладных программ. На первом этапе для каждой из заданных конструкций отвала с помощью ЭВМ строится блочная математическая модель отвала. Модель отвала представляет собой формализованное

описание геометрических характеристик отвала и его структурных элементов.

Структурными элементами отвала являются: ярус, панель (часть яруса, ограниченная его контурами, пионерной насыпью и условными линиями разделения соседних участков работ), отвальная заходка. Объем яруса достигает 100—200 млн. м³, панели 30—40 млн. м³, заходки от 0,1 до 2 млн. м³. Число ярусов в отвале до 6, панелей на ярусе до 6, заходов в панели до 100. Отвальная заходка — наименьшая элементарная структурная составляющая отвала (элементарный блок модели отвала).

В блочной модели структура и геометрия отвала описываются как совокупность признаков элементарных блоков, положение которых в теле отвала каким-либо образом закреплено (координатами характерных точек блоков или нумерацией).

Для построения математической модели отвала необходимо задать:

предельно допустимое положение контуров верхних бровок ярусов на топографическом плане местности Q_k ;

контур пионерных насыпей $P_{ок}$;

контур панели или линий разделения ярусов на панели L_{jk} ;

высоты ярусов $h_1, h_2, \dots, h_k$;

углы откоса ярусов α ;

ширину элементарного блока A , определяемую параметрами отвальной машины;

среднее значение величины уклона заезда на ярусы $i_{ср}$;

коэффициент остаточного разрыхления пород k_p .

Вся контурная информация задается координатами характерных точек в принятой системе координат.

На рис. 8.2 показан пример модели железнодорожного отвала на косогоре. Число ярусов отвала — 2, панелей на 1-м ярусе — 2, на 2-м ярусе — 1. Число блоков на I панели 1-го яруса — 16, на II панели 1-го яруса — 14, I панели 2-го яруса — 12.

Пионерная насыпь каждого яруса соответствует нулевому блоку. Контур верхней поверхности пионерной насыпи 2-го яруса образуется характерными точками $C_1, C_2, \dots$. Контур верхней бровки 1-го яруса образуется линией Q_1 , 2-го — Q_2 . На рис. 8.2 выделен контур верхней поверхности I панели 1-го яруса, образуемый замкнутой

линией с оконтуривающими точками $A_1, A_2, \dots, A_n$. Условная линия разделения панелей L_{11} — часть контура панели (видны три точки этой линии: A_{15}, A_{16}, A_{17}). На всем протяжении точки контура панели совпадают с не

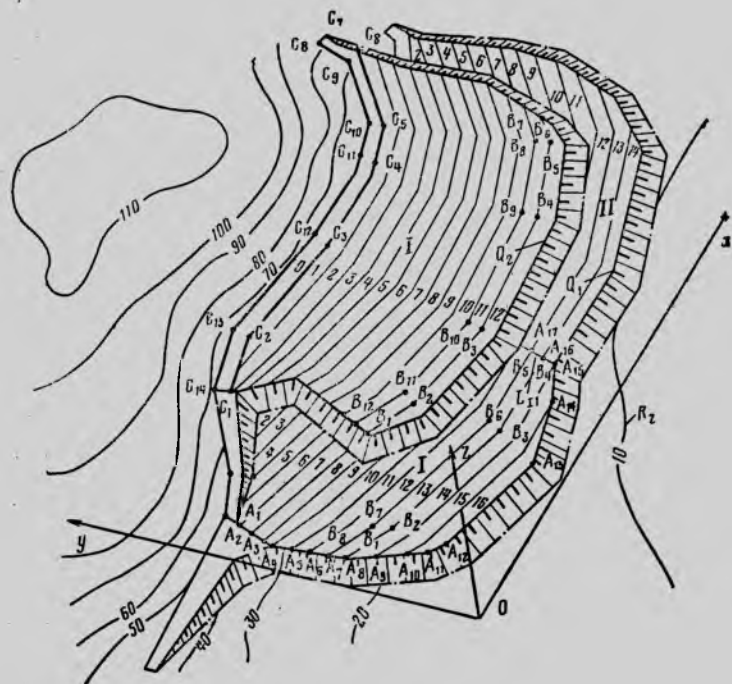


Рис. 8.2. Блочная модель отвала:

I, II — панели; $1, 2, \dots, 16$ — блоки

которыми точками, оконтуривающими элементарные блоки. Контур верхней поверхности блоков показан на примере контура 13-го блока I панели 1-го яруса образуемого точками $B_1, B_2, \dots, B_8$, контура 11 блока I панели 2-го яруса, образуемого точками $B_1, B_2, \dots, B_{12}$.

При железнодорожном транспорте можно допустить, что ширина заходки (блока) постоянная, а контуры блоков образуются параллельными переносами друг относительно друга с шагом, равным A . Поэтому координаты характерных точек контуров верхней поверхности блоков не задаются, а автоматически определяются

в процессе построения математической модели отвала.

В результате расчетов на I этапе производится разбиение панелей и ярусов отвала на блоки. Кроме того, по координатам характерных точек определяются:

длина каждого блока и расстояния транспортирования от отвальной станции до его начала l_{ijk} ;

площадь основания каждого блока S_{oijk} (для первого яруса совпадающей с площадью земельного отвода отчуждаемого заходкой);

объем каждого блока V_{ijk} ;

площадь поверхности каждого блока, подлежащая рекультивации S_{pijk} .

В ЭВМ вся контурная информация, включающая расчетные контуры верхних поверхностей блоков, представляется в виде кусочно-линейных функций, точки излома которых имеют координаты характерных точек, затем они интерполируются по высоте яруса под углом к горизонтальной плоскости, равным углу откоса яруса до пересечения с рельефом местности или поверхностью нижележащего яруса.

Предположим, в результате интерполяции контура верхней поверхности i -го блока j -й панели k -го яруса при пересечении с нижележащей поверхностью получен контур с характерными точками $b=1, 2, \dots, m$, тогда

$$S_{oijk} = \frac{1}{2} \left| \sum_{b=1}^m (x_{b+1}y_b - x_by_{b+1}) \right|, \quad (8.1)$$

где $x_b, y_b, x_{b+1}, y_{b+1}$ — координаты точек b и $b+1$. Подобным же образом рассчитывается S_{pijk} .

В простейшем случае, когда нижележащая поверхность близка к горизонтальной плоскости (равнинный рельеф местности), объем каждого блока будет

$$V_{ijk} = S_{oijk}h_k, \quad (8.2)$$

где h_k — высота k -го яруса.

Объем отвала $V = \sum_{k=1}^J \sum_{j=1}^J \sum_{i=0}^I V_{ijk}$. Площадь горного

отвода, отчуждаемая первым ярусом отвала,

$$S_0 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=0}^I S_{oi/j1}.$$

Площадь поверхности отвала, подлежащая рекультивации,

$$S_p = \sum_{k=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{t=0}^I S_{pt/jk}.$$

Таким образом, на I этапе получают n вариантов моделей отвала, каждая из которых характеризуется совокупностью зафиксированных в пространстве блоков с определенными геометрическими характеристиками, полученными в результате построений и расчетов для принятых параметров отвала, положений пионерных насыпей (конструкции отвала).

На II этапе для каждой из рассматриваемых n конструкций отвала при заданной модели отвальной машины производится отбор технологически осуществимых и удовлетворяющих накладываемым ограничениям N' вариантов формирования отвала, т. е. вариантов ежегодного положения ярусов отвала в плане и по высоте. Формально для каждой модели отвала производятся перебор и оценка на выполнение ограничений различных вариантов интенсивности набора блоков на каждой панели каждого яруса и интенсивности ввода ярусов в действие.

Ввод в действие 2-го и последующих ярусов задается 2-м, 3-м, 4-м и т. д. годом эксплуатации отвала. Время ввода ярусов в действие обозначено функцией номера яруса $t = G(k)$. Ежегодное положение отвала в плане характеризуется номерами последних блоков, отсыпанных на каждой панели, каждого яруса на конец каждого года. Номер последнего блока i обозначен функцией номера панели j , номера яруса k и года эксплуатации отвала $t - i = W(j, k, t)$.

Исходными данными для отбора N' вариантов формирования отвала являются результаты первого этапа. Кроме того, списком и в табличной форме задаются: техническая производительность отвальной машины P , коэффициент, учитывающий все простои, за исключением связанных с транспортом $k_{пр}$;

вместимость транспортных средств V_c , коэффициент, учитывающий неравномерность подачи транспортных средств k_n , скорости движения транспортных средств u_1, u_2 ;

продолжительность $t_{см}$ и число рабочих смен в году $T_{год}$;

календарный график поступления на отвал вскрышных пород $V(t)$ в форме таблицы с указанием ежегодных объемов V_i ;

календарный график предоставления площадей под отвал $S_o(t)$ в табличной форме с указанием площади, которая может быть занята отвалом на конец каждого года $S_{otпл}$;

календарный график выполнения рекультивационных работ $S_p(t)$ в табличной форме с указанием площади, которая должна быть рекультивирована на конец каждого года $S_{ptпл}$;

предельно допустимый объем выброса пыли в год $Q_{п.д.в.}$;

минимально допустимая ширина рабочей площадки каждого яруса B_{kmin} ;

m (3 — 10) вариантов времени ввода ярусов в действие, т. е. вариантов $t = G(k)$.

Промежуточными расчетными данными второго этапа являются:

продолжительность отсыпки каждого блока T_{ijk} ;

ежегодная приемная способность каждой панели P_{ikt} ,

каждого яруса P_{kt} , отвала P_t , $P_{ikt} = \sum_{i=MW(j,k,t-1)}^{MW(j,k,t)} V_{ijk}$, где $MW(j, k, t)$ — максимально возможный номер последнего блока, $i = MW(j, k, t)$ определяется из условия

$$T_{год} - \sum_{i=MW(j,k,t-1)}^{MW(j,k,t)} T_{ijk} \rightarrow 0 \text{ при } MW(j, k, t) \rightarrow \infty$$

$$P_{kt} = \sum_{j=1}^J P_{jkt}, \quad P_t = \sum_{k=1}^k P_{kt};$$

площадь, занятая отвалом на конец каждого года

$$S_{ot} = \sum_{j=1}^J \sum_{i=W(j,k,t-1)}^{W(j,k,t)} S_{otj1};$$

площадь поверхности отвала, которая может быть рекультивирована на конец каждого года

$$S_{pt} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=W(j,k,t-1)}^{W(j,k,t)} S_{pijk}.$$

Фактическая ширина площадки на каждом ярусе на конец каждого года $B_{kt} = [W(j, k, t) - W(j, k + 1, \times t)] A \pm C$, где C — величина первоначального смещения пионерных насыпей друг относительно друга;

ежегодный объем выброса пыли отвалом Q_t ;

суммарное расстояние транспортирования до блоков в t -й год

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=W(j,k,t-1)}^{W(j,k,t)} l_{ijk}.$$

Конечные результаты расчетов второго этапа могут быть выданы на АЦПУ в табличной форме по каждому из N' вариантов формирования отвала с заданным временем ввода ярусов в действие:

объемы работ на каждой панели V_{ikt} , каждом ярусе V_{kt} на каждый год;

номера последних блоков (заходов), отсыпаемых на каждой панели каждого яруса на конец каждого года $i = W(j, k, t)$.

На третьем этапе N' набранных вариантов формирования отвала оцениваются по величине затрат, связанных с отвалообразованием. В качестве исходной информации используются результаты расчетов двух предшествующих этапов. Кроме того, дополнительно должны быть заданы удельные эксплуатационные и капитальные затраты на выполнение отдельных видов работ: прием и укладку пород отвальной машиной; транспортирование; строительство, текущее содержание и перемещение транспортных линий; освоение новых земель взамен изымаемых под отвал; рекультивацию поверхности отвала; для компенсации ущерба от выброса пыли. Задается также нормативный коэффициент приведения разновременных затрат E .

В результате расчетов, выполняемых комплексом программ на третьем этапе, машина выдает на печать по оптимальному варианту формирования отвала в табличной форме следующие данные:

ежегодную приемную способность панелей;

ежегодный объем складирования на каждой панели;

номера последних блоков, подлежащих складированию на каждой панели на конец каждого года;

ежегодные затраты, связанные с отвалообразованием.

Указанная выходная информация позволяет составить календарный план формирования отвала на весь период эксплуатации отвала — 25 и более лет, графически изображать планируемое ежегодное положение отвала.

Комплекс программ для выбора оптимального варианта формирования внешнего отвала написан на языке

PL/1. Принятая операционная система ОС. Продолжительность выполнения расчетов с использованием ЭВМ типа ЕС-1022, а также вручную приведена в табл. 8.1.

Т а б л и ц а 8.1

Продолжительность расчетов и подготовки исходных данных

Техническое средство	Этап	Программа	Число операторов	Подготовка исходных данных, ч	Продолжительность расчетов, ч
ЕС-1022	1-й	OTVAL	373	8—10	0,2—0,6
	2-й	VAR	370	0,5	0,2—1,2
	3-й	PRICE	242	1—2	0,1—0,3
	Итого		985	9,5—12,5	0,5—2,1
Вручную			—	5—6	100—300

Алгоритмом (рис. 8.3) предусмотрено распределение объемов работ по ярусам V_{kt} пропорционально их приемной способности P_{kt} . При известной величине V_{kt} объем работ на каждой панели V_{jkt} и фактическая минимальная ширина площадки между ярусами B_{kt} определяются положением (номером) последнего блока, отсыпаемого на конец каждого года $i = W(j, k, t)$, которое должно удовлетворять ограничениям, вводимым на ширину площади и объем работ на панели (блоки 12, 14, рис. 8.3). Без ущерба для точности выбора оптимального варианта формирования отвала продолжительность расчетов следующих после 16 блока (см. рис. 8.3) можно на порядок, а иногда и более сократить, если в алгоритм ввести условие первоочередной отсыпки блоков (заходок) ближе расположенных к въезду на ярусы (блок 16, рис. 8.3). Условие, содержащееся в этом блоке, позволяет для заданного варианта времени ввода ярусов в действие $t = G(k)$ выбрать единственный вариант ежегодного положения отвала в плане $i = W(j, k, t)$, причем согласно ограничениям (блоки 12, 14, рис. 8.3) этот вариант технологически осуществим. Условие блока 12 играет роль промежуточного критерия. Каждый вариант времени ввода ярусов в действие $t = G(k)$ и соответствующие

ему положения отвала в плане $i = W(j, k, t)$ проверяются на выполнение остальных ограничений (блоки 18, 20, 22, рис. 8.3). Далее производится расчет затрат.

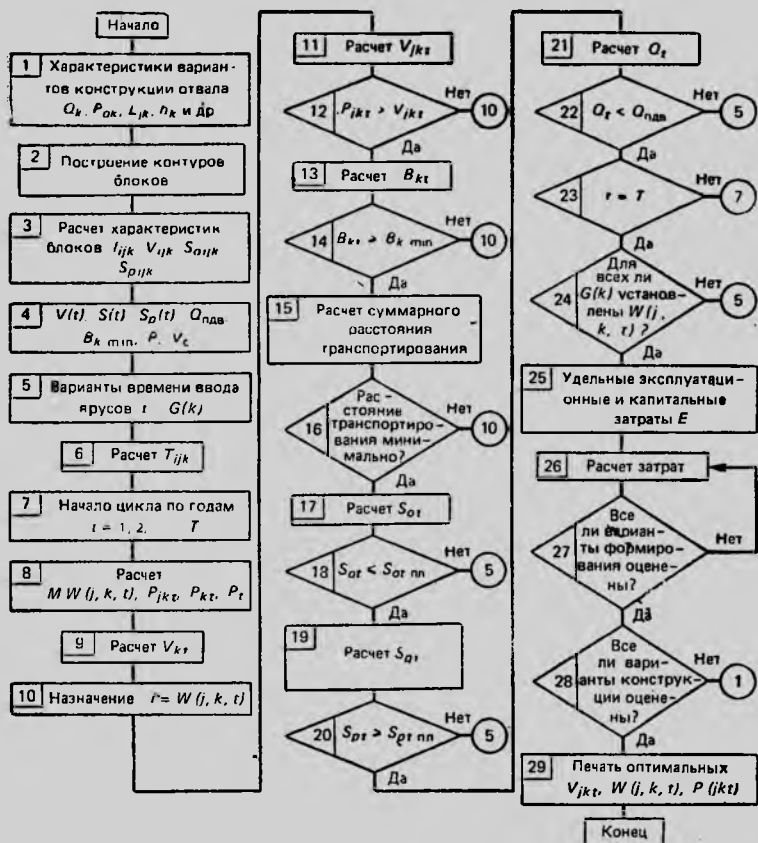


Рис. 8.3. Укрупненная блок-схема алгоритма оптимизации параметров и порядка формирования отвала

8.3. Автоматизированное проектирование систем временных автомобильных съездов в карьере

Система транспортных коммуникаций карьера, включающая временные автосъезды на нижние рабочие горизонты, имеет сложную конструкцию, развивающуюся вместе с горными работами. Конструкция этой системы

(схема вскрытия) существенно влияет на транспортные затраты и находится в тесной взаимосвязи с развитием горных работ в карьере.

Задача конструирования рациональной схемы вскрытия при проектировании, а также ее корректировка и развитие при ежегодном планировании горных работ решается вручную графически на планах карьера. Высокая трудоемкость этой работы и сжатые сроки обычно не позволяют рассматривать достаточно большое число вариантов и находить оптимальное решение.

Комплекс программ ОСВАС предназначен для расчета числа, местоположения и сроков переноса временных автомобильных съездов в рабочей зоне карьеров, использующих в качестве основного автомобильный транспорт, для оптимизации системы съездов при составлении квартальных, годовых и пятилетних (с разбивкой по годам) планов развития горных работ.

Проектирование оптимальной схемы вскрытия карьера заключается в совместной оптимизации как динамики контуров рабочей зоны карьера, так и его транспортных коммуникаций. При этом геометрия рабочей зоны формируется по заданному качеству руды с учетом ограничений по объему извлекаемой горной массы и направления понижения горных работ, при определении же положения и числа съездов минимизируются затраты на транспортирование горной массы и строительство съездов. Таким образом, получается многокритериальная задача, математическая постановка и решение которой далеко не однозначны. Обычно вначале производится раздельное решение этих двух частей задачи, а затем корректировка решения с учетом их связи. Такой подход соответствует традиционному процессу проектирования и планирования горных работ и позволяет учесть качественные факторы.

Расчеты реализуются поэтапно:

устанавливаются контуры рабочей зоны на горизонтах карьера на исследуемый период времени;

устанавливаются число и положение временных съездов на горизонтах с учетом их взаимосвязи на конец рассматриваемого отрезка времени;

корректируются контуры рабочей зоны и объемы горной массы на горизонтах исходя из необходимости размещения транспортных коммуникаций;

Исходными данными для расчетов являются:

контуры рабочей зоны на конец этапа (года, квартала, месяца), задаваемые координатами вершин многоугольников;

точки привязки системы временных съездов, а именно: постоянные съезды, перегрузочные пункты, выезды на отвал, задаваемые координатами точек на контурах;

параметры автосъездов: ширина (b , м), уклон (i , ‰) радиус поворота (R , м), признак типа дорожной одежды (P);

стоимостные показатели: стоимость транспортирования (руб.) и строительства съездов и поддержания автодорог (C_2).

Этапы вскрытия и соответственно периодичность изменения контуров задаются в зависимости от деятельности определения сроков службы съездов. Параметры C_1 и C_2 зависят от глубины ведения работ.

Основой для автоматизированного проектирования является математическая модель рабочей зоны карьера и системы съездов. Для отображения динамики рабочей зоны и ее корректировки используется метод задания точек контуров в полярной системе координат с дискретными углами и непрерывными радиусами (рис. 8.5, а). Для карьеров вытянутой формы используется модификация этого описания — композиция двух полярных и декартовой систем координат с общей осью (рис. 8.5, б), образующая модели соответственно полярную и биополярную.

Разбиение карьера на блоки характеризуется множеством радиусов подвигания горных работ в блоке

$$\{r_{ij} | t = 1, \dots, T; i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, j\}, \quad (8.2)$$

где t — номер этапа, i — номер горизонта, j — номер оси модели.

В частности, может быть $r_{ij} - r_{t-1j} = r_{ij+1} - r_{t-1j+1} = 0$, т. е. горные работы в j -м блоке приостановлены (блок неподвижен).

Полюсы моделей должны находиться внутри начального контура. Число осей может увеличиваться с номером этапа, но расстояния между точками деления контуров на средних горизонтах должны быть приблизительно одинаковыми и составлять примерно 100 м (половина средней длины съездов). Тогда с достаточной для расчетов точностью рабочую зону этапа можно представить как объединение блоков четырех- или треугольной

формы. Разбиение контуров, заданных в виде произвольных многоугольников, на блоки осуществляется автоматически.

При оптимизации месторождения и формы трасс съезды отождествляются с их проекцией на контур ра-

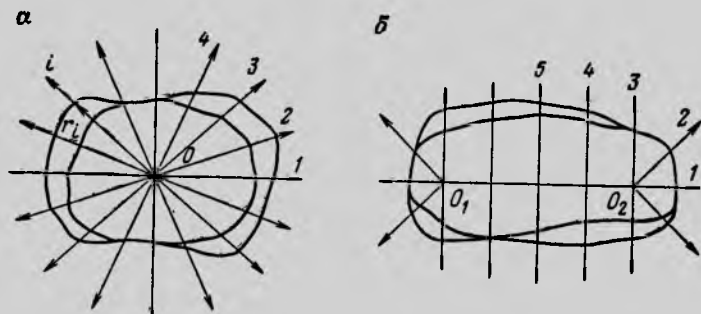


Рис. 8.5. Схема моделирования динамики рабочей зоны карьера: а — полярная модель; б — биполярная модель

бочей зоны (рис. 8.6, а). Положение съезда характеризуется расстоянием от его начала до первой оси модели. При детальном трассировании ось съезда представляет собой ломаную (рис. 8.6, б). При этом верхняя и нижняя бровки уступа карьера моделируются многоугольниками с попарно параллельными сторонами.

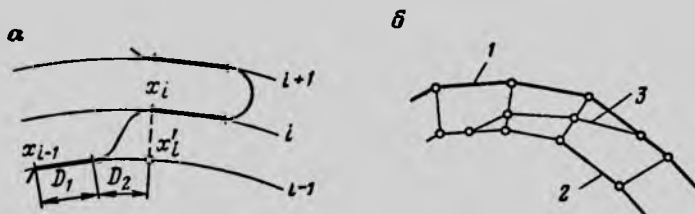


Рис. 8.6. Моделирование трассы автомобильных съездов в карьере: а — схема для определения местоположения съездов: $i+1$, i , $i-1$ — горизонты, x_i — точка въезда на i -й горизонт, x'_i — ее проекция на контур $(i-1)$ -го горизонта; б — детальное трассирование съездов: 1 — верхняя бровка; 2 — нижняя бровка; 3 — ось съезда

Для определения затрат на транспортирование горной массы находятся центры тяжести блоков S_{ij} и площади S_{tij} . Расстояние транспортирования блока l_{ij} измеряется вдоль линии, соединяющей центры тяжести блоков. Объем

горной массы в блоке вывозится к ближайшему съезду на горизонте.

Таким образом, вариант системы съездов на каждом этапе характеризуется величиной работы транспортных съездов (грузооборотом)

$$F_t(x_{tik}) = \sum_{i=1}^I Q_i L_i = \sum_{i=1}^I h_i \sum_{j=1}^J S_{tij} l_{tij}, \quad (8.3)$$

где Q_i , L_i — соответственно объемы горной массы (тыс. т) и средневзвешенное расстояние транспортирования (км) и i -го горизонта рабочей зоны карьера; x_{tik} — положение k -го съезда на i -м горизонте t -го этапа ($k = 1, \dots, k$) с h_i — высота i -го уступа.

Если блок содержит съезд, действующий также в следующем этапе, то рабочая зона корректируется: блок, содержащий съезд, полагается неподвижным, а его объем распределяется на другие блоки либо равномерно, либо пропорционально радиусу r_{tij} подвигания горных работ в блоке. Радиусы подвигания блоков изменяются так, чтобы выполнялось соотношение

$$r_{tij} - r_{ti-1j} \geq B_{\min}, \quad (8.4)$$

где $B_{\min}$ — минимальная ширина рабочей площадки.

Оптимизация местоположения временных съездов производится для каждого этапа по критерию минимума величины грузооборота

$$F_t(x_{tik}) \rightarrow \min. \quad (8.5)$$

При этом положение съездов предыдущего этапа, срок действия которых не кончился, фиксируется.

Расстояние между точками въезда на соседние горизонты ограничено минимальной длиной проекции съезда (D_1) и площадки примыкания (D_2) на контур рабочей зоны. Введем признак направления поворота k -й трассы на i -м горизонте:

$$u_{tik} = \begin{cases} +1, & \text{при положительном направлении,} \\ -1, & \text{при отрицательном направлении.} \end{cases}$$

Тогда последнее условие можно записать неравенством

$$|x'_{tik} - x_{ti-1k}| \geq D_1 + 0,5 |u_{tik} + u_{ti-1k}| D_2, \quad (8.6)$$

где x'_{tik} — проекция точки въезда на i -й горизонт на контур $(i-1)$ -го горизонта (см. рис. 8.6, а).

Варианты с различным числом съездов и временем их службы сравниваются по критерию минимума суммарных затрат на транспортирование горной массы и строительство съездов

$$\sum_{t=1}^T (C_t F_t(x_{itk}) + C'_t N_t) (1 + E)^{-t} \rightarrow \min, \quad (8.7)$$

где C_t , C'_t — удельные затраты на транспортирование 1 т/км горной массы и строительства одного съезда соответственно; N_t — число съездов за рассматриваемый период времени; E — нормативный коэффициент приведения разновременных затрат.

Оптимизация числа съездов на горизонтах, а также времени их существования производится перебором допустимых вариантов.

Оптимальное местоположение съездов определяется по схеме метода динамического программирования. Начиная с верхнего горизонта устанавливаются зависимости оптимальных координат и направлений заездов от их значений на нижележащих горизонтах. Затем производится пересчет в обратном направлении.

Состав комплекса программ «Оптимизация системы временных автомобильных съездов в карьере» (ОСВАС) указан в табл. 8.2, взаимосвязь модулей изображена на рис. 8.7. Обмен данных между модулями осуществляется через магнитный диск.

В процессе расчетов формируется таблица оценки

Таблица 8.2

Оценка вариантов системы съездов

Функция модуля	Наименование модуля	Имя	Язык программирования
Моделирование	Модель рабочей зоны карьера	MORZ	PL/1
	Расчет грузооборота на горизонте	RAG	ФОРТРАН
	Корректировка рабочей зоны	KORZ	PL/1
Оптимизация	Оптимизация числа съездов	OKS	PL/1

Функция модуля	Наименование модуля	Имя	Язык программирования
	Оптимизация местоположения съездов	OMS	PL/1
Графическое отображение	Координатный расчет плана горных работ	KOP	PL/1
	Вывод плана на графопостроитель	GRAF	ФОРТРАН ГРАФОР

вариантов системы съездов, содержащая характеристики условий транспортирования по трассам для каждого горизонта (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Оценка варианта системы съездов

Характеристика	Горизонты, м					Итого по трассе
	212	227	242	...	317	
<i>L</i>	1880	1600	1340	...	680	
<i>Q</i>	550	1400	2450	...	557,95	
<i>LQ</i>	1034	2240	3283	...	379,4	14 605,16
<i>A</i>	83,89	252,9	355,02	...	289,67	1767,36
<i>LQ + A</i>	1117,89	2492,9	3638,02	...	669,07	16 372,52

Примечания: *L*—длина трассы, м; *Q*—объем горной массы на горизонте, перевозимой по данной трассе, тыс. м³; *A*—работы по транспортированию горной массы на горизонты, тыс. м³·км.

Визуальное представление рабочей зоны со съездами осуществляется на основе координат характерных точек плана горных работ. При наличии графопостроителя вычерчиваются погоризонтные и совмещенные планы горных работ для каждого этапа, в противном случае характерные точки чертежа, координаты которых выведены программой KOP на печать, наносятся на план и соединяются линиями. При этом достаточно изобразить верхнюю бровку уступов.

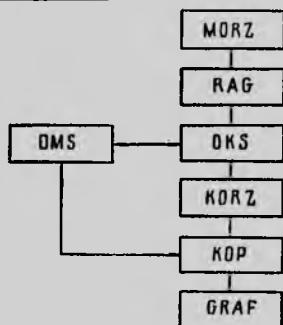


Рис. 8.7. Схема взаимосвязи комплекса программ «Оптимизация системы временных автомобильных съездов в карьере»

8.4. Комплекс программ ГГР-79 годового планирования развития горных работ в карьере

Комплекс программ ГГР-79 разработан для условий разработки сложноструктурных многокомпонентных крутопадающих и наклонных месторождений. Возможно моделирование практически любых систем разработки с вывозкой вскрышных пород во внешние отвалы с учетом следующих технических ограничений: производительность карьера и горной массы — до 100 млн.т/год, скорость понижения горных работ — 30 м/год, число рабочих горизонтов — до 20, число компонентов полезного ископаемого, содержание которых оптимизируется при расчете годовых контуров рабочей зоны, — 2.

Для оптимизации плана развития горных работ в карьере применена композиционная модель рабочей зоны (см. п. 6.8).

При расчетах анализируется подвигание горных работ с одновременным подсчетом объемов руды и вскрыши. При подвигании рабочей зоны ее профиль может видоизменяться по сравнению с начальным. Для сокращения времени расчетов варианта развития рабочей зоны задаются ранжированием участков композиционной модели по степени необходимости вовлечения их в разработку. Оптимальным считается план, максимально приближенный к заданным объемным и качественным показателям, установленным пятилетним планом.

Результаты работы комплекса выводятся на АЦПУ в виде таблицы рекомендуемых подвиганий горных работ на горизонтах карьера и таблицы объемов руды по сортам, вскрышных пород по типам и полезных компонентов, подсчитанных по горизонтам, участкам рабочей зоны, заходкам.

Комплекс разработан в отраслевой лаборатории Минцветмета СССР при Свердловском горном институте им. В. В. Вахрушева. Язык программирования — PL/1, ДОС ЕС, версия 2.2. Пакет может быть использован на вычислительных центрах, оборудованных ЕС ЭВМ, а также вычислительными комплексами М-4030.

Информационной базой для автоматизированных расчетов служат дискретная модель месторождения и аналитическая модель контуров карьера. Порядок формирования модели месторождения подробно изложен выше.

На рис. 8.8. представлена схема взаимодействия основных программ комплекса ГР-79.

На рисунке: KAR — информационный массив объемных характеристик руд и вмещающих пород в контуре карьерного поля; KAS (KACS) — информационный мас-

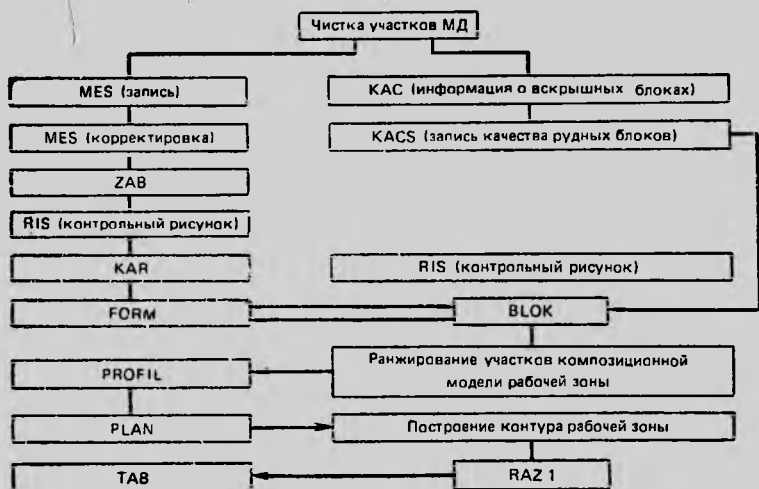


Рис. 8.8. Технологическая линия задачи расчета годовых контуров рабочей зоны карьера

сив качественных характеристик рудной залежи. Если выделенным подсчитанным блокам заранее присвоено определенное качество, то в формировании файла участвует модуль KAC, если в наличии имеется только информация о разведочных скважинах, то используется модуль KACS.

Последовательная реализация модулей FORM, BLOK, PROFIL, PLAN позволяет определить положение горных работ на конец планируемого года. Подсчет объемов руды с разделением по технологическим сортам, вскрышных пород по типам, количества полезных компонентов в рассчитанных границах рабочей зоны осуществляется модулем RAZ1. Вывод результатов расчета на АЦПУ в виде таблиц производится с помощью модуля TAB. Включение в ППП программного модуля CONTUR предусматривает автоматизированное вычерчивание контуров рабочей зоны.

Краткая характеристика программ комплекса приведена в табл. 8.4. Модули RAZ1 и TAB служат для вывода результатов расчета на широкую печать и используются также при горно-геометрическом анализе карьеров (см. комплекс ГЕОМА-77). Основной объем информации для расчетов содержится на магнитном диске (МД). Дополнительные данные вводятся в ЭВМ с перфокарт.

Каждая программа предоставлена отдельным томом документации, включающей паспорт описания задачи и алгоритма, блок-схему, инструкции пользователю и оператору, текст программы и контрольный пример. Помимо этого к пакету прилагается пояснительная записка, содержащая техническое задание на разработку пакета, теоретическое обоснование и укрупненный алгоритм решаемой задачи, описание входных и выходных данных, описание функционирования пакета, инструкцию по технологической подготовке данных.

Основная исходная информация разделяется на три группы: геолого-маркшейдерская, технологическая, плановая.

В состав геолого-маркшейдерской информации вводят журналы эксплуатационной разведки месторождения, погоризонтные геологические планы (М 1 : 1000, 1 : 2000) и сводный план горных работ с указанием границ карьера на конец текущего года. По этим материалам на первом этапе корректируется модель месторождения: уточняются границы рудного тела и выработанного пространства, пополняется информационный массив качественных характеристик рудной залежи по данным опробования скважин эксплуатационной разведки.

Технологическая информация включает данные о параметрах и показателях системы разработки: высота уступа, годовое понижение горных работ, ширина заходки по целику, скорость подвигания горных работ, вид основного оборудования и его производительность.

Плановая информация содержит сведения о производительности карьера, нормативы подготовленных запасов, среднее содержание полезных компонентов в сырой руде и т. п.

Наиболее ответственным моментом при подготовке исходной информации является разделение сводного плана карьера на участки. При этом учитываются следующие правила:

Таблица 8.4

Характеристика программ, входящих в ППП «Годовое планирование ведения открытых горных работ»

Программы	Назначение	Входные данные	Выходные данные	Число операторов	Среднее время расчетов на ЕС-1020, мин
FORM	Сервисный. Моделирование распределения на горизонтах одного из признаков горной массы (руды, вскрышные породы, полезные компоненты)	Файлы геометрической и качественной информации о месторождении на МД. Дополнительно: признаки горной массы, число выделенных подсчитанных блоков	Файлы информации о распределении руды, вскрышных пород и полезных компонентов на рабочих горизонтах карьера, записанные на МД	50	13—15
BLOK	Основной. Расчет трехмерных матриц объемов горной массы, руды, компонентов по горизонтам, участкам композиционной модели, заходкам	Результаты работы модуля FORM с МД. Дополнительно: конструктивные параметры модели месторождения, границы участков композиционной модели рабочей зоны, которые параметры системы разработки	Файлы распределения руды, горной массы и полезных компонентов по заходкам, участкам, горизонтам рабочей зоны на МД	190	240—300 или 20—30 (на ЕС-1022, М-4030)

Продолжение табл. 8.4

Программы	Назначение	Входные данные	Выходные данные	Число операторов	Среднее время расчетов на ЕС-1020, мин
PROFIL	Основной. Формирование заданного профиля рабочей зоны	Результаты работы модуля BLOK с МД. Дополнительно: параметры системы разработки, ранги участков композиционной модели	Объем работ по формированию нового профиля борта, рекомендуемая глубина ведения горных работ. Характеристики перемещения рабочей зоны на МД	108	3—5
PLAN	Основной. Расчет оптимального подвигания рабочей зоны по горизонтам и участкам	Результаты работы модуля PROFIL с МД. Дополнительно: натуральные показатели плана горных работ, которые должны быть выдержаны при оптимизации	Таблицы подвигания горных работ по участкам и горизонтам рабочей зоны. Объемы горной массы и руды по горизонтам	153	8—12

ось $O_1O_2O_3O_4$ проводится на последнем подготовленном горизонте и ее положение соответствует месту предполагаемого понижения горных работ;

число выделяемых участков $9 \leq N \leq 20$, в этом случае относительная погрешность отображения исходного контура горных работ не превысит 3%;

в пределах участков линия фронта работ должна достаточно точно аппроксимироваться отрезком прямой или дугой окружности.

Участки нумеруются, после чего в системе координат, сходной с системой модели месторождения, положение их левой границы фиксируется координатами двух точек (рис. 8.9, точки 1, 2). Начало ориентированного отрезка (точка 1, участок 4) находится на оси $O_1O_2O_3O_4$. Положение точки 2 на луче выбирается произвольно. Съем координат лучей начинается с участка с номером 1 (O_1A) и далее по часовой стрелке.

Линия фронта горных работ на каждом горизонте выделенного участка фиксируется линейной координатой B , равной расстоянию от оси вскрывающей выработки до середины уступа. Если в течение года предполагается подготовить несколько уступов, то в бланке исходной информации для этих горизонтов $B=T$, где T — ширина разрезной траншеи. Ранжирование участков по степени необходимости вовлечения их в разработку осуществляется на основании балльной оценки по данным опроса руководителей и исполнителей основных отделов рудника.

В нашем примере данные опроса позволили присвоить выделенным шестнадцати участкам следующие ранги: 2, 3, 4 — основные с суммой баллов 8—11 (кодируются цифрой «0»); 1, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13 — технологические с суммой баллов 4—7 (кодируются цифрой «1»); 9, 10, 14, 16 — резервные с суммой баллов 1—3 (кодируются цифрой «2»); 15 — запретный (кодируется цифрой «3»).

В выбранных основных участках задается один из способов перемещения рабочей площадки. Признаком неизменности конфигурации рабочего борта является равенство коэффициента его профиля единице $PK=1$. Опережение вышележащих уступов относительно нижележащих задается коэффициентом профиля $1 < PK < 2$.

В некоторых случаях ширина рабочих площадок задается на каждом горизонте.

Основные ограничивающие технологические и плановые показатели готовятся для ввода в ЭВМ на основании проекта разработки месторождения, пятилетнего и долгосрочного планов развития предприятия, а также в соответствии с заданием и контрольными цифрами, установленными вышестоящими организациями.

Подготовка исходных данных на руднике и обработка их на вычислительном центре производятся по этапам (табл. 8.5).

Таблица 8.5

Информационное обеспечение технологических и плановых показателей

Информация, поступающая на ВЦ	Функции ВЦ	Информация, поступающая на рудник
I этап. Закодированная геолого-маркшейдерская информация о текущем состоянии горных работ II этап. Параметры композиционной модели и элементов системы разработки III этап. Место подготовки новых горизонтов. Натуральные показатели годового плана IV этап. Координаты годовых границ открытой разработки	Перфорирование и контроль информации; формирование модели месторождения и карьера в памяти Анализ движения рабочего борта, определение глубины горных работ на ЭВМ Расчет вариантов годовых границ открытой разработки Расчет объемов руды, вскрышных пород и полезных компонентов	Контрольная распечатка погоризонтных планов Таблица рекомендуемой глубины ведения горных работ в основных участках карьерного поля Таблица планируемых подвигов горных работ на горизонтах Таблицы объемов руды, вскрышных пород и полезных компонентов по горизонтам и по карьере в целом

В процессе вычислений рудник может изменять ограничивающие условия, в том числе интенсивность обработки отдельных участков карьерного поля, поэтому одноименные расчеты могут повторяться многократно. При этом время, затраченное специалистами рудника на корректировку задания и подготовку данных для ввода в ЭВМ, изменяется в зависимости от содержания решаемой задачи.

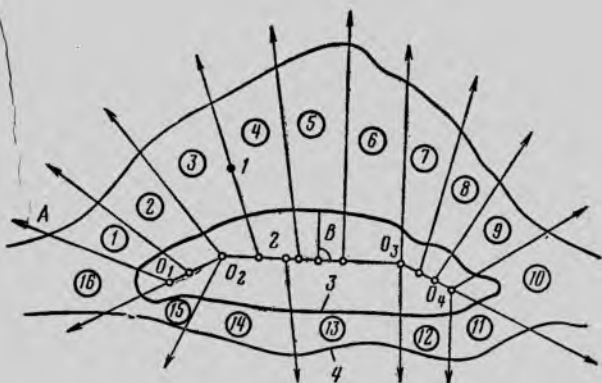


Рис. 8.9. Схема разделения карьерного поля на участки (нумерация участков дана цифрами в кружочках) при расчете годовых границ горных работ:

1, 2 — точки фиксирования участка; 3 — текущий контур горных работ; 4 — предельный контур карьера по средней линии уступа

8.5. Экономическая оценка вариантов в динамических задачах открытой разработки

Экономическая оценка долговременных технических решений имеет большое значение для практики проектирования и перспективного планирования разработки месторождений. К особенностям ее можно отнести динамичность решаемых задач, характеризующихся длительным периодом оценки, неравномерностью годовых объемов работ, значительной разновременностью моментов вложения затрат и получения доходов.

Учет динамический характер задач, решаемых при экономической оценке вариантов горных работ, позволяет использование таких критериев, как минимум суммарных приведенных затрат за период оценки ΣZ_{pi} или максимум суммарной приведенной прибыли, полученной при разработке месторождения ΣP_{pi} :

$$\begin{aligned} \min \Sigma Z_{pi} &= \Sigma K_{pi} + \Sigma Z_{pi}, \\ \max \Sigma P_{pi} &= \Sigma C_{pi} - \Sigma Z_{pi}, \end{aligned} \quad (8.9)$$

где ΣK_{pi} — сумма приведенных капитальных затрат за оцениваемый период по i -му варианту; ΣZ_{pi} — сумма приведенных эксплуатационных затрат; O_i — остаточная реализуемая стоимость основных и оборотных фондов по

данному варианту, приведенная к тому же моменту оценки, что и затраты; $\Sigma C_{\text{пт}}$ — суммарная приведенная стоимость товарной продукции (сырой или товарной руды, концентрата и др.) за период оценки.

Поскольку время вложения затрат и получения прибыли является иногда таким же существенным фактором при оценке экономической эффективности вариантов, как и величина затрат и прибыли, осуществляется приведение их к одному моменту по сложным процентам. Коэффициент приведения определяется по формуле

$$B = (1 + E_{\text{н.п}})^{T-t}, \quad (8.10)$$

где T — год, к которому затраты приводятся; t — год осуществления затрат.

Повысить точность расчетов затрат в долговременных динамических задачах позволяет использование прогнозных технико-экономических показателей.

Различные варианты схемы вскрытия месторождения, параметров системы разработки, производственной мощности и границ карьера в конечном счете влияют на календарное распределение объемов горных работ. В связи с этим задача экономической оценки вариантов открытой разработки может быть решена путем оценки вариантов календарных планов горных работ.

Методика проведения экономической оценки.

1. Выбирается критерий оценки, наиболее соответствующий конкретным условиям решаемой задачи.

Так, если варианты различаются по величине затрат, времени их вложения и моменту оценки, при равных объемах и качестве продукции целесообразно использование критерия — минимум суммарных приведенных затрат, а если они различаются еще и по объему и качеству продукции, то используется критерий — максимум суммарной приведенной прибыли, полученной за период оценки.

2. Определяется величина суммарных приведенных затрат за период оценки:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T Z_t = & \sum_{t=1}^{T_{\text{гкр}}} K_{\text{гкр}t} + \sum_{t=1}^{T_{\text{соз}}} K_{\text{соз}t} + \sum_{t=T}^{T_{\text{рас}}} K_{\text{рас}t} + \\ & + \sum_{t=T_{\text{рас}}}^{T_3} K_{\text{под}t} + \sum_{t=1}^T \mathcal{E}_{Bt} + \sum_{t=1}^T \mathcal{E}_{\text{пт}t}, \quad (8.11) \\ K_{\text{гкр}t} = & Y_{\text{гкр}t} V_{\text{гкр}t}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{\text{соз}t} &= \varphi_t Y_{\text{соз}t} A_{\text{гм}t}; \\
K_{\text{рас}t} &= Y_{\text{рас}t} (A_{\text{гм}t+1} - A_{\text{гм}t}); \\
K_{\text{под}t} &= Y_{\text{под}t} A_{\text{гм}t} \Delta h; \\
\mathcal{E}_{\text{пит}} &= C_{\text{пит}} A_{\text{пит}t}; \\
\mathcal{E}_{\text{вт}} &= C_{\text{вт}} V_t;
\end{aligned}$$

где $K_{\text{гкр}t}$, $K_{\text{соз}t}$, $K_{\text{рас}t}$, $K_{\text{под}t}$ — капитальные затраты на горно-капитальные работы, создание, расширение и поддержание производственной мощности карьера в t -й год, тыс. руб.; $\mathcal{E}_{\text{вт}}$, $\mathcal{E}_{\text{пит}}$ — эксплуатационные затраты на добычу полезного ископаемого и удаление вскрыши в t -м году, тыс. руб.; $T_{\text{гкр}}$, $T_{\text{соз}}$, $T_{\text{рас}}$, $T_{\text{э}}$, T — годы окончания горно-капитальных работ, создания и расширения мощности, эксплуатации с постоянной мощностью, окончания периода оценки; $Y_{\text{гкр}t}$, $Y_{\text{соз}t}$, $Y_{\text{рас}t}$, $Y_{\text{под}t}$ — удельные капитальные вложения на горно-капитальные работы, создание, расширение и поддержание мощности в t -м году, которые рассчитываются на 1 м³ производственной мощности по горной массе, руб.; $C_{\text{пит}}$, $C_{\text{вт}}$ — себестоимость полезного ископаемого (без погашения вскрыши) и вскрыши в t -м году; $V_{\text{гкр}t}$ — объем горно-капитальных работ в t -м году, тыс. м³; $A_{\text{гм}t}$ — производительность карьера по горной массе, тыс. м³; $A_{\text{пит}t}$, V_t — производительность карьера по полезному ископаемому и вскрыши в t -м году, тыс. м³; φ_t — доля капитальных вложений в t -м году строительства карьера. Величина ее принимается в зависимости от горно-геологических условий, вида транспорта и производственной мощности карьера; Δh — годовая углубка, м.

3. Если оценка вариантов производится по критерию $\Sigma \Pi_{\text{пт}}$, определяется суммарная ценность реализуемой продукции

$$\sum_{t=1}^T C_t = \sum_{t=1}^T A_{\text{пит}t} C_{0t}, \quad (8.12)$$

где C_{0t} — оптовая цена 1 м³ полезного ископаемого в t -й год, руб.

4. После того как определены значения $\Sigma \mathcal{E}_{\text{пт}}$ или $\Sigma \Pi_{\text{пт}}$, по каждому из сравниваемых вариантов, находится оптимальный вариант.

Программа ECONOM предназначена для экономической оценки вариантов производственной мощности,

схем вскрытия и системы разработки, вида транспорта, календарных планов горных работ и других задач, связанных с оптимизацией проектных решений при проектировании открытой разработки, крутопадающих, сложно-структурных, многокомпонентных месторождений.

Программа, составленная для ЕС ЭВМ, позволяет выполнять расчеты с учетом трех видов вскрышных пород и восьми сортов полезного ископаемого.

Программа написана на языке ФОРТРАН-IV. Операционная система ДОС, версия 2.2. Число операторов 98. Ввод исходной информации осуществляется с перфокарт.

Вся исходная информация, необходимая для экономической оценки вариантов горных работ, разделяется на основную (см. табл. 8.6) и дополнительную.

Основная информация включает календарное распределение объемов полезного ископаемого и вскрышных пород за оцениваемый период, а также ежегодное значение текущей глубины горных работ и оптовых цен учтенных сортов товарной продукции.

Дополнительная технико-экономическая информация состоит из величин, характеризующих горно-геологические условия, технологические параметры системы разработки и факторы, входящие в модель удельных стоимостных показателей. Она включает 21 параметр: производственную мощность карьера, млн. м³; годовой объем вскрыши, млн. м³; годовой объем горной массы, м³; годовой объем горно-капитальных работ; оптовую цену полезного ископаемого, руб /м³; ежегодную долю капитальных вложений по годам строительства; отраслевой коэффициент эффективности капитальных вложений; текущую глубину горных работ, м; крепость вскрышных пород по шкале М. М. Протодяконова; долю железнодорожного транспорта в общем объеме перевозок вскрышных пород, полезного ископаемого, горной массы; плотность полезного ископаемого в насыпке, т/с³; проектный коэффициент вскрыши, м³/м³; текущий коэффициент вскрыши, м³/м³; год окончания строительства карьера; год освоения проектной производственной мощности; годы начала и конца реконструкции; год начала затухания горных работ; год окончания периода оценки.

Если стоимостный показатель (себестоимость полезного ископаемого или вскрышных пород, удельные капитальные вложения) задан, то его значение не рассчитывается, а принимается по фактическим данным.

Календарные показатели

Годы строительства и эксплуатации

Показатели	Годы строительства и эксплуатации									
	1	2	3	4	5	6	7	8	...	20
Годовые объемы добычи полезного ископаемого, млн. м ³	0	0	0	0	4	6	7	8	...	20
Годовые объемы вскрышных работ, млн. м ³	0	0	0	0	12	18	21	24	...	27
Объемы горно-капитальной вскрыши, млн. м ³	8	12	14	16	0	0	0	0	...	0
Оптовая цена 1 м ³ полезного ископаемого, руб.	0	0	0	0	12	12	12	12	...	12
Доля капитальных вложений, доли ед.	0,2	0,3	0,3	0,2	0	0	0	0	...	0
Глубина горных работ, м	15	30	60	90	120	135	150	165	...	345
Текущий коэффициент вскрыши, м ³ /м ³	0	0	0	0	3	3	3	3	...	3

В результате расчетов на печать в табличной форме выдаются в прямом и приведенном виде значения капитальных затрат на горно-капитальные работы, создание, расширение и поддержание мощности, эксплуатационных затрат на добычу полезного ископаемого и удаление вскрыши, суммарных затрат и доходов, полученных от реализации продукции, а также прибыли. Величины этих показателей рассчитываются для каждого года оценки и суммируются за весь период анализа.

Кроме перечисленных показателей на печать выдаются значения удельных капитальных вложений и себестоимости, а также годовых объемов вскрышных пород и полезного ископаемого, извлекаемых из карьера.

На основании результатов расчетов можно оценить варианты развития горных работ по целому ряду критериев: затратам на разработку, прибыли, рентабельности и т. д. Для прогнозирования удельных стоимостных показателей открытой разработки можно использовать программу определения себестоимости и удельных капитальных затрат на перспективных и действующих месторождениях. Программу можно применять при геолого-экономической оценке перспективных месторождений полезных ископаемых.

Пример. Определить экономические показатели открытой разработки месторождения с применением комбинированного транспорта на добыче и вскрышных работах. Месторождение расположено в средней полосе. Срок разработки 20 лет.

Исходная информация: крепость вскрышных пород по шкале М. М. Протодяконова — 9; доля железнодорожного транспорта в общем объеме перевозки вскрышных пород — 0,8, полезного ископаемого — 0,5, горной массы — 0,7; плотность полезного ископаемого в насыпке, т/м^3 — 3,2; проектный коэффициент вскрыши, $\text{м}^3/\text{м}^3$ — 3; нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений $E=0,15$; год окончания строительства 4-й; ввода производственных мощностей 6-й; продолжительность периода оценки 20 лет.

Результаты расчетов выдаются на печать в следующей форме (табл. 8.6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Автоматизация* планирования горных работ на железорудных карьерах/Ю. П. Астафьев, А. С. Давидкович, Н. Д. Бевз и др. М., Недра, 1982.
2. *Арсентьев А. И.* Вскрытие и системы разработки карьерных полей. М., Недра, 1981.
3. *Арсентьев А. И.* Определение производительности и границ карьеров. М., Недра, 1970.
4. *Ашаев Ю. П., Андреева Г. Н.* Объемное моделирование месторождений на основе использования уравнений в частных производных.— В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых (межвузовский сборник научных трудов). Алма-Ата, КазПТИ, 1981, с. 3—10.
5. *Букейханов Д. Г., Ашаев Ю. П., Стедин В. Ф.* Объемное моделирование горно-геометрических параметров на ЭВМ.— Изв. вузов. Горный журнал, 1983, № 10, с. 1—5.
6. *Букринский В. А., Коробченко Ю. В.* Геометризация месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1977.
7. *Васильев М. В., Аленичев В. М., Сивков М. Н.* К вопросу представления горно-геологической информации в ЭВМ.— Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1974, № 4, с. 81—87.
8. *Васильев Е. И., Танайно А. С.* Использование ЭВМ для решения горно-геометрических задач открытых горных работ.— Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1977, № 3, с. 48—57.
9. *Виницкий К. Е., Реентович Э. И.* Применение математических методов при проектировании карьеров. М., ЦНИЭИуголь, 1968.
10. *Гилой В.* Интерактивная машинная графика. Структуры данных, алгоритмы, языки. Пер. с англ. М., Мир, 1981.
11. *Горелик А. Г.* Автоматизация инженерно-графических работ с помощью ЭВМ. Минск, Вышэйшая школа, 1980.
12. *Горно-геометрические* расчеты при создании автоматизированной системы проектирования карьеров/С. Д. Коробов, Л. Н. Косачева, Г. В. Щавинский, А. В. Тромбицкий.— Горный журнал, 1972, № 9, с. 13—18.
13. *Зозулевич Д. М.* Машинная графика в автоматизированном проектировании. М., Машиностроение, 1976.
14. *Использование* математических методов и электронно-вычислительных машин при проектировании горнорудных предприятий/Ш. Я. Шехмейстер, С. Я. Арсеньев, А. Д. Прудовский и др.— Горный журнал, 1969, № 8, с. 12—16.
15. *Квйтка В. В., Левин Е. Л.* Моделирование открытых горных работ в подсистеме выбора главных параметров полиметаллических карьеров.— Изв. вузов. Горный журнал, 1978, № 11 с. 3—5.
16. *Кумачев К. А., Майминд В. Я.* Проектирование железорудных карьеров. М., Недра, 1981.

17. *Марголин А. М.* Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М., Недра, 1974.
18. *Мартин Д.* Организация баз данных в вычислительных системах. Пер. с англ. М., Мир, 1978.
19. *Матерон Ж.* Основы прикладной геостатистики. М., Мир, 1968.
20. *Методические* рекомендации по созданию информационного обеспечения САПР-карьер. Редакция 1—82. М., 1983 (ИПКОН АН СССР).
21. *Методы* поиска новых технических решений. Под ред. А. И. Половинкина. Йошкар-Ола, Марийское книжное изд-во, 1979.
22. *Норенков И. П., Маничев В. Б.* Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры. М., Высшая школа, 1983.
23. *Определение* рациональных параметров развития карьеров (методические указания)/А. И. Арсентьев, А. П. Бондарь, А. Л. Грицай и др. Апатиты, КФ АН СССР, 1973.
24. *Опыт* применения современных математических методов и ЭВМ в планировании и проектировании открытых горных работ. Под ред. В. В. Ржевского. М., ЦНИИТЭИуголь, 1967.
25. *Основы* математического моделирования месторождений в САПР карьеров/В. С. Хохряков, В. Л. Беляев, В. М. Каплан и др. — Изв. вузов, Горный журнал, 1979, № 12, с. 9—14.
26. *Отраслевые* руководящие материалы по созданию автоматизированного проектирования (САПР). Редакция 1—78. М., ГНТ СССР, 1978.
27. *Применение* ЭВМ и математических методов в горном деле. Труды 17-го международного симпозиума. М., Недра, 1982 (Минуглепром СССР).
28. *Проектирование*, планирование и управление производством на карьерах посредством ЭВМ. Под ред. В. В. Ржевского. М., Недра, 1966.
29. *Растрюгин Л. А.* Вычислительные машины, системы, сети . . . М., Наука, 1982.
30. *Роджерс Д., Адамс Дж.* Математические основы машинной графики: Пер. с англ. М., Машиностроение, 1980.
31. *Ржевский В. В.* Процессы открытых горных работ. М., Недра, 1978.
32. *Ржевский В. В.* Создание инженерных кадров для горной промышленности. — Горный журнал, 1977, № 11, с. 19—22.
33. *Секисов Г. В.* Рациональное использование недр при открытой разработке рудных месторождений. Фрунзе, Илим, 1976.
34. *Симкин Б. А., Шкута Ю. К.* Аналитическое моделирование месторождений и их открытой разработки. М., Наука, 1976.
35. *Сухих Б. И., Вайсбурд Р. А., Канюков С. И.* Автоматизация проектирования штампованных поковок. — Кузнечно-штамповочное производство, № 2. 1981, с. 34—36.
36. *Табакман И. Б.* Принципы построения АСУ на карьерах. Ташкент, Фан, 1977.
37. *Трахтенберг В. С.* Математическое моделирование инженерных объектов. Горький, Горьковский университет, 1978.
38. *Фокс А., Пратт М.* Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. М., Мир, 1982.
39. *Хохряков В. С.* Проектирование карьеров. М., Недра, 1980.
40. *Хохряков В. С.* Технико-экономические основы создания ма-

тематической модели карьера.— Изв. вузов. Горный журнал, 1963, № 11, с. 59—63.

41. Хохряков В. С., Ткачев А. Ф. Аналитическое исследование режима горных работ с применением вычислительных машин.— Изв. вузов, Горный журнал, 1964, № 1, с. 36—40.

42. Хохряков В. С., Яшкин А. З. Математическое моделирование сложноструктурных многокомпонентных месторождений.— Изв. вузов, Горный журнал, 1976, № 9, с. 3—6.

43. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство. Пер. с англ. М., Мир, 1982.

44. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров./В. С. Хохряков, Г. Г. Саканцев, А. З. Яшкин и др. М., Недра, 1977.

45. Экономико-математическое моделирование параметров карьеров/М. Г. Новожилов, В. А. Нападайло, А. П. Пчелкин и др. М., Недра, 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Словарь терминов САПР	5
1. Организация автоматизированного проектирования горных предприятий	7
1.1. Общие сведения о проектировании карьеров	7
1.2. Порядок решения основных задач горной части проекта открытой разработки крутопадающих и наклонных месторождений	13
1.3. Общие сведения об автоматизации проектирования	17
1.4. Структура и принципы построения САПР	21
1.5. Организация автоматизированного проектирования в проектном институте	25
2. Техническое обеспечение САПР	28
2.1. Общие сведения	28
2.2. Технические характеристики ЭВМ	31
2.3. Автоматизированные рабочие места (АРМ), микро-ЭВМ и программируемые микрокалькуляторы	35
2.4. Периферийные устройства и их эксплуатационные характеристики	38
2.5. Техническое обеспечение вычислительных центров	46
3. Основы методики САПР	52
3.1. Методы математического моделирования	52
3.2. Основы информационного обеспечения САПР-карьер	54
3.3. Организация данных в САПР	56
3.4. Основные положения разработки программного обеспечения	62
3.5. Процесс создания программы для ЭВМ	64
3.6. Документирование программ	68
4. Математическое описание горногеометрических объектов	73
4.1. Теоретические основы математического моделирования геометрических объектов	73
4.2. Геометрические объекты математического моделирования открытых разработок	79
4.3. Основы математического моделирования месторождений полезных ископаемых	85
4.4. Подготовка и преобразование графической информации о месторождении	97

5. Машинная графика	106
5.1. Теоретические основы математического отображения в ЭВМ точек и прямых	106
5.2. Теоретические основы представления в ЭВМ кривых и поверхностей	111
5.3. Программное графическое обеспечение	114
5.4. Программное геометрическое обеспечение	119
5.5. Автоматизированное изготовление планов карьеров	128
6. Математические модели месторождений и карьеров	133
6.1. Простые геометрические модели месторождений	133
6.2. Дискретные математические модели месторождений	136
6.3. Аналитические модели месторождений	142
6.4. Особенности математического моделирования пологих и наклонных пластовых месторождений	147
6.5. Плоскостно-координатная модель пластового месторождения	151
6.6. Математическое моделирование бортов карьера	155
6.7. Математическое моделирование рабочей зоны карьера	159
6.8. Композиционные модели рабочей зоны карьера	167
7. Автоматизация горно-геометрического анализа	174
7.1. Основы горно-геометрического анализа карьеров	174
7.2. Горно-геометрический анализ с помощью малых ЭВМ	180
7.3. Комплекс программ ГЕОМА-77 для горно-геометрического анализа на сложноструктурных месторождениях	188
7.4. Комплекс программ СПЕКТР-79 для горно-геометрического анализа на сложноструктурных месторождениях	194
7.5. Комплекс прикладных программ ФОСФОРИТ-80	199
7.6. Комплекс прикладных программ КВАРЦИТ-82 для горно-геометрического анализа сложноструктурных месторождений штоковеркового типа	205
7.7. Пакет прикладных программ ИГДАН-2 для горно-геологического анализа на пластовых месторождениях	215
8. Практические задачи автоматизированного проектирования и планирования открытой разработки	226
8.1. Расчет параметров и показателей разрушения скальных пород взрывом на уступе карьера	226
8.2. Оптимизация параметров внешнего железнодорожного отвала и его календарного плана	229
8.3. Автоматизированное проектирование систем временных автомобильных съездов в карьере	238
8.4. Комплекс программ ГР-79 годового планирования развития горных работ в карьере	246
8.5. Экономическая оценка вариантов в динамических задачах открытой разработки	253
Список литературы	259

ВЛАДИМИР СТЕПАНОВИЧ ХОХРЯКОВ
СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ КОРНИЛКОВ
ГЕРМАН АЛЕКСАНДРОВИЧ НЕВОЛИН
ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ КАПЛАН

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРЬЕРОВ

Редактор издательства *И. В. Коваль*
Переплет художника *А. Е. Чугачанова*
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*
Технический редактор *А. В. Трофимов*
Корректор *И. П. Розанова*

ИБ 5265

Сдано в набор 19.04.85. Подписано в печать 29.08.85. Т-18538. Формат 84×108¹/₃₂.
Бумага типографская № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.
печ. л. 13,86. Усл. кр.-отт. 13,86. Уч.-изд. л. 14,0. Тираж 4200 экз.
Заказ 5-150. Цена 90 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.
Харьковская книжная фабрика «Коммунист».
310012, Харьков-12, ул. Энгельса, 11,