

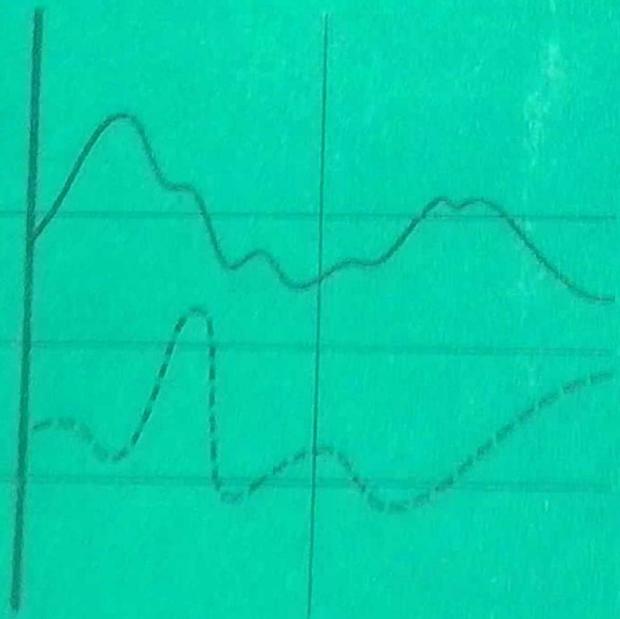
62.2.271

Т-18

А.С. ТАНАЙНО

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КАРЬЕРОВ**

**ГОРНО-
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ
РАСЧЕТЫ**



622.271 | 43864
Ди-18 Ташаин АС
Автоматизация
проектирования
Лангеров | 1986
1-90

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач — — — — —

17/ХII-87 520
10.06.88-30
22.12.88-520

2005г.

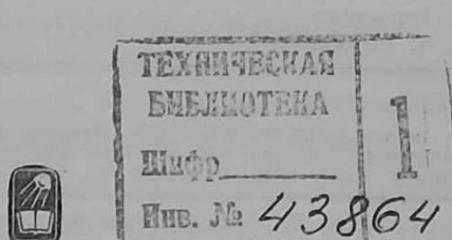
622.277
7-18

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЧИТИНСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

А. С. ТАНАЙНО

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРЬЕРОВ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Ответственный редактор
д-р техн. наук, проф. В. С. ХОХРЯКОВ



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1986

УДК 622.271.3.015 : 519

Танайло А. С. Автоматизация проектирования карьеров. Горно-геометрические расчеты.— Новосибирск: Наука, 1986.

В монографии излагаются методы построения моделей пластовых месторождений, а также методы и алгоритмы решения горно-геометрических задач. Описываются методики формализации технических решений с целью их количественной оценки на ЭВМ. Рассматриваются общие вопросы теории структурного построения системы автоматизированного проектирования карьеров.

Книга рассчитана на специалистов в области разработки и внедрения автоматизированных систем проектирования карьеров.

Р е ц е н з е н т ы

Д. П. Сенук, И. Б. Табакман, Е. В. Фрейдина

Александр Савельевич Танайло

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРЬЕРОВ
ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Утверждено к печати Читинским институтом
природных ресурсов СО АН СССР

Редактор издательства М. М. Гребенникова

Художественный редактор Т. Ф. Каминина

Художник А. И. Смирнов

Технический редактор И. М. Бурлаченко

Корректоры В. В. Борисова, К. И. Сергеева

ИБ № 29900

Сдано в набор 14.11.85. Подписано к печати 12.06.86. МН-01469. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага офсетная. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 12. Усл. кр.-отт. 12,3. Уч.-изд. л. 12,7. Тираж 1150 экз. Заказ № 991. Цена 1 р. 90 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.

4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

T 2504030000-834 277-86-III
042(02)-86

© Издательство «Наука», 1986 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс в горной промышленности предъявляет особые требования к проектированию предприятий, к срокам и качеству выполнения проектов. Проектирование становится решающей сферой аккумулирования новейших научно-технических достижений и воплощения их в производственные действующие системы. От темпов совершенствования процессов проектирования горных предприятий зависят во многом темпы научно-технического прогресса.

Коренное совершенствование процесса проектирования в современных условиях основывается на базе комплексной автоматизации. Накопленный на первых этапах опыт применения ЭВМ в практике инженерной деятельности показал, что комплексное использование математических методов и вычислительной техники может обеспечить эффективное решение стоящих проблем.

Основы проектирования горных предприятий заложены трудами Б. И. Бокия, М. М. Протодьяконова, А. А. Скочинского, Л. Д. Шевякова.

В 50—70-х годах для проектирования угольных шахт начинают использоваться новые вычислительные методы и электронные машины, чему во многом способствовали работы А. С. Бурчакова, Б. М. Воробьева, Г. И. Грицко, А. М. Курносова, А. И. Митейко, Е. В. Петренко, Е. И. Рогова, М. И. Устинова, В. А. Харченко, С. В. Щоя и др. Этими учеными заложены основы комплексной оптимизации параметров шахт.

Большой вклад в решение проблем проектирования рудных подземных предприятий внесли акад. М. И. Агошков, чл.-кор. АН СССР Д. М. Бронников, профессора П. И. Городецкий, В. Р. Именитов, С. Л. Иофин, В. А. Шестаков и др.

Становление теории проектирования открытых горных предприятий связано с именами академиков Н. В. Мельникова, В. В. Ржевского, профессоров П. И. Городецкого, Е. Ф. Шешко, П. Э. Зуркова, А. В. Бричкина, Б. П. Боголюбова, М. Г. Новожилова, А. А. Старикова, А. С. Фиделева, Б. П. Юматова и других ученых.

Важный этап в развитии теории проектирования открытых разработок наступил с появлением работ акад. В. В. Ржевского, профессоров А. И. Арсентьева, В. С. Хохрякова. Ими заложены основы методов горно-геометрического анализа и динамического подхода к проектированию.

Трудами В. П. Аксенова, Ю. И. Анистратова, Ю. И. Белякова, П. П. Бастана, Б. П. Боголюбова, М. В. Васильева, К. Е. Винницкого, В. И. Ганицкого, Ф. Г. Грачева, Н. Г. Капустина, А. А. Кулешова, Г. Г. Ломоносова, Н. Н. Мельникова, А. М. Мустафиной, Г. Я. Новика, Р. С. Пермякова, С. И. Попова, Н. Я. Репина, Э. И. Реентовича, И. И. Русского, Б. А. Симкина, О. А. Спиваковского, Б. Н. Тартаковского, П. И. Томакова, А. Н. Шилина, А. Н. Шухова, В. Л. Яковлева, В. А. Щелканова, Г. Л. Фисенко и других ученых разработаны методы решения основных задач в практике и теории проектирования открытых горных разработок.

Современные направления в теории проектирования развиваются в трудах акад. В. В. Ржевского, докторов наук В. С. Хохрякова, Ю. П. Астафьева, А. И. Арсентьева, А. Д. Школьникова, И. Б. Табакмана, кандидатов техн. наук Е. И. Васильева, С. Д. Коробова, Г. Д. Букейханова, В. В. Квитки, П. И. Слободчикова, А. Д. Прудовского и др. В настоящее время формируется системный подход к проектированию горных предприятий и начинается становление автоматизированных систем проектирования (САПР).

В данной монографии раскрываются основные положения горно-геометрических расчетов, получивших развитие применительно к пластовым месторождениям в САПР-разрез. Изложены методические основы формирования информационной базы для горно-геометрических расчетов, описаны алгоритмы решения задач, методики формализации технических решений для моделирования динамики развития горных работ в карьере, структуры двух пакетов прикладных программ системы управления пакетами.

В целом работа внедрена в САПР-разрез первой очереди Минуглепрома СССР, содержит много томов методической, инструктивной и программной документации. Полная публикация всего ма-

териала невозможна. Поэтому предпринята первая попытка его системного изложения с акцентированием внимания в основном на методической стороне.

Выполнение такой работы было бы невозможным без постоянной помощи и добрых советов коллег. Вот почему автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность заведующему лабораторией ИГД СО АН СССР Е. И. Васильеву, под руководством которого исследования начинались и затем продолжались многие годы, акад. Е. И. Шемякину за постоянную поддержку, коллегам В. А. Красовскому, А. А. Зайцевой, А. М. Баландису, проделавшим огромную работу по программному обеспечению, а также Ю. В. Соколову, совместно с которым были созданы первые программы, С. Г. Молотилову за помощь на первых и поэтому важных этапах.

Написание монографии не имело бы смысла без внедрения полученных результатов в проектных организациях. Здесь неоценимая помощь оказана главным специалистом института Сибгипрошахт В. Н. Шалагиновой.

Совершенно новое качественное направление работы получила при включении пакетов программ в отраслевую систему автоматизированного проектирования карьеров (Минуглепром СССР). В этом автору содействовали заместитель директора Центргипрошахт П. И. Митейко, заведующий лабораторией П. И. Слободчиков и заведующий отделом ВНИИуголь В. И. Глейх.

Особую благодарность автор выражает научному редактору проф., лауреату Государственной премии СССР В. С. Хохрякову за многолетнюю поддержку.

Параграф 3.3 написан А. А. Зайцевой; совместно с А. А. Зайцевой и В. А. Красовским — § 3.1; § 2.7, 2.8, 4.7, 4.8 — совместно с А. А. Зайцевой; § 1.6 — совместно с И. Д. Чашиным.

Глава 1

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

§ 1.1. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

В начале семидесятых годов под руководством акад. В. В. Ржевского были выполнены первые работы, направленные на решение горно-экономических и горно-геометрических задач с использованием ЭВМ [1—4]. Начавшись с решения отдельных задач [5], развитие этого направления идет по пути создания целостных систем автоматизированного проектирования.

Особенно много за прошедшие годы сделано по разработке методов решения горно-геометрических задач на ЭВМ, что с одной стороны, свидетельствует об актуальности проблемы, а с другой — о трудности ее решения. В этой связи определенный интерес представляет обзор достигнутого с целью установления общих положений предложенных методов моделирования месторождений для горно-геометрических расчетов. Столь общая задача освобождает нас от необходимости описания отдельных методов, но зато требует определения четких позиций, которым мы будем следовать — концентрация внимания на информационной стороне проблемы.

Начало направлению положено работами И. Б. Табакмана [6—9] и С. Д. Коробова [1, 2, 10—12]. И. Б. Табакман предложил метод отображения геологических разрезов цифровой дискретной информацией. Сущность его заключается в разделении площади геологического разреза на клетки (элементарные объемы), каждая из которых имеет следующие особенности: фиксирована в условной системе координат (присвоен порядковый номер); является носителем информации — полезное ископаемое, его сорт, пустая порода (каждая клетка согласно признаку отличается своим кодом); имеет постоянный размер, соизмеримый с технологическими параметрами (кратная ширина рабочей площадки, экскаваторной заходки и т. д.).

Модели этого типа, предложенные в начале 70-х годов для решения задач на рудных месторождениях, используются и в настоящее время, так как ЭВМ третьего поколения практически снимает один из важных недостатков дискретного метода отображения информации — потребность в большом объеме памяти.

Автором успешно применен этот метод для решения задач АСУ на действующих карьерах [13]. Метод используется для создания информационной базы геолого-маркшейдерского обеспечения подсистемы АСУГП [14] (автоматизированная система управления горным производством).

Для горно-геометрических расчетов на горизонтальных и пологих пластовых месторождениях С. Д. Коробов предложил метод интерпретации топографических поверхностей числовыми данными по исходным геологическим материалам. В результате геологические тела получают объемное отображение [1, 2, 10–12]. Здесь, в отличие от вышеописанных дискретных, элементарные объемы являются носителями не только качественной, но и количественной информации. На каждом элементе площади, представленной либо квадратом, либо многоугольником с центром — скважиной, может быть или отсутствовать почва, кровля залежи и дневная поверхность. Если подсчет объемов при дискретном цифровом отображении геологической информации сводится к простому суммированию элементарных объемов, то те же подсчеты при матричном представлении данных, а особенно методом «ближайшего района», потребовали разработки аналитического аппарата определенной сложности. Усложнение расчетного аппарата вообще характерно для моделей, использующих гипсометрические планы.

Методы ориентированы на месторождения с относительно спокойным падением, достаточно ровным рельефом поверхности и только для одного пласта [1, 2]. Впоследствии основные принципы этих моделей были развиты автором совместно с Л. Н. Косачевой для построения слоевых моделей месторождений [15, 16].

Работы С. Д. Коробова и И. Б. Табакмана послужили основой для широкого развития горно-геометрических расчетов на ЭВМ. Применительно к пластовым месторождениям создаются методики в институте Центргипрошахт В. Д. Красильниковым [17], в ИГД им. А. А. Скочинского С. Л. Рогозиным [18]. Предложенные ими модели используют в качестве документации поперечные геологические профили, но, в отличие от вышеуказанных, информация по профилю не представляется единичными объемами, а характеризует положение разделительных линий в плоскости геологического разреза в условно принятой системе координат.

Принцип использования поперечных геологических профилей развивается в работах [19–21]. Предлагается плоскостно-координатная модель месторождения, которую строят с помощью гипсометрических планов. Система условных геологических профилей, описанная в [19], позволяет отобразить любые формы пластовых залежей, в том числе брахисинклинали и антиклинали с любым количеством пластов. Модели строятся совершенно независимо от технических параметров карьеров, что дает возможность с единожды подготовленной информацией решать многовариантные технологические задачи.

Дальнейшее развитие указанных методов шло в направлении приближения процесса моделирования динамики отработки карьера к проектным задачам с учетом количественных параметров систем разработки. Это позволило накопить опыт использования ЭВМ для горно-геометрических расчетов в условиях проектных институтов [22, 23].

Горно-геометрические расчеты впервые применены для моделирования процесса формирования внутренних отвалов в выработанном пространстве в динамике отработки карьера [24]. В основу метода положена плоскостно-координатная модель месторождения, которая теперь уже используется для решения горно-геометрических задач во вскрышной, добычной и отвальной зонах карьера при отработке месторождения однобортовыми системами.

Благодаря более развитому аналитическому аппарату, системным программным средствам, системе управления расчетами подошли к решению задач конструирования систем разработки с количественной их оценкой в динамике отработки месторождения [25].

Принцип использования геологических разрезов для выполнения горно-геометрических расчетов развивается в Кузбасском политехническом институте В. А. Денискиным [26] и В. Г. Левиным [27]. В [26] ставится, пожалуй, впервые задача о создании специального расчетного аппарата с ломаными линиями в плоскости профиля. Геологическая информация отображается по профилям координатами ломаных линий по границам раздела сред: пласт, рельеф. В [27] используется метод отображения геологических тел, принципиально не отличающихся от рассмотренных выше. Но автором предлагается двухшаговый метод отображения информации, сущность которого заключается в том, что путем горно-геометрических расчетов получают объемы блоков между профилями. Определенная упорядоченность таких блоков и представляет модель для решения задачи обоснования рационального режима горных работ на пластовых месторождениях с крутым падением.

Параллельно с дискретными методами отображения информации о пластовых месторождениях развиваются принципы аналитического моделирования геологических условий [17, 28–31]. В становление и развитие аналитических методов внесли вклад В. Д. Красильников, С. М. Медовая, Б. А. Симкин, Ю. К. Шкута. Детальный обзор аналитических методов приводит Ю. К. Шкута в [31], там же он излагает разработанные им инженерные методы построения аналитических моделей.

Разработка и построение аналитических или дискретно-аналитических моделей предполагает отображение топоповерхностей в целом (или специфических линий топоповерхностей) в виде аналитических уравнений и алгебраических полиномов и сплайн-функций [32].

В информационном плане аналитические модели принципиально не отличаются от рассмотренных выше. Здесь также источником

информации служат топографические планы или разрезы. Отличие, причем принципиальное, аналитических моделей появляется на стадии моделирования горных работ. Если при дискретном представлении информации задачи решают численными методами, то при аналитических методах для данных целей применяется аппарат решения уравнений.

Аналитические методы, используемые в интерполяционных задачах при обработке геологических данных, достаточно детально обсуждаются в [33].

В общей постановке аналитические модели сводятся к следующему. Имеется множество пунктов наблюдения P с координатами $x_i, y_i, z_i; P = \{(x_i, y_i, z_i)\}$, образующих некоторую область D с границей Γ и известными значениями геологического признака $\varphi(x_i, y_i, z_i)$, которые необходимо описать непрерывной функцией $\varphi(x, y, z)$, в определенном смысле совпадающей со значениями $\varphi(x_i, y_i, z_i)$ в пунктах наблюдения. Полученную функцию $\bar{\varphi} \sim \varphi$ используют в дальнейшем для вычисления признака виа пунктов наблюдения, а также для вычисления пересечения границ признака с контурами карьера, развивающегося в пределах моделируемой области.

Основная сложность использования аналитических моделей заключена в необходимости выполнения непрерывности. Это означает, что предварительно следует выделить однородные участки месторождения, получить на каждом из них частное аналитическое отображение, а затем — общее.

Главное отличие аналитических моделей — представление модели месторождения в виде коэффициентов полиномов или сплайн-функций, что, по нашему мнению, должно значительно снизить количество хранимой информации, упростить аналитический аппарат горно-геометрических расчетов.

Одновременно с развитием автоматизации горно-геометрических расчетов на пластовых месторождениях ведутся исследования по созданию моделей и методов решения задач применительно к рудным месторождениям. Образовались своеобразные региональные центры.

В начале обзора отмечены работы И. Б. Табакмана, основная ориентация которых — рудные месторождения. Именно его работы стали основой для развития различных способов отображения геологической информации рудных месторождений.

В Свердловском горном институте исследования ведутся под руководством д-ра техн. наук, проф. В. С. Хохрякова [34—38]. Здесь А. З. Яшкиным предложена точечно-цифровая модель месторождения по горизонтальным сечениям [39], дальнейшее развитие эти модели получили в работах В. В. Квитки, Е. Л. Левина [40, 41].

Сущность информационного отображения в моделях заключается в представлении (кодировании) контуров рудных тел с помощью палетки по регулярным полосам [39] или растром [40].

В ЭВМ вся информация преобразуется в элементарные объемы, «привязанные» к регулярной системе координат.

Д. Г. Букейханов, В. Ф. Съедин, Р. М. Султанкулов (Казахский политехнический институт) предлагают методы отображения геологической информации, использующие как аналитические, так и дискретные приемы [42—44].

Несколько иначе подходят к отображению информации по рудным месторождениям В. М. Аленичев и М. Н. Сивков [45—47]. Как следует из [46, с. 26], для решения технических задач рекомендуется использовать информацию о погоризонтальных планах или о геологических разрезах, контуры однородной горной массы на которых аппроксимируются многоугольниками. Естественно, стремление отобразить разнообразные формы исходной информации потребовало сложной организации данных. Авторы для этих целей предлагают в виде списка структуру файлов прямого доступа [46].

В целом, как отмечает проф. В. С. Хохряков, сложилось два типа моделей рудных месторождений: цифровые и аналитические [38, с. 135—137]. При таком их разделении подразумевается принцип хранения в ЭВМ данных на момент выполнения горно-геометрических расчетов. Обратим на это особое внимание, так как многие авторы зачастую вкладывают в название предлагаемой ими модели способ подготовки первичных данных.

Под цифровой моделью в терминологии проф. В. С. Хохрякова понимается представление в ЭВМ данных о месторождении в виде микроблоков в трехмерном пространстве и кодов качественных признаков. Построение таких моделей возможно путем формирования микроблоков графическим методом, т. е. «ручным». Но можно построить и программным методом на основе информации о пространственном положении контуров рудных объектов. Однако если в памяти ЭВМ имеется информация об этих контурах, то нет необходимости преобразования ее в цифровую модель месторождения для выполнения горно-геометрических расчетов.

Следовательно, отображение геологических форм и признаков множеством точек, зафиксированных в пространственной системе координат, также является одним из способов моделирования: координатно-точечным.

В рассмотренных выше способах отображения геологических объектов в памяти ЭВМ исходной документацией служит карточеская информация. Однако в последние годы ведутся исследования по использованию для этих целей данных по скважинам и различным линиям опробования [48—50].

Анализ показывает, что первичная геолого-разведочная информация (данные колонкового бурения, бороздового опробования и т. д.) в сочетании с методами геостатистики [51—54] позволит поднять качественный уровень процесса моделирования месторождений для целей проектирования их разработки.

По сравнению с моделями рудных месторождений, построенными по данным графической документации, при использовании

первичной геолого-разведочной информации появляется возможность оперировать не определенными показателями по блокам, а учитывать изменение качества в блоках, прогнозировать изменение показателей с привлечением информации, полученной в процессе разработки залежей. Значительно упрощается актуализация информации и методы ее накопления. В общем, как показал анализ, в моделировании рудных месторождений созданы определенные предпосылки для применения моделей в автоматизированных системах проектирования.

Без преувеличения можно сказать, что создание методик моделирования месторождения стало предметом широкого увлечения, и потому важно без лишнего оптимизма и, конечно, без пессимизма попытаться определить, какие трудности еще предстоит преодолеть в решении проблемы широкого использования моделей месторождений при автоматизации проектирования карьеров. Несмотря на большую проделанную работу, здесь многое еще не решено. Практически отсутствуют работы, учитывающие вероятностный характер геологической информации. К сожалению, горно-геометрические расчеты внедряются в практику проектирования недостаточно успешно. Как отмечает проф. В. С. Хохряков, один из существенных недостатков многих работ состоит в том, что программы и алгоритмы не оформляются для передачи их пользователю и потому не находят широкого распространения [55].

По нашему мнению закончился тот период, когда предлагались малообоснованные математические методы проектирования карьеров, единственным аргументом которых было субъективное мнение авторов. В лучшем случае такие работы завершались экспериментальными расчетами, выполненными самими авторами. Алгоритмы и программы не опробовались другими исследователями из-за отсутствия соответствующей технической документации.

Постановка проблемы создания САПР определяет значительные видоизмененные требования к созданию подсистем горно-геометрических расчетов. Прежде всего, это касается информационного обеспечения САПР и горно-геометрических расчетов в частности.

В настоящее время практических результатов можно достичь на следующей основе.

1. Необходимо разделение горно-геологической информации на типы, так как организация и хранение в памяти ЭВМ картографических данных существенно отличается от такового процесса по данным первичной геологической разведки. Методы организации информации о положении горных выработок значительно отличаются от организации данных по скважинам. Следовательно, для создания универсальной информационной основы построения моделей месторождений необходимо разработать принципы формирования, хранения и актуализации трех типов данных: картографических, первичной геологической разведки и о положении горных выработок.

2. В качестве исходной информации для построения моделей следует отдавать предпочтение «синтезированным» исходным данным (карта, пластопересечение, границы рудных тел, линии разделя сред, кровля, почва и т. д.). Это обусловлено тем, что синтез первичных материалов не всегда поддается формализованным выводам. Кроме того, для получения «синтезированной» информации специалисты привлекают качественные данные. Следовательно, необходимо установить прежде глубину такого «синтеза», что особенно касается первичной геологической информации.

3. В связи с бесконечностью информации о месторождении, используемой на разных уровнях его изучения, следует определить тот необходимый и достаточный уровень ее укрупнения для целей проектирования. Если для решения многих задач проектирования нет особой нужды в знании минералогического состава руд и результатов их технологической переработки, то для задач технологического картирования такая информация очень важна. Тем не менее исследования представительности информации на уровне проектирования вообще отсутствуют. Сюда же тесно примыкает проблема достоверности информации в связи с вероятностной ее природой.

4. Стало настоятельно необходимым автоматизировать ввод в ЭВМ информации о месторождении. Еще более существенна проблема вывода графической информации. Визуальная информация играет огромную роль в проектном процессе, так как графический язык выполняет функции базисного языка. Именно поэтому при автоматизации проектирования акцент сместился в сторону визуальной взаимосвязи «человек — машина». Значимость работ в данном направлении трудно переоценить. Если как-то решаются вопросы частичной автоматизации ввода информации и вывода графических образов, то исследования процесса активного графического диалога с ЭВМ при автоматизации проектирования карьеров практически не ведутся.

5. Особо следует сказать о формализации технических решений при горно-геометрических расчетах. Здесь необходимо в сжатом виде задать основные параметры технических решений с целью построения в ЭВМ модели карьера и его взаимодействия с моделью месторождения для получения количественных оценок результатов технических решений. Особенно важна эта задача для организации процесса активного диалога проектировщика с ЭВМ.

§ 1.2. ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Основная задача горно-геометрических расчетов на стадии проектирования заключается в моделировании взаимодействия двух подсистем — геологической и технической с целью получения количественных оценок технических решений. В информационном

плане названные подсистемы отображаются различной по природе и достоверности информацией.

Геологическая подсистема отображается определенным набором интегрированной информации геологического и морфологического плана и включает следующие компоненты: топографию рельефа дневной поверхности; морфологию залегания полезного ископаемого; описание взаимного расположения геологических объектов (рудных тел, пластов, жил и т. п.); качественные характеристики полезного ископаемого (количественное содержание полезных и сопутствующих элементов по геологическим объектам и их частям, сорта полезного ископаемого и др.); описание физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород и т. д. Перечисленные компоненты информации о месторождении отображаются не средними их значениями, а представляются во всем многообразии их изменения в пространстве.

Каждая отдельная компонента информации геологической подсистемы представляется с определенной достоверностью. Так, если рельеф дневной поверхности может отображаться с достаточной степенью точности (ввиду легкой доступности съемочных работ), то морфология пластов, контуры рудных тел и т. д. в целом всегда несут элементы погрешности. Источниками погрешностей являются объективные и случайные факторы. Сказываются не только погрешности измерений и анализов, но и экономические факторы. Утверждая это, мы исходим из экономического понятия полезного ископаемого. Это означает, что под влиянием технического прогресса, с открытием новых аналогичных месторождений или их исчерпанием контуры запасов могут изменяться со временем в пространстве недр. Совокупность действия различных факторов приводит к тому, что большая часть исходной геологической информации носит вероятностный и неопределенный характер.

Применительно к горно-геометрическим расчетам погрешности геологической информации вызывают погрешности количественного определения натуральных показателей (объемов вскрытия, полезного ископаемого и др.) при моделировании взаимодействия геологической и технической подсистем.

Погрешностям геологической информации уделяется большое внимание [55]. В значительной части работ точность геологической информации находит свое отражение через интегральный показатель — объем запасов. Однако, как отмечено в [56], среди исследователей нет единого мнения в данном вопросе даже по принципиальным положениям, о чем свидетельствует табл. 1.1, в которой представлены пределы погрешности определения запасов (%) по данным различных авторов.

Важные показатели компонент геологической информации — мощности пластов и рудных тел, углы падения и простирации, содержание полезных и сопутствующих элементов.

Достаточно обширный обзор работ о сравнении данных геологической разведки с результатами эксплуатации месторождений показал, что расхождения могут быть весьма значительны, осо-

Таблица 1.1

Категория запасов	АН СССР 1939 г.	По В. М. Крейтеру	По В. В. Померанцеву		Категория запасов	АН СССР 1939 г.	По В. М. Крейтеру	По В. В. Померанцеву	
			Венгрия	Румыния				Венгрия	Румыния
A	10—20	15—20	±25	±10	C ₁	Не было	30—60	±50	±40
B	30—50	20—30	±35	±20	C ₂	»	60—90	±100	±80

бенно по отдельным участкам, хотя в целом по месторождению они невелики [55].

Попытки учесть вероятностный характер геологических данных при проектировании карьеров и шахт предприняты многими авторами [57—59, 35, 60]. Однако говорить о сформировавшейся методологии вероятностного проектирования пока не представляется возможным. Большинство теоретических работ сводится к тому, что технические решения получаются по детерминированным моделям, а затем путем многократного сканирования по всему вектору переменных, в пределах их наиболее вероятного изменения, получают область оптимизации.

Таким образом, информационный базис геологической подсистемы является вероятным. Однако вероятностный характер данных и законы их распределения устанавливаются по месторождению в целом в виде отклонений от средних значений. Особенность же геологического строения указывается на картах и геологических профилях и при проектировании используется в максимальной степени. При этом какие-нибудь вероятностные методы оценки неопределенности информации, представленной на геологической документации, не используются. Но иных методов пока нет, хотя теоретические исследования ведутся.

Наша работа не является исключением. Развиваемый здесь аппарат формируется на детерминированных геологических моделях. Подобный подход отнюдь не лишает возможности актуализации моделей с получением новой информации о месторождении.

Применение ЭВМ для решения горно-геометрических задач обусловило появление новых проблем, ранее не обсуждавшихся в теории проектирования карьеров. Одна из таких особенностей связана с созданием информационного обеспечения. Основные источники его — два совершенно различных вида сведений: данные первичной геологической разведки (по скважинам или иным выработкам); данные, закодированные на картографической документации (разрезы, планы и т. д.).

Особое место занимает информация, представляемая на картографической документации. Она является единственной, традиционно устоявшейся, при проектировании карьеров она позволяет решать многие задачи. Вместе с тем удобная и привычная графическая форма ее представления не соответствует требованиям и

возможностям современных средств анализа информации. То же можно сказать об отображении графических объектов в ЭВМ во всех прикладных областях знаний, где требуется обработка информации, представляемой в графической форме. Например, в задачах геологического плана, где проблема ввода графической информации в ЭВМ стала одной из важнейших, и от ее успешного решения зависит успех направления в целом [60—65], в задачах, связанных с использованием графических данных о рельефе местности [66, 69], планировки и размещения объектов строительства [70], инженерной графики [71] и т. д.

Несмотря на то, что графические методы решения самых разнообразных задач прослеживаются на протяжении всей истории технической мысли и являются важнейшим орудием исследования, эти методы не реализуются в традиционной постановке современными средствами анализа на ЭВМ. Это образно подчеркнуто в [72, с. 28]: «В настоящее время в области кибернетики стоит первоочередная задача — разработать такие формы представления данных ввода в ЭВМ, которые были бы доступны и человеку и ЭВМ. От этого зависит эффективность диалога человека с машиной, взаимодействия с ЭВМ в процессе совместной работы. В этом отношении ведущая роль принадлежит именно картографической форме отображения информации. Такова точка зрения ведущих советских и зарубежных ученых».

Идеальным было бы вводить в ЭВМ графические образы в традиционном их представлении и осуществлять с помощью специального обеспечения графические операции над ними. Однако, несмотря на интенсивные исследования, проводимые в этом направлении в области технической кибернетики, достигнутые результаты пока не имеют широкого применения.

Поскольку отсутствуют достаточно эффективные средства ввода картографических данных в ЭВМ, разрабатываются различные приемы и методы кодирования графических данных. Некоторые из предложенных методов трудоемки, другие — излишне упрощены ради снижения трудоемкости. В основном методы определяются концептуальной точкой зрения авторов. Общая же методология, которая позволила бы объединить результаты отдельных поисков в нечто целое, пока не создана. Несмотря на все их разнообразие, методы решения графических задач следуют, пожалуй, единственной возможной, сложившейся в данной ситуации тенденции — для решения горно-геометрических задач графическим методом не нужны уравнения геометрических образов, а для аналитического решения нет необходимости в графических построениях. Такая тенденция в целом характерна для обработки графической информации на современных ЭВМ [71].

Несмотря на трудности ввода в ЭВМ картографической информации, целесообразность ее использования при машинных методах решения горно-геометрических задач признается многими, и на этом пути достигнуты определенные успехи. На основе картографической информации были построены первые модели место-

рождений и формировались методы численного решения горно-геометрических задач.

Наряду с картографическими данными почти параллельно начали использоваться для построения цифровых моделей сведения геолого-разведочных работ по скважинам и другим горным выработкам. При всей перспективности этого направления говорить о широком его распространении пока невозможно. Причиной тому являются пока не решенные трудности машинного синтеза первичной информации в карту, разрез и т. д. К сожалению, еще нет достаточно эффективных машинных методов геометризации месторождений. Поэтому успехи здесь достигнуты на структурно простых месторождениях с пеглубоким залеганием и не подверженных тектоническим нарушениям.

Независимо от вида информации, для построения моделей в любом случае необходима организация в памяти ЭВМ больших массивов данных, удобных для дальнейшей обработки.

§ 1.3. ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Понятие математическая модель месторождения некоторыми авторами трактуется как определенный порядок представления данных о месторождении в ЭВМ: «...способ отображения исходной горно-геологической информации...» [31, с. 13], «...отображение реального объекта в цифровом виде в памяти вычислительной машины...» [31, с. 13—14], «...выражение формы и качественных характеристик месторождений с помощью цифр, математических символов и зависимостей, достаточно формализованное для решения горно-геометрических задач на ЭВМ» [38, с. 133]. В геодезической литературе используется понятие математическая модель рельефа местности, под которой подразумевается «...определенным образом упорядоченные в памяти ЭВМ данные о координатах и высотах опорных точек...» [8, с. 5]; «...просто статическое изображение непрерывной поверхности земли с помощью большого числа выбранных точек...» [69, с. 14].

В геодезической и геологической литературе модели участков земной поверхности и недр чаще называют цифровыми или информационными [69, с. 14].

В самом названии моделей, как отмечалось выше, авторы иногда отражают способ кодирования картографической информации: сеточная модель (информация снимается с карт тэлоповерхностей в узлах прямоугольной сетки) [31]; растровая модель (для снятия информации используется линейная палетка с определенной частотой линий в одной координатной плоскости) [40, 41]. Иногда в названиях моделей отражается способ представления геологических тел, разделительных линий или поверхностей: слоевая модель (описание контуров геологических тел координатами в плоскости разведочных профилей) [15, 21], блочная модель (представление данных элементарными ячейками заданного объема) [8, 27] и т. д.

Проф. В. С. Хохряков предложил разделить модели в зависимости от необходимой точности расчета, сложности геологических и технологических условий на простые геометрические, цифровые и аналитические [38, с. 135].

Особенность пластовых месторождений заключается в наличии четко выраженных контактов между полезными ископаемыми и вмещающими породами, отображаемых на геологической документации в виде гипсометрических планов или линий на разрезах: план рельефа дневной поверхности, планы изогипс кровли, почвы пласта, планы изомощности пластов, планы зольности и т. д.

Моделирование пластовых месторождений основывается на описании в цифровом виде топографических карт разделительных поверхностей и различных качественных характеристик полезного ископаемого [10, 66—68, 73, 74]. Элементом моделирования является отдельная карта разделительной поверхности. Чтобы внести ее в ЭВМ, необходимо каким-то из существующих способов снять высотные отметки опорных точек и зафиксировать их координаты. Поскольку возможности ЭВМ ограничены и процесс снятия координат достаточно трудоемок, информация снимается в ограниченных точках, т. е. создается цифровая модель разделительной поверхности. На основе таких данных с помощью некоторого оператора однозначно и с требуемой точностью можно определить значение высотной отметки в любой заданной точке, находящейся в области моделирования. Сумма моделей разделительных поверхностей и их качественных характеристик по всем пластам и рельефу в целом представляет модель месторождения.

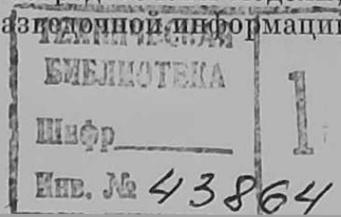
Для моделей разделительных поверхностей характерна связь между методом моделирования, способом организации данных и выбором источников информации для получения данных, хранимых в ЭВМ, стоимостью построения модели, затратами машинного времени на восстановление модели.

Методы моделирования разделительных поверхностей пластовых месторождений по способу подготовки данных делятся на три группы. Признаком группы является принцип учета геоморфологических особенностей участков поверхностей.

К первой группе относятся модели, не отражающие формально особенностей геоморфологии на отдельных экстремальных участках поверхности. Данные по этой группе представляются регулярными массивами. Здесь каждая точка сопровождается одной координатой (z_i) — высотной отметкой, а две другие (x_i, y_i) вычисляются согласно номеру точки в массиве.

Ко второй группе моделей относятся такие, в которых предусматривается формальное описание экстремальных участков специальными структурными линиями или путем организации связей между опорными точками. Модели, относящиеся ко второй группе, представляются нерегулярными массивами данных по опорным точкам и линиям.

В третьей группе сосредоточены модели, формируемые по данным геометризации разведочной информации по скважинам. Опор-



ними точками служат координаты точек пластопересечений по скважинам. Как правило, это перегулярные модели, так как расстояние между скважинами (особенно геологической разведки) не укладывается в регулярную сетку.

Важная характеристика цифровых моделей месторождений — плотность информации. Ею определяется трудоемкость подготовки данных, а следовательно, производительность, стоимость переработки и хранения информации.

Для моделей первой группы (по сравнению со второй) характерна более высокая плотность информации, что затрудняет длительное хранение и обуславливает трудоемкость обработки информации. Для них практически не существует эффективных средств актуализации данных. Малейшее изменение в массивах данных (коррекция ошибки, ликвидация опорных точек или их дополнение) требует повторного ввода всех массивов, а в некоторых случаях и переработки программ обработки данных. Построение на регулярных данных аналитических моделей, с целью уменьшения объема хранимой информации, не избавляет от этих недостатков.

Вторая группа моделей, при разной точности описания разделительных поверхностей, требует меньшей плотности информации, чем первая. Здесь играет роль не формальный математический аппарат, а значение свойств и особенностей моделируемой топографической поверхности. Главный фактор, обеспечивающий высокую точность моделирования, — структурные линии. В них помимо метрических данных в неявном виде содержится синтаксическая информация, устанавливающая количественные и качественные изменения закона интерполяции. Структурные линии отражают реально существующие на местности границы водоразделов, тектонических нарушений и т. д.

С появлением средств автоматизации ввода графической информации в ЭВМ моделирование по гипсометрическим планам получило дальнейшее развитие. При этом хорошо автоматизируется ввод графической информации по моделям второй группы, чего нельзя сказать о моделях первой и третьей группы, особенно регулярных сеточных, построение которых вообще невозможно автоматизировать.

Покажем на примерах принципы построения цифровых моделей разделительных поверхностей. На рис. 1.1 показан фрагмент плана рельефа дневной поверхности в изолиниях.

Для построения сеточной модели необходимо нанести на план разделительной поверхности сетку с равным шагом по осям OX и OY (рис. 1.1, a), пронумеровать линии сетки, в ее узлах снять высотные отметки (z_i) и занести их в двумерную таблицу (табл. 1.2). Отметим важную особенность подготовки данных этим способом — необходимость интерполяции высотных отметок в узлах сетки ввиду несовпадения их с изолиниями значительно затрудняет съем информации, а способность автоматов фиксировать только плос-

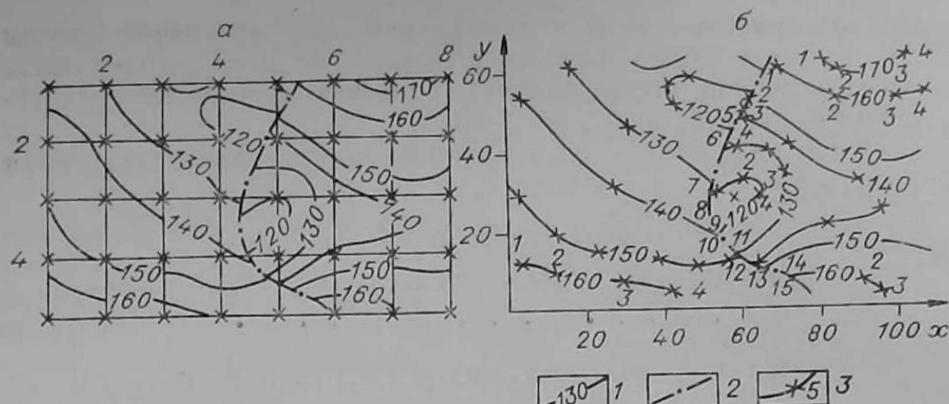


Рис. 1.1. Фрагменты дискретных цифровых моделей топоповерхностей:
а — регулярной сеточной; б — структурно-координатной. 1 — изолинии топоповерхности; 2 — структурная линия (тектоническое нарушение); 3 — пункты фиксации признака.

координаты (x_i, y_i) не позволяет снимать автоматически высотную отметку. Процесс не поддается автоматизации.

Построение структурно-цифровой модели начинается с определения начала отсчета координат и нанесения на план структурных линий (если в этом есть необходимость). В представленном примере (рис. 1.1, б) начало отсчета системы координат выбрано в левом нижнем углу. Затем начинается съем данных по изолиниям, структурным линиям и экстремальным точкам топографических поверхностей. В результате каждая изолиния отображается

Таблица 1.2

	1	2	3	4	5	6	7	8			
z	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	
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	20K	
z	x	y	z	x	y	z	x	y			
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;				
150, 60,	18;	130,	58	13;	140,	63,	10;				
160, 72,	7;	K									

Примечание. I — информация по сеточно-регулярной модели; II — III — соответственно информация по изолиниям и по структурной линии.

в кусочно-линейном виде в точках перегиба кривизны, причем стрела прогиба между кривой и хордой не должна превышать обычных допусков, установленных точностью проведения горизонталей на картах, т. е. 0,2—0,3 мм.

В общем виде данные по изолиниям записываются следующим образом:

$z_1; x_{1,1}, y_{1,1}, x_{1,2}, y_{1,2}, \dots, x_{1,n}, y_{1,n};$

$z_2; x_{2,1}, y_{2,1}, x_{2,2}, y_{2,2}, \dots, x_{2,k}, y_{2,k}.$

• • • • • • • • •

$z_m; x_{m,1}, y_{m,1}, x_{m,2}, y_{m,2}, \dots, x_{m,l}, y_{m,l};$

$z_m, x_{m,l}, y_{m,l}$ — соответственно высотная отметка m -ой горизонтали и координаты точки l на горизонтали m .

Данные по структурным линиям фиксируются в виде триад:

$x_{1,1}, y_{1,1}, z_{1,1}; x_{1,2}, y_{1,2}, z_{1,2}; x_{1,k}, y_{1,k}, z_{1,k}$

• • • • • • • • •

$x_{n,1}, y_{n,1}, z_{n,1}; x_{n,2}, y_{n,2}, z_{n,2}; \dots; x_{n,n}, y_{n,n}, z_{n,n};$

$x_{n,n}, y_{n,n}, z_{n,n}$ — соответственно координаты и высотная отметка точки на структурной линии n .

Экстремальные точки разделительных поверхностей фиксируются в виде набора пикетов:

$x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \dots; x_k, y_k, z_k,$

где x_k, y_k, z_k — координаты и высотная отметка k -ой экстремальной точки.

Фрагменты записей информации по общим примерам моделей показаны в табл. 1.2.

Нетрудно заметить, что высотные отметки по изогипсам фиксируются по каждой из них только раз. Однако возникают дополнительные трудности в замере координат. «Ручной» способ измерения делает метод моделирования по изогипсам весьма трудоемким, но при использовании кодировщиков графической информации съем координат (x, y) производится автоматически в местах фиксирования опорных точек, что снижает трудоемкость построения моделей.

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.

Что касается качественных показателей полезного ископаемого, то методы их моделирования аналогичны методам моделирования разделительных поверхностей, так как геологическая документация по ним может представляться также в виде карт в изолиниях.

Плотность информации в моделях третьей группы значительно ниже, чем первой и второй. Однако модели имеют существенный недостаток при резко пересеченном рельефе дневной поверхности, так как частота сетки разведочных скважин не адекватна требуемой частоте опорных точек представления рельефа.

Подводя итоги описания принципов моделирования пластовых месторождений, необходимо заметить, что в настоящее время пока нет серьезных теоретических работ, вскрывающих основы применения методов моделирования. Все методы и обоснования к ним носят эмпирический характер и заимствованы из теории подсчета геологических запасов и методов маркшейдерской обработки информации.

Многолетняя отечественная и зарубежная практика показывает, что восстановление моделей наиболее приемлемо по линейным интерполяционным схемам. Нелинейная интерполяция не всегда приводит к положительным результатам.

Изложенные принципы моделирования носят общий характер. Используемые в промышленных условиях методы моделирования опираются на разные сочетания классов моделей, подчиненных одной цели — наилучшему приближению моделей к реально существующим разделительным поверхностям.

Кроме изложенных здесь принципов отображения разделительных поверхностей по изогипсам применяются методы отображения условными геологическими разрезами по разделительным поверхностям и по вертикальным геологическим разрезам.

Они разработаны нами и описаны в § 1.4 и 1.5.

§ 1.4. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО УСЛОВНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ПРОФИЛЯМ НА ОСНОВЕ ГИПСОМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

Процесс построения модели слагается из следующих последовательных операций:

- выбирается система координат и строится план расположения условных геологических профилей (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 месторождения будут находиться в пределах $-\infty z_i < \infty$; $x_i > 0$; $y_i > 0$. Система координат может быть прямоугольной и цилиндрической (полярной). Допустимо совмещение обеих систем по обусловленным правилам.

Начало отсчета системы координат располагается в достаточно удаленном месте от предполагаемой верхней границы карьера

со стороны борта погашения. Направление оси OZ и отсчет высотных отметок по ней принимаются по данным геолого-маркшейдерской документации. Направление оси OY противоположно падению пластов, ось OX направлена по простирации.

Если провести вертикальные плоскости, параллельные OY , через точки, фиксированные на оси OX , то площадь месторождения будет рассечена серией вертикальных профилей. При этом, если последние выполнить в характерных местах, то каждый профиль будет определять однородный участок месторождения.

При выборе системы координат и построении плана УГП на конкретных месторождениях могут встречаться следующие условия:

- углы простираания пластов практически не изменяются;
- углы простираания пластов изменяются резко на отдельных участках месторождения;
- месторождение представлено синклинальными или антиклинальными замкнутыми структурами.

Для первого типа форм залегания месторождения используется прямоугольная система координат (рис. 1.2, а). Начало системы отсчета координат выбирается у одного из флангов месторождения.

В случае резкого изменения углов простираания пластов предварительно необходимо выделить отдельные участки месторождения, руководствуясь следующим: вытянутые по форме участки должны помещаться в прямоугольную систему координат, а участки с резко изменяющимися углами простираания — в полярную систему. Допускается любое количество последовательных комбинаций систем при условии, что начало отсчета линейных координат в полярной системе (полюс) должно располагаться на оси OX прямоугольной системы. Из намеченных полюсов проводится пара лучей, ограничивающих криволинейный участок месторождения (из точки O лучи OE и OC , из точки O_1 лучи O_1B и O_1D , рис. 1.2, б). Если криволинейных участков больше двух, ограничивающие лучи должны быть проведены под прямым углом к линии, соединяющей полюса полярных систем ($OE \perp OO_1$, рис. 1.2, б).

Линии УГП проводятся в виде лучей, исходящих из центра полярной системы, а на плоскости, охватываемой прямоугольной системой, — перпендикулярно OX . Нумерация линий УГП сквозная независимо от принадлежности их к системе.

Для синклинальных форм месторождения используется полярная система координат (рис. 1.2, г). Полюс системы помещается в центре складки. В случае незамкнутых складок полюс системы отсчета располагается за верхней границей борта погашения (рис. 1.2, в). Из полюсов проводятся линии УГП и нумеруются.

Частота линий УГП связана, с одной стороны, с уменьшением ошибок аналогий, а с другой — с трудоемкостью построения модели. Существует предел, при котором нет смысла увеличивать количество УГП, так как увеличение объема подготовки и переработки информации уже не будет оправдываться приближением данных модели к аналогу.

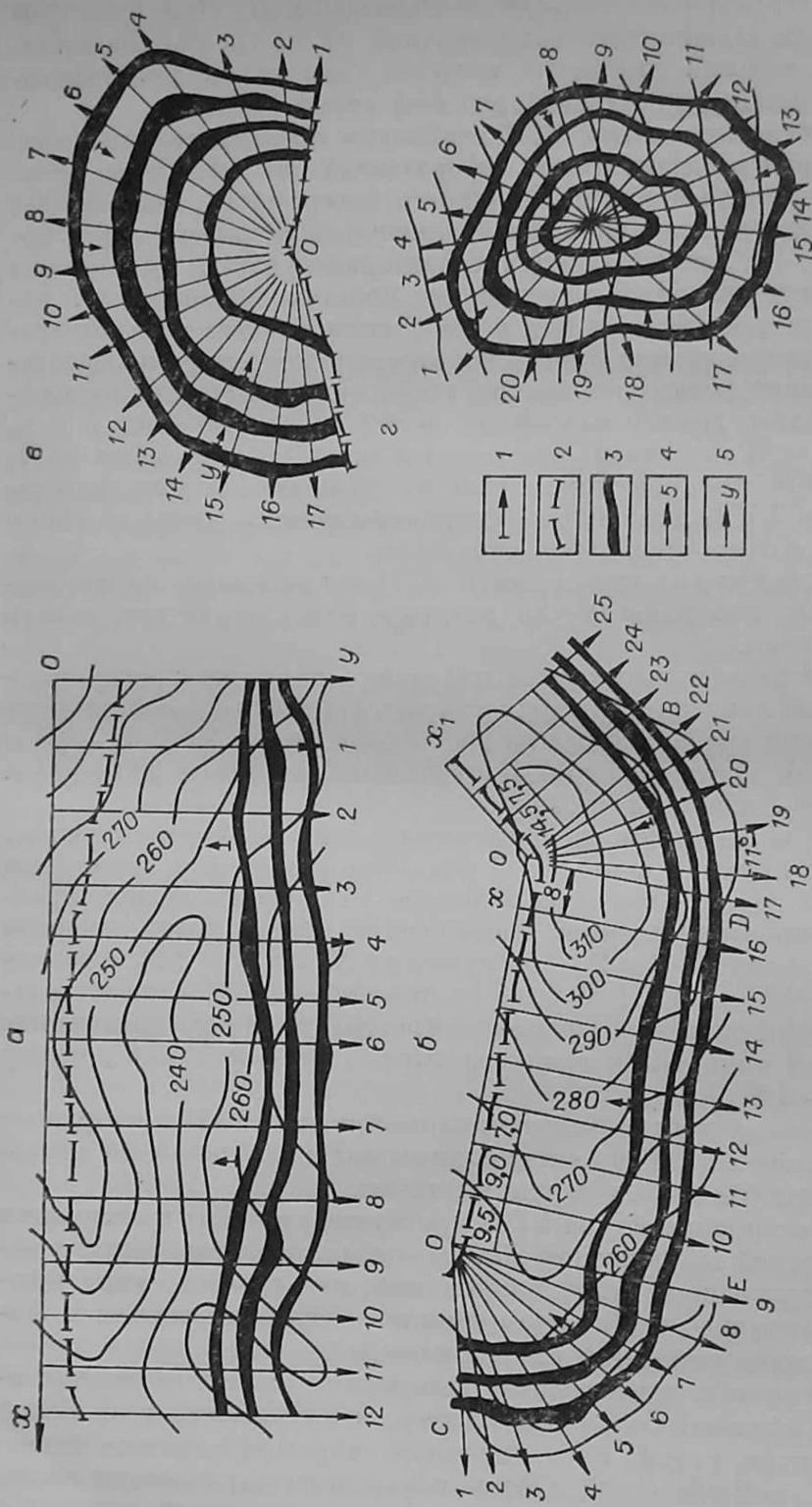


Рис. 1.2. Возможные варианты условий для месторождений с различными формами залегания в плане:

а — выпиленные по прямому (прямоугольная система координат); б — с изменяющимися углами простирания (сочетание прямолинейной и полярной систем координат); в — синклинальные складки (поларная система координат). 1 — направление прямого простирания; 2 — направление падения пласта; 3 — выход пласта под насыпь; 4 — направление линий УПП; 5 — направление осей координат.

Ошибки аналогии получаются вследствие преобразования реальных геометрических форм приближенными. При этом точность модели должна быть равнозначной на любом участке месторождения, что при плоскостно-координатном методе моделирования достигается неодинаковой частотой линий УГП.

Для построения плана УГП необходим предварительный анализ геометрии разделительных поверхностей (рельеф, почва, кровля). В результате анализа выявляется поверхность, гипсометрия которой подвержена наибольшей изменчивости (критическая поверхность). На ней выделяются характерные участки по наличию резких изменений углов простирации пластов, тектонических нарушений, линий слияния или расщепления пластов по простирации, границ резких изменений углов падения, границ водоразделов и долин, границ карьерных полей по простирации и т. д. После анализа экстремальные участки заключают линиями УГП, а в пределах каждого такого участка назначаются дополнительные линии УГП. Их цель — аппроксимировать криволинейные участки кусочно-линейными отрезками.

После построения плана линий УГП его переносят на все разделительные поверхности, по которым будет строиться модель месторождения.

Многолетняя практика использования плоскостно-координатных моделей показала, что точность моделирования удовлетворяет практическим требованиям при расстояниях между УГП 50—100 м для условий месторождений Кузнецкого бассейна и 200—300 м для Канско-Ачинского бассейна.

Данные о взаимном расположении линий УГП фиксируются. В качестве примера в табл. 1.3 показана запись для некоторого числа УГП. Видно, что первые четыре УГП расположены параллельно и пространственное соотношение между ними измерено в метрах (между № 1 и 2 — 50 м; между № 2 и 3 — 120 м; между № 3 и 4 — 100 м). УГП № 5 и 6 по отношению к № 4 представлены в полярной системе координат и пространственное соотношение между ними измерено в градусах (между № 4 и 5 — 5,5°; между № 5 и 6 — 4,5°).

На основе данных о взаимном расположении УГП и координат опорных точек в ЭВМ по специальным алгоритмам можно вычислить координаты любых заданных точек.

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 снимают в опорных точках по линиям УГП качественные и геометрические данные.

По назначению качественные показатели угольных месторождений подразделяются на показатели, используемые для общей характеристики углей, и специальные, характеризующие технологические свойства углей. Общие показатели выражаются массовой концентрацией различных физических единиц и обозначаются

Таблица 1.3

№ УГП	Расстояние между УГП, м	Угол между УГП, м
1		
2	50	
3	120	
4	100	
5	—	5,5
6	—	4,5
7	40	

Таблица 1.4

Марка угля	Стадия окисления	Категория запасов	Представление качественных признаков в ЭВМ
K6	II	A	OK6002AO
1Ж26	I	C ₍₁₎	1Ж2601C1
2СС	I	B	2СС001B0
ОС	—	C ₍₂₎	ООСООС2
БЗ	—	A	ОБЗОООАО

условными индексами. Примером обобщенного показателя для углей является марка угля и его группа. В связи с тем, что существуют государственные стандарты на обозначения общих показателей угля, нет необходимости прибегать к искусственному их кодированию.

Из общих показателей в практике проектирования и планирования открытых горных работ используются марки угля, стадии окисления, категории запасов. Перечень общих показателей записывают по принципу, представленному в табл. 1.4. К специальным показателям качества чаще всего относятся зольность, влажность, выход летучих, калорийность, содержание серы и др. Данные о них фиксируются в точках изменения качества.

Основной документацией для получения информации о геометрии месторождения служат одномасштабные планы гипсометрии пластов и дневной поверхности. Информацию снимают по всем разделительным поверхностям по каждой линии УГП в виде табулированных функций:

$$(Z_i^R; Z_{i,j}^k; Z_{i,j}^n; M_{i,j}; S_{i,j}; P_{i,j}) = f(y), \quad (1.4.1)$$

где Z_i^R — таблица значений высотных отметок рельефа дневной поверхности на i -ом УГП;

$Z_{i,j}^k; Z_{i,j}^n$ — таблицы значений высотных отметок на i -ом УГП j -го пласта соответственно по кровле и почве;

$M_{i,j}$ — таблица значений мощности j -го пласта на i -ом УГП;

$S_{i,j}$ — таблица значений качественных показателей на i -ом УГП j -го пласта;

$P_{i,j}$ — таблица значений мощности внутренних породных прослоев j -го пласта i -го УГП.

В зависимости от сложности месторождения и отдельных его пластов в геологической документации данные по пластам могут быть представлены различными документами: 1) гипсометрией кровли и почвы пласта; 2) гипсометрией почвы пласта и данными о мощности пласта по геологическим блокам; 3) гипсометрией кровли пласта и значениями его мощности по геологическим блокам. Для каждого из этих вариантов документации набор данных

формируются табулированными функциями вида

$$(Z_{i,j}^k; Z_{i,j}^{\pi}; S_{i,j}; P_{i,j}) = f(y); \quad (1.4.2)$$

$$(Z_{i,j}^{\pi}; M_{i,j}; S_{i,j}; P_{i,j}) = f(y); \quad (1.4.3)$$

$$(Z_{i,j}^k; M_{i,j}; S_{i,j}; P_{i,j}) = f(y), \quad (1.4.4)$$

где $Z_{i,j}^k, Z_{i,j}^{\pi}$ — высотные отметки i -ой точки соответственно по кровле и почве j -го пласта; $M_{i,j}, P_{i,j}$ — мощность пласта и породного прослойка в i -ой точке j -го пласта; $S_{i,j}$ — качественные показатели в i -ой точке j -го пласта.

Данные о рельефе дневной поверхности снимают с топографических карт и представляют также в виде

$$Z_i^R = f(y). \quad (1.4.5)$$

Непосредственный процесс снятия данных осуществляется следующим образом. На каждом плане разделительной поверхности, совмещенном с планом УГП, на линиях УГП помечаются характерные опорные точки в местах пересечения изолиний с УГП, у границы выхода пласта под наносы, в местах перехода одних качественных показателей в другие, в местах тектонических нарушений и т. д. Количество опорных точек по линии каждого УГП должно быть достаточным для отображения 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 (s_i), мощности пласта (m_i), мощности природных прослоев (p_i) и удалении 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, нормальная мощность пласта не фиксируется (1.4.2). Если она снимается только по почве или только по кровле пласта, то фиксируется в опорных точках нормальная мощность пласта (1.4.3), (1.4.4). Все данные об опорных точках записываются в специальные таблицы и перфорируются.

Для примера формирования данных о месторождении на рис. 1.3, *а* представлен фрагмент плана изогипс кровли пласта, а на рис. 1.3, *б* — почвы этого же пласта. Условно принята марка угля К6 и одна зона окисления. На рисунке показаны характерные точки и расстояния удаления их от оси OX . Из специальных качественных показателей учитываются зольность (A) и содержание серы (s). Качественные показатели и мощность внутренних прослоев (p) представлены на плане изогипс почвы пласта (рис. 1.3, *б*) в границах геологических блоков подсчета запасов.

В табл. 1.5 показан пример записи информации для УГП № 25 (рис. 1.3, *а* и *б*). Поскольку для данного примера информация снимается и по кровле и по почве пласта, мощность пласта не фиксируется, а в ЭВМ в любой точке пласта она определяется по спе-

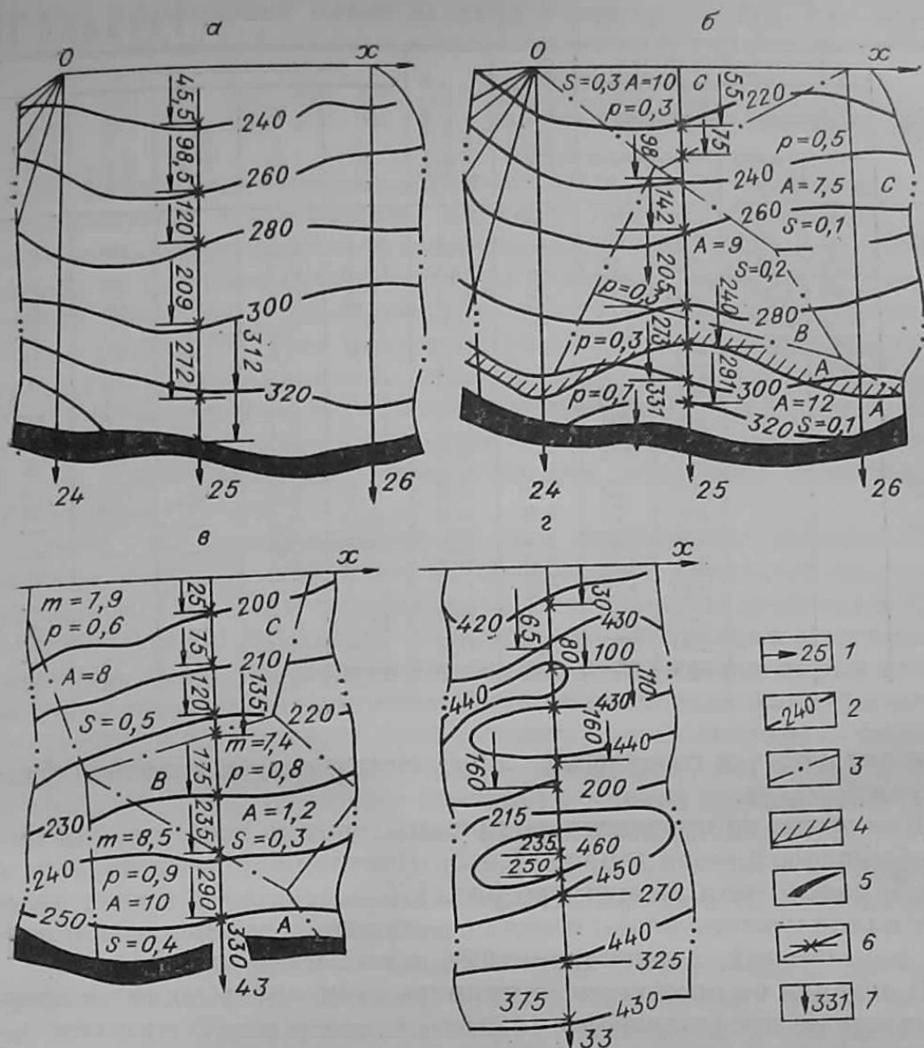


Рис. 1.3. Фрагменты топопланов разделительных поверхностей, совмещенные с планом линий УГП.

1 — линии УГП с их порядковыми номерами; 2 — изолинии; 3 — границы геологических блоков; 4 — граница линии окисления; 5 — выход пласта под насосы; 6 — точки, в которых фиксируется признак; 7 — расстояние фиксируемой точки от начала системы координат.

циальными алгоритмами на основе данных о положении линии кровли и почвы пласта в плоскости УГП.

Качественные показатели в данном примере снимаются с плана изогипс почвы пласта (рис. 1.3, б), поэтому места их фиксации «привязываются» к характерным точкам почвы пласта. В случае постоянства качественных обобщенных показателей разрешается запись их лишь в начальной и конечной точках (табл. 1.5, запись марки угля Кб). Это касается также категории запасов и границ зон окисления. Значения специальных показателей (в данном при-

Таблица 1.5

№ УГП	Координаты точек				Нормальная мощность пласта, м	Мощность подстилающего прослоя, м	Качественные показатели						
	Кровля		Почва				Зола, %	Сера, %	Марка угля	Зона окисле- ния	Катего- рия за- пасов		
	z	y	z	y									
25	240	45,5	220	55	—	0,3	10,0	0,3	K6	00	C		
	260	98,5	230	75	—	0,3	10,0	0,3	—	—	C		
	280	120	240	98	—	0,5	7,5	0,4	—	—	B		
	300	209	260	142	—	0,3	9,0	0,2	—	—	B		
	272	320	280	205	—	0,3	9,0	0,2	—	—	B		
	312	290	240	—	—	0,3	12,0	0,2	—	—	A		
		300	273	—	—	0,5	12,0	0,4	—	01	—		
		320	291	—	—	0,7	12,0	0,4	—	—	—		
		338	331	—	—	0,7	12,0	0,4	K6	01	A		
43	200	25	7,9	0,6	—	8,0	0,5	—	—	00	C		
	210	75	7,9	0,6	—	8,0	0,5	—	—	—	—		
	220	120	7,9	0,6	—	8,0	0,5	—	—	—	B		
	224	135	7,9	0,6	—	8,0	0,5	—	—	—	—		
	230	175	7,4	0,8	—	12,0	0,3	—	—	—	—		
	240	235	7,4	0,8	—	12,0	0,3	—	—	—	A		
	250	290	8,3	0,9	—	10,0	0,4	—	—	—	—		
	255	330	8,3	0,9	—	10,0	0,4	K9	00	—	A		

мере зольность и содержание серы) записываются в каждой фиксируемой точке.

Как видно из приведенного примера, модель построена согласно обобщенной выше записи (1.4.2). Получение модели по записи (1.4.3) рассмотрим на примере рис. 1.3, г, где представлен фрагмент плана изогипс почвы пласта с данными о его мощности и других показателей, зафиксированных в геологических блоках.

В отличие от предыдущего примера съем информации по кровле пласта не предполагается (например, ввиду отсутствия этой документации), поэтому все необходимые данные снимаются с одной поверхности.

В табл. 1.5 показан пример записи информации (УГП № 43) для рис. 1.3, г. Здесь данные по кровле отсутствуют, но заполнена колонка значений мощности пласта в фиксируемых точках. Другая информация записывается по аналогии с предыдущими примерами.

Совершенно аналогично строится модель, соответствующая обобщенной записи (1.4.4). В отличие от записи (1.4.3) модель здесь создается только по плану изолиний кровли пласта.

Для съема данных о рельефе дневной поверхности обратимся к примеру, показанному на рис. 1.3, в, где представлен фрагмент карты рельефа дневной поверхности в изолиниях высотных отметок. На карте проведена линия УГП № 33. Характерные точки намечены в местах пересечения изолиний с линией УГП, а также в экстремальной высотной точке. Удаление характерных точек от оси OX на рис. 1.3, в зафиксировано. Покажем пример записи

данных о положении линий рельефа в плоскости УГП (см. обобщенную запись (1.4.5)):

<i>z</i>	420	430	440	440	430	430	440	450	460	455	460	450	440	430
<i>y</i>	30	65	80	100	110	160	180	200	215	235	250	270	325	375

На приведенных примерах рассмотрены все возможные случаи использования геологической документации для построения модели месторождения. Плоскостно-координатный метод построения модели не налагает ограничений на равенство количества фиксируемых точек по разным разделительным поверхностям в плоскости одного УГП. Они фиксируются для каждой разделительной поверхности индивидуально, отражая ее геоморфологические особенности. В практике количество фиксируемых точек по одной разделительной поверхности в плоскости УГП колеблется в пределах $2 \div 50$. Меньший предел характерен для спокойных геоморфологических структур.

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 производят контроль по следующим логическим правилам: 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 должна превышать мощности 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 возможность корректировки данных.

В процессе ввода параллельно с контролем безошибочно воспринятая информация по УГП преобразуется к однотипному виду: каждая разделительная линия по координатам опорных точек представляется в виде отдельной табулированной функции $z = f(y)$. При этом используются только опорные точки. Если информация по пласту снималась по одной из разделительных поверхностей, вторая поверхность в ЭВМ восстанавливается по фиксированной, с использованием следующих выражений:

$$y'_i = y_i + a \cdot m_i \sin(\beta);$$

$$z'_i = z_i - a \cdot m_i \cos(\beta);$$

$$\beta = \arctg[(z_{i+1} - z_i)/(y_{i+1} - y_i)],$$

где y_i , z_i — соответственно удаление точки i от начала координат и ее высотная отметка на моделируемой поверхности; y'_i , z'_i — тоже, на восстанавливаемой поверхности; m_i — нормальная мощность пласта в точке i ; β — угол падения пласта на интервале между точками i и $i+1$; a — коэффициент: $a = 1$ при восстановлении кровли пласта, $a = -1$ при восстановлении почвы пласта.

Качественные показатели «привязываются» к координатам опорных точек почвы каждого пласта. Однотипность представления данных в модели (несмотря на разные принципы их съема с геологической документации) уменьшает количество программ работы с моделью при горно-геометрическом анализе.

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 многолетней проектной практикой. Отклонения от данных подсчета запасов ГКЗ не превышают $\pm 3\text{--}4\%$. Это вполне приемлемо для практических целей.

Что касается уменьшения трудоемкости построения моделей посредством использования кодировщиков графической информации, то она уменьшается при этом способе примерно в таком же порядке, как и в других группах моделей.

§ 1.5. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАЗРЕЗАМ

Построение модели месторождения по геологическим вертикальным разрезам (или профилям) менее трудоемко по сравнению с описанным выше методом использования топографических планов. Процесс формирования данных с вертикальных разрезов включает следующие основные операции:

- выбор системы координат;
- запись координат характерных скважин на разведочных линиях;
- снятие геометрических и качественных характеристик в плоскости каждого профиля геологической разведочной линии.

Выбор системы координат. В отличие от аналогичного процесса при снятии информации с топоповерхностей выбор системы координат здесь не требует особых построений. Используется принятая координатная сетка, по система отсчета — условная. Начало системы отсчета располагается в одном из верхних или нижних углов сетки, обязательно за пределами борта погашения работ проектируемого (или существующего) карьера (рис. 1.4).

Единственным ограничением является положительность координат x и y . Координата z может иметь как положительное, так и

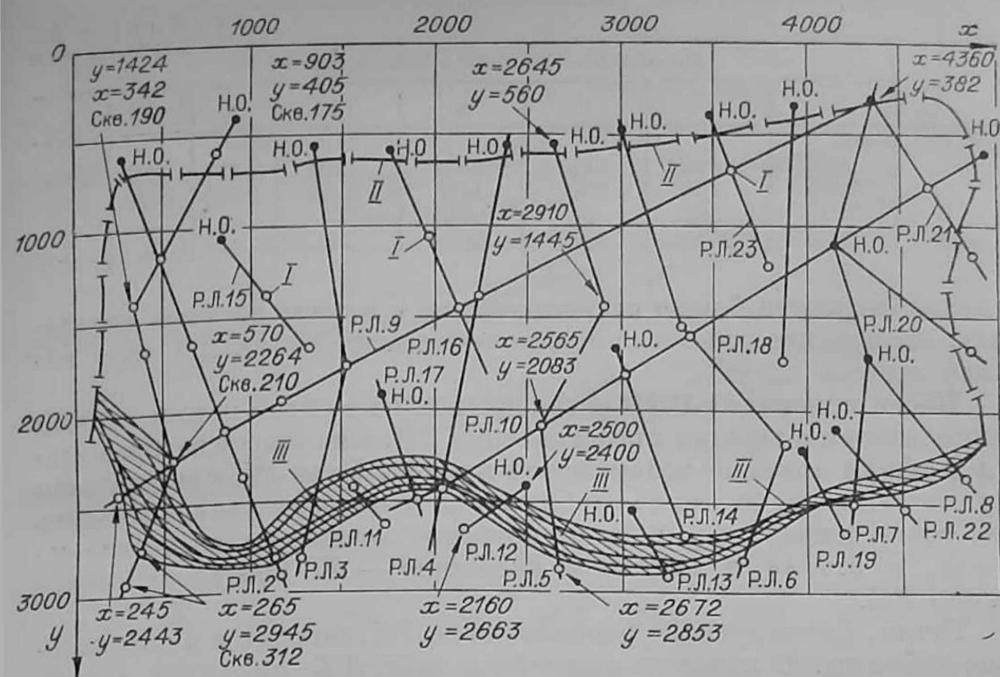


Рис. 1.4. Фрагмент плана участка месторождения с разведочными линиями.
 Усл. обозн.: РЛ — разведочные линии и их порядковые (условные) номера; НО — точка РЛ, в которой зафиксировано ее начало (координаты x и y); I — скважины в местах излома РЛ; II — граница горного отвода со стороны борта погашения карьера; III — зона выхода пластов под насосы.

отрицательное значение. Таким образом, любая точка в ней может быть представлена в виде $a\{x_i, y_i, \mu_i\}$, где μ_i — либо высотная отметка, либо какая угодно качественная характеристика точки a , зафиксированная координатами x_i и y_i .

Данные о расположении геологических разведочных профилей. Цель данной операции заключается в фиксации координат по каждой разведочной линии (РЛ). Фиксации подлежат координаты скважин, расположенных на концах (крайних границах) РЛ и в точках ее излома.

По всем разведочным линиям, независимо от их длины, пропускаются номера. Каких-либо ограничений на порядок формирования номеров не накладывается, но, однако, желательна территориально упорядоченная нумерация.

Конфигурация РЛ может быть ломаной, возможны также пересечения РЛ. На РЛ могут быть представлены лишь отдельные пласти или их участки, т. е. необязательно использовать только геологические профили, на которых имеется информация о всех пластах.

После нумерации всех РЛ решается вопрос о начальных и конечных точках (скважинах), ограничивающих РЛ. В качестве примера на рис. 1.4 представлен план расположения РЛ на условном месторождении. Как видно, конфигурация РЛ самая различная. Несмотря на это, начальной скважиной на каждой РЛ в любом

Таблица 1.6

№ РЛ	Координаты скважин в точках излома РЛ							
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	903	405	342	1424	570	2264	265	2945
5	2645	560	2970	1445	2565	2083	2672	2853
9	4360	362	245	2443	—	—	—	—
12	2500	2400	2160	2663	—	—	—	—

случае считается ближе расположенная к началу системы координат. На рисунке эти скважины помечены символами НО (т. е. начало отсчета на РЛ).

После нумерации РЛ и установления на каждой начала отсчета выполняется операция представления РЛ. Она может изображаться в общем ломаной незамкнутой кривой. Если РЛ представлена прямой линией, то для ее отображения необходимо зафиксировать две точки (скважины), одна из которых фиксируется в начале отсчета, а вторая в конечной скважине — на противоположном конце РЛ.

Точки, фиксирующие расположение РЛ, заносятся в специальные таблицы. В качестве примера в табл. 1.6 показана запись координат точек, характеризующих расположение четырех РЛ.

Снятие информации с профилей о геометрии пластов и рельефе месторождения выполняется в следующей последовательности. На каждой РЛ через скважину, являющуюся началом отсчета, проводится вертикальная линия (ось OZ), затем горизонтальная перпендикулярно оси OZ , которая принимается за ось OY' . В результате каждый геологический разведочный профиль (его развертка) увязывается в единую систему координат, так как известны все узлы его излома, зафиксированные в табл. 1.6. Такая увязка дает возможность снимать линейные координаты характерных точек по каждому профилю в своей локальной системе.

Характерными точками в геометрическом смысле являются такие, в которых геометрические характеристики (кривизна, угол наклона) разделительных линий в плоскости профиля изменяются. В общем случае на любой кривой необходимо взять столько узловых точек, чтобы ломаный контур, проведенный через них, максимально приближался к контуру описываемой кривой.

Кроме геометрических характерных точек выделяют границы, в которых изменяются качественные признаки полезного ископаемого или породы.

Информацию о рельефе представляют следующие компоненты: высотные отметки дневной поверхности; мощность рыхлой вскрыши; мощность продуктивного слоя. Набор указанных компонент необходим для решения вопросов, связанных с рекультивацией земель и формированием технологических схем обработки рыхлой вскрыши.

Процесс снятия информации рассмотрим на рис. 1.5, где представлен участок геологического профиля, вмещающего два пласта.

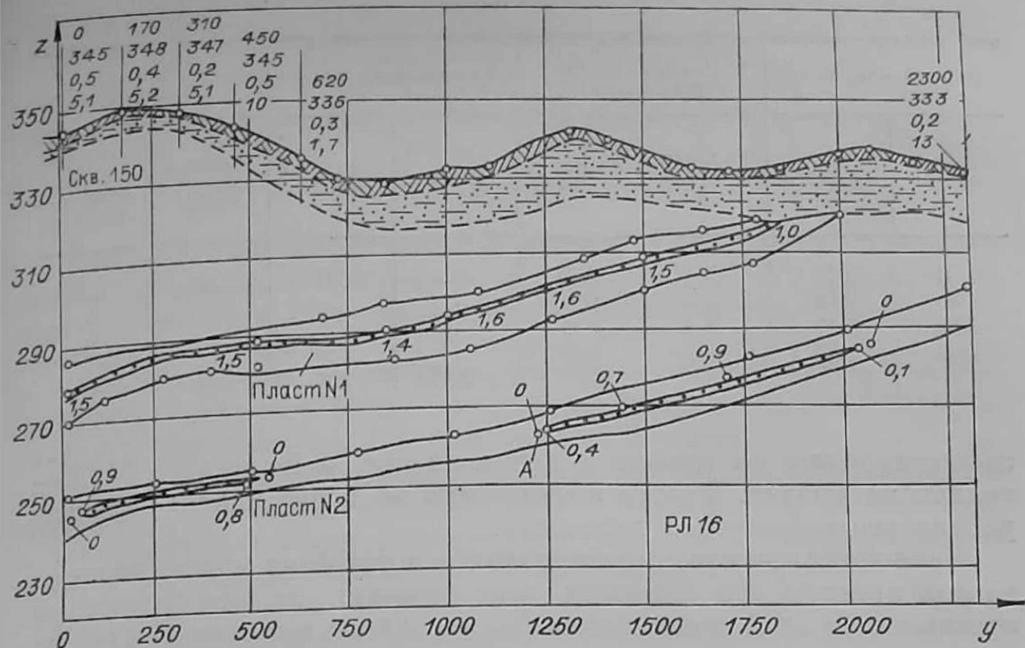


Рис. 1.5. Разрез по разведочной линии с расположением характерных точек по разделительным линиям.

Надписи у точек по линии рельефа (сверху вниз): 1 — y -ая координата точки; 2 — высотная отметка; 3 — мощность плодородного слоя; 4 — мощность наносов.

Чтобы снять информацию, профиль помещается в локальную систему координат, для чего через начальную точку отсчета (на рис. 1.5 скв. 150) проводится вертикаль (ось OZ). Затем перпендикулярно проводится горизонталь (ось OY'). Начало отсчета по OY располагается в точке пересечения с OZ . Тогда расположение любой точки в плоскости этой системы определяется замером расстояния (в миллиметрах) от оси OZ .

По линии рельефа намечаются характерные (узловые) точки и в каждой из них определяются высотная отметка (z_i), удаление точки от начала отсчета (y'_i), вертикальная мощность рыхлой вскрыши (m_i^l) и вертикальная мощность продуктивного слоя почвы (m_i^n).

В качестве примера в табл. 1.7 показана запись информации для нескольких точек по линии рельефа (согласно рис. 1.5, РЛ 16).

Геометрия залегания пласта в плоскости профиля отображается координатами точек, снятых по линии кровли и почвы пласта в характерных узлах. Кроме того, пласти могут быть представлены одной из разделительных линий (либо кровля, либо почва) и значением нормальной мощности пласта в узловых точках. Координаты точек снимаются в той же локальной системе координат, которая принята при снятии информации по рельефу.

На примере рис. 1.5 в табл. 1.8 представлены координаты точек, спятые по пластам № 1 и 2. По пласту № 1 координаты точек

Таблица 1.7

Координаты точек		Вертикальная мощность, м		Координаты точек		Вертикальная мощность, м	
<i>y</i> , мм	<i>z</i> , мм	рыхлых отложений	в том числе продуктивного слоя	<i>y</i> , мм	<i>z</i> , м	рыхлых отложений	в том числе продуктивного слоя
0	345	5,1	0,5	620	336	17	0,3
170	348	5,2	0,4	·	·	·	·
310	347	5,1	0,2	·	·	·	·
450	345	10	0,3	2300	333	13	0,2

зафиксированы по кровле и почве пласта, а по пласту № 2 — только по кровле. Вместо информации по почве пласта зафиксирована его нормальная мощность.

Изменение качественных признаков в пределах мощности пласта при простом его строении, как правило, не фиксируется на профилях. В этой связи мощность породного прослойка (при условии, что он вынимается валовым способом) задается одним значением в каждой точке, без отображения его пространственного положения в угольном пласте. В том случае, если выемка породного прослойка производится селективно, он рассматривается как междуупластье.

Пропласток может иметь как повсеместное, так и ограниченное распространение по падению пласта в плоскости профиля. Иначе говоря, функция может иметь разрывы. Такой же характер имеют и другие качественные показатели, например зольность, марка и т. д. Следовательно, кроме значений показателя, необходимо выделение области его распространения.

Таблица 1.8

№ пласта	Координаты точек на РЛ				Нормальная мощность пласта, м	
	по кровле		по почве			
	<i>y</i> , мм	<i>z</i> , м	<i>y</i> , мм	<i>z</i> , м		
1	0	286	0	270	9,5	
	672	293	100	275		
	822	287	260	280		
	·	·	·	·		
	·	·	·	·		
	2000	320	1500	300		
2	0	250			4,5	
	250	253				
	500	254				
	·	·				
	·	·				
	2250	299				

Таблица 1.9

№ пласта	Координаты точек и мощность породного прослойка							
	<i>y</i> , мм	<i>m</i> , м	<i>y</i> , мм	<i>m</i> , м	<i>y</i> , мм	<i>m</i> , м	<i>y</i> , мм	<i>m</i> , м
1	20	1,5	520	1,5	870	1,4	1000	1,6
2	100	0,9	500	0,8	580	0	1250	0

Формирование информации о мощности породного прослойка при непрерывном и прерывном его распространении покажем на примере рис. 1.5. При непрерывном распространении прослойка фиксируется мощность его в начале системы отсчета (т. е. при $y' = 0$) и в точках, где наблюдается изменение мощности, а также в верхней границной точке. Такая запись дана в табл. 1.9 (пласти № 1 и 2 согласно рис. 1.5) для некоторых точек.

В случае прерывного распространения породного прослойка фиксируются области с нулевым значением мощности и точки, в которых наблюдается изменение ее. Обязательна фиксация нулевой мощности на границе появления (исчезновения) прослойка. Например, на границе появления прослойка в точке *A* (рис. 1.5) необходимо зафиксировать два значения его мощности ($y = 1249$, $m = 0$ и $y = 1250$, $m = 0,4$). Нулевое значение мощности фиксируется в окрестности границы появления прослойка. Это позволяет в алгоритмах формировать области его отсутствия.

Принцип отображения качественной информации аналогичен описанному в § 1.4. Как и при снятии вышеописанных показателей, обязательна фиксация качественного показателя в начале локальной системы отсчета, затем в точках его изменения.

Рассмотренные в этом параграфе, а также в § 1.4 методы построения моделей пластовых месторождений ориентированы на «ручной» способ. Для него характерна большая трудоемкость подготовки данных и сложность структурирования информационных массивов.

Несмотря на имеющиеся недостатки, описанные модели сыграли определенную роль в автоматизации горно-геометрических расчетов в практике проектирования карьеров. Анализ их использования позволяет предложить более прогрессивные решения, исключающие многие негативные стороны известных моделей (см. § 1.6).

§ 1.6. ОБОБЩЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Анализ многолетнего опыта решения горно-геометрических задач позволяет сделать некоторые обобщения. Во-первых, источником информации для горно-геометрических расчетов в основном являются графические геологические документы (карты, разрезы,

планы и т. д.). Реже используются геометризованные данные по скважинам. Во-вторых, съем данных с документов в обоих случаях весьма трудоемок. Различные приемы записи данных в макеты в некоторой степени направлены на уменьшение трудоемкости, но вместе с тем это обуславливает необходимость формирования различных смешанных массивов, что впоследствии негативно отражается на процессе организации технологии обработки данных в ЭВМ. Предлагаемые приемы снятия информации с графической документации включают искусственные элементы, не используемые в проектных организациях, что затрудняет внедрение их в практику проектирования. В-третьих, во всех известных работах в этом направлении прослеживается жесткая взаимосвязь между набором данных и пакетами прикладных программ (ППП). Любые изменения в наборе данных требуют реорганизации программ. Жесткая взаимосвязь между данными и программами практически лишает возможности параллельной работы одновременно нескольких программ.

Все сказанное подтверждает необходимость создания более совершенной системы организации информации, призванной обеспечить минимальную трудоемкость сбора; полноту и достоверность данных; однообразие снятия и ввода данных; многократное и многоцелевое их использование; накопление в базе данных информации с минимальным дублированием; развитие информационного обеспечения путем наращивания данных и организации связей; доступ к данным с различных уровней их структур; одновременный доступ к данным групп пользователей, работающих в режиме диалога с ЭВМ; защиту данных от разрушения.

Основное условие разработки системы информационного обеспечения, удовлетворяющей изложенным выше требованиям, — создание обобщенных моделей месторождений, которые являются основой решения горно-геометрических задач в САПР горно-добывающих предприятий. Именно данной проблеме посвящено значительное число работ в становлении и развитии САПР. При этом, как верно отмечалось в [97], разные по названию модели при анализе их описания и функций оказываются идентичными.

В настоящее время имеется достаточно оснований для организации данных на качественно новом уровне при решении горно-геометрических задач: разработаны и успешно функционируют аппараты для автоматизации ввода графической информации в ЭВМ; созданы достаточно эффективные системы управления банками данных и, наконец, в некоторых проектных институтах накоплен значительный опыт решения горно-геометрических задач на ЭВМ в процессе проектирования карьеров. В этой связи необходимо остановиться еще раз на методологической стороне вопроса моделирования месторождений.

В геологической науке сложилось три основных понятия о моделях месторождений, которые условно можно назвать так: статистическая модель; геометрическая модель; случайное поле [98]. В данное время происходит процесс их синтезирования, т. е. со-

здание и применение смешанных моделей, иерархических систем моделей. Это обусловлено возрастающей сложностью моделируемых объектов.

Отличительная особенность моделей месторождений, используемых в САПР, — необходимость отображения не только пространственного состояния полезного ископаемого, но и всей части геологического пространства, подвергающейся инженерному воздействию.

Модель месторождения, используемая в САПР, должна иметь следующие свойства:

- отображать естественные структуры геологических разностей месторождения, включая вмещающие породы, т. е. должны выделяться поверхности пластов, рудных тел, блоков и т. д.;
- формировать входной поток информации по картографическим и первичным данным различного уровня геологической разведки;
- обеспечивать доступ к данным любого уровня структур с целью пополнения, реорганизации, оперирования, уничтожения;
- давать возможность формирования моделей частных свойств отдельных структур и моделей «рабочих плоскостей», т. е. вертикальных и горизонтальных геологических разрезов;
- включать систему оперирования с данными и обеспечивать независимость связи с любыми прикладными программами;
- содержать данные для решения любых задач проектирования, связанных с операциями над моделью месторождения;
- иметь жизненный цикл, равный длительности существования объекта (карьера, шахты и т. д.), в течение которого модель должна пополняться новыми данными, полученными в процессе эксплуатации.

Как видно, в таком понимании свойств модель месторождения выходит за рамки существующих понятий, заключающихся только в отображении объекта в памяти ЭВМ. С учетом соблюдения вышеуказанных свойств модель месторождения можно отнести к типу информационных кибернетических [99]. Важная сторона кибернетических моделей — отображение существенных для данных целей взаимосвязей и функциональных характеристик объекта. Исследование таких моделей позволяет выявить оптимальный режим функционирования моделируемого процесса и прогнозировать его развитие с учетом уточняющихся во времени характеристик объекта.

Понятие «кибернетическое моделирование» используется многими исследователями. В [99] под кибернетическим моделированием понимается переработка и анализ информации при помощи сложнодинамических систем с обратной связью. В [100] отмечается, что кибернетическое моделирование представляет собой метод и форму программно-целевого системного исследования и управления на базе использования теоретических положений кибернетики, математических методов и ЭВМ.

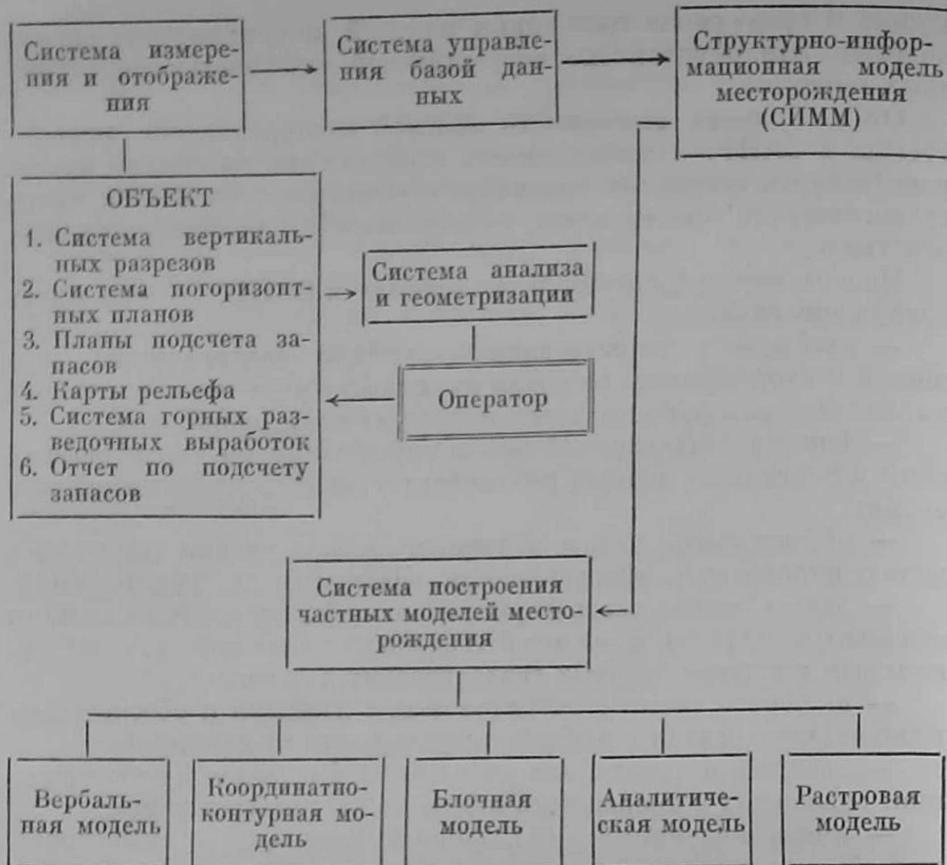


Рис. 1.6. Структура системы информационного обеспечения горно-геометрических расчетов в САПР.

В предлагаемом нами понимании модель месторождения содержит ряд обязательных компонентов (рис. 1.6).

Объект моделирования представляется документами геологической разведки, отображенными в системе картографических данных и (или) материалов геолого-разведочных работ. Картографические документы содержат всю совокупность информации, вынесенную на разрезы (вертикальные, горизонтальные), пласты, карты, т. е. графические приложения к геологическим отчетам. Данные геолого-разведочных работ содержат всю информацию о результатах разведки в обычном понимании, т. е. сведения о расположении разведочных выработок, их типах и результатах опробования. Эти два типа данных (картографические и по разведочным выработкам) с помощью системы отображения и измерения подготавливаются для ввода в ЭВМ.

Система отображения состоит из трех частей: аппаратурной (кодировщик графической информации), методической и программной.

Подготовленная в системе отображения информация воспринимается системой управления базой данных (СУБД). Здесь с по-

мощью программного обеспечения выполняются контроль, сортировка и формирование в памяти ЭВМ структурно-информационной модели месторождения (недр).

Особо следует остановиться на структурно-информационной модели недр. В некоторой степени она имеет обобщенную теоретическую направленность и представляет собой информацию о строении недр (их части, подвергающейся инженерному воздействию) в виде иерархических уровней геологических структур. Аналогом такой структурной модели является модель, используемая в теории разведки недр. Однако последняя содержит только структурные уровни отображения строения тел полезного ископаемого [101, с. 22]. Для целей проектирования и планирования разработки месторождения модель, во-первых, необходимо дополнить структурами, отображающими вмещающие породы с их морфологическими и физико-механическими особенностями. Во-вторых, структурно-информационная модель месторождения должна отражать изменение всех геологических элементов (морфологии геологических структур, экономических контуров, мощности, содержания и т. д.) во всей области недр, затрагиваемой горными работами (в плане и по глубине).

В результате для отображения полезного ископаемого выделяются следующие уровни.

1. Уровень тела полезного ископаемого. Геологическими элементами (или информационными) здесь будут имя тела (пласт, залежь, тело, шток, рудный столб и т. д.), естественные или экономические контуры тела, изолинии по почве, кровле, пласта и др.

2. Уровень геологических блоков. Здесь внутри тела полезного ископаемого выделяются подсчетные блоки, однотипные сорта полезного ископаемого, блоки категорийности разведки, пропласти и т. д. Элементом данного уровня являются границы блоков внутри тела и их имена.

3. Уровень характеристик блока. Внутри блока формируются данные о качественных характеристиках полезного ископаемого с количественной оценкой (содержание полезных и вредных компонент, физико-механические свойства и т. д.).

Для отображения вмещающих пород выделяется два уровня:

1) уровень зоны распределения однотипной вмещающей породы. Информационным объектом здесь служит контур, ограничивающий распределение породы;

2) уровень характеристик, на котором описываются свойства породы.

Кроме названных структур, оценивающих естественные объекты в недрах, необходимы данные, отображающие границы месторождения, описываемые рельефом дневной поверхности и контуром, ограничивающим месторождение по длине, ширине и глубине.

Графически структурно-информационная модель месторождения изображается в виде древовидной структуры, корневой вершиной которой является имя месторождения (рис. 1.7).

Рис. 1.7. Структура модели месторождения.



месторождению и является базой для построения частных моделей. Под последними понимается определенная упорядоченность данных на рабочих плоскостях (вертикальные разрезы, погоризонтальные планы) или поверхностях, используемых для решения задач проектирования (моделирование развития горных работ, расчет объемов, подсчет запасов по сортам и т. д.).

Необходимость построения частных моделей диктуется следующими соображениями.

Во-первых, наличием разработанного математического обеспечения для решения горно-геометрических задач. Создавалось обеспечение в разных организациях с ориентацией на строго формализованную структуру массивов данных. В этом случае возникает возможность использовать основную часть математического обеспечения для решения горно-геометрических задач в рамках их постановки. Вместе с тем появляется необходимость в создании программы, функции которой заключаются в организации требуемой упорядоченности данных, т. е. построении той модели, которая используется в системе математического обеспечения горно-геометрических расчетов.

Во-вторых, новые постановки в решении горно-геометрических задач позволяют на качественно ином уровне использовать всю информацию по месторождению путем формирования моделей данных в соответствии с алгоритмом задачи. Разработка прикладных программ ведется на единой информационной основе с формированием «рабочих» массивов в удобной для решения форме.

Очевидно, что для формирования частных моделей месторождения необходим пакет программ, создающий ту или иную модель. На рис. 1.6 указаны известные модели, за исключением вербальной, под которой понимается словесное описание месторождения с указанием общих количественных и качественных усредненных данных по месторождению и типам пород с их физико-механическими характеристиками.

Система анализа и геометризации предназначена для обработки первичных данных геологической разведки. Эта система должна включать пакеты программ, обеспеченных диалоговым режимом работы со специалистом, принимающим решение в процессе геометризации месторождения.

С помощью системы управления данными по мере поступления информации в памяти ЭВМ формируется в определенной закономерности структурно-информационная модель месторождения. Такая модель содержит всю информацию по

Таким образом, структурная модель месторождения со всеми указанными компонентами (рис. 1.6) управления информационными потоками в принципе представляет обобщенную информационную модель месторождения для использования в САПР.

Как ранее сказано, структурно-информационная модель может формироваться по данным как картографической информации, так и первичной геологической разведки. К основным информационным объектам в картографических данных по месторождению относятся точка, линия, контур, блок, изолиния. Определенное упорядоченное отображение названных информационных объектов в памяти ЭВМ — есть процесс формирования модели месторождения.

Точка — известное геометрическое понятие. Она может фиксироваться на плоскости или в трехмерном пространстве. В первом случае отображается координатами (x, y) , во втором — (x, y, z) .

Линия может быть плоская и трехмерная. В первом случае она представляется набором координат $(x_i, y_i; i = 1, \dots, k)$ точек, отслеживаемых по линии в заданной плоскости. В трехмерном случае линия отображается набором трех координат в каждой точке $(x_i, y_i, z_i; i = 1, \dots, n)$. Пример трехмерной линии — отображение оси дороги, бровок уступов, линии водоразделов, тектонических нарушений и т. д.

Контур — замкнутая фигура, ограничивающая некоторую геологическую или качественную структуру в плоскости геологических вертикальных или горизонтальных разрезов: контур рудного тела, пласта, контур определенного сорта полезного ископаемого и т. д. Контур отображается координатами точек $(x_i, y_i; i = 1, \dots, k)$, отслеживаемых по линии контура. Он может ограничивать поле (в пределах тела полезного ископаемого), представленное несколькими характеристиками. В этом случае контур называется «сложным». Формируется он так, что координаты по контуру отображаются один раз, а сведения о качественных показателях хранятся в соответствующих местах базы данных (БД). Как информационный объект «сложный контур» позволяет описать сложные естественные геологические структуры.

Блок — некоторая целевая площадь, ограниченная контуром. В отличие от последнего блок можно характеризовать некоторыми качественными параметрами. Он может вмещать в качестве информационного объекта один или несколько контуров, причем последние могут пересекать границы контуров блока. Отображение границ блока аналогично отображению контура.

Изолиния — информационная единица, содержащая в своем составе линию и используемая для отображения различных поверхностей (рельеф, топоповерхности пластов, изолинии качественных характеристик и т. д.). В отличие от линии отображение изолинии имеет в своем составе значение изолинии, например высотную отметку, содержание полезного или вредного компонента и т. д. По форме изолинии могут быть замкнутыми и незамкну-

тыми в пределах отображаемого участка. Никаких ограничений на выпуклость и вогнутость не налагается.

Названные информационные объекты являются основополагающими. Используя их, можно отобразить в базе данных всю картографическую информацию по любому типу месторождения. При этом отображается не только информация о полезном ископаемом, но и данные о вмещающих породах, различных включениях, геологических зонах и других естественно выделяемых геологических структурах и зональностях.

Все перечисленные информационные объекты для организации информации в БД описываются в виде дерева базы данных (ДБД). Информационные объекты при этом делятся на три группы: элементарные, структурные и ссылочные. Используется два способа объединения данных в структурный информационный объект: «структур» и «массив». Структура объединяет в себе фиксированный набор заранее описанных и перечисленных в дереве описания данных (ДОД), различающихся именами. Массив всегда объединяет неопределенное количество однотипных, одинаково описанных данных. Если каждый элемент структуры описывается отдельно, то для всех элементов массива в ДОД имеется только одна вершина, соответствующая описанию одного «обобщенного массива».

Возможности доступа к элементам простых массивов аналогичны возможностям традиционного последовательного метода доступа. Массивы с номерами и ключевые массивы являются аналогом индексно-последовательного и прямого доступа. Элементы массива с номерами при вводе в БД автоматически нумеруются последовательными целыми числами, которые в дальнейшем могут быть использованы аналогично адресам или идентификаторам массива.

Наиболее мощное средство организации массивов — ключевые массивы. В этом случае элементом массива является структура, один из элементов которой объявлен ключом. Значения ключей задаются при вводе информации в момент создания элементов массива.

ДБД содержит терминалные (конечные) и нетерминалные вершины. Терминальным вершинам соответствуют элементарные, а нетерминальным структурные информационные объекты. В свою очередь, структурные информационные объекты могут объединять элементарные объекты.

Терминалные вершины ДБД могут изображать не только элементарные данные, но и ссылочные. Ссылочные данные подразделяются на два типа: ссылка, словарные данные. Данное типа «ссылка» обеспечивает возможность введения дополнительных связей между информационными объектами, а словарное значение — сослаться в терминальной вершине ДБД на значение, погруженное в словарную часть БД.

Проектирование любой информационной системы требует определения используемой в ней системы понятий. Практически система понятий (словарь) есть перечень слов (или сверток), разрешен-

ных к применению в данной системе. В качестве таких слов используются шифры характеристик. Шифром может служить любая комбинация букв и цифр, не превышающая четырех знаков. Соответствующее шифру наименование хранится в словаре БД. Для элементов периодической системы Менделеева, марок угля и т. д. возможно стандартное обозначение. Некоторые параметры можно кодировать условными кодами.

В качестве иллюстрационного примера представим фрагмент словаря для одного меднорудного месторождения: 1 — рельеф дневной поверхности; 2 — почва пласта; 3 — кровля пласта; 4 — мощность пласта; 50 — рудное тело; 51 — вмещающие породы; 52 — контур меденосного горизонта; 53 — дайка габбро-диабазов; 100 — сульфидные руды; 101 — смешанные руды; 102 — окисленные руды; B_0 — контур разведанности запасов по категории B ; C_1 — контур разведанности запасов по категории C_1 ; C_2 — контур разведанности запасов по категории C_2 ; 300 — балансовые запасы; 301 — забалансовые запасы; Си — содержание меди и т. д. Как видно из приведенного фрагмента, в словаре можно отразить всевозможные характеристики, показатели, названия структурных элементов месторождения.

Для удобства описания данных по названным выше информационным объектам выделены некоторые вспомогательные объекты — координаты, центр тяжести, линии. Структуры «координаты» и «линия» позволяют хранить неограниченное количество пар и троек чисел соответственно (рис. 1.8). Структура «центр тяжести» используется для упорядочения взаимного расположения информационных объектов в виде блоков и содержит в своем составе пару чисел. Названные вспомогательные объекты входят составными частями в ДОД основных информационных объектов.

На рис. 1.9 представлено описание информационного объекта «линия», которая, как видно, содержит изолинию и трехмерную линию, а также вспомогательный объект — координаты.

Структура «контур» (рис. 1.10) включает простой контур и сложный. Здесь организуется ссылка (в случае сложного контура) на основной контур. Используя структуру «контур», возможно хранить множество контуров. Содержательная характеристика контура определяется шифром из словаря. В результате, например, в терминологии приведенного словаря данных контуры окисленных руд будут храниться в одном массиве, смешанных — в другом, окисленных — в третьем и т. д. В каждом из них контуры нумеруются по мере ввода автоматически. В каждом из контуров может быть свое значение характеристик, например содержание меди.

Структура информационного объекта «блок» содержит вершины отображения координат контура блока и качественных характеристик блока (рис. 1.11). Для отображения случаев неоднородности некоторых качественных показателей в блоке формируется структура «вложенный контур». В результате блоков может быть множество, каждый из них описывается своим номером, имеет ко-

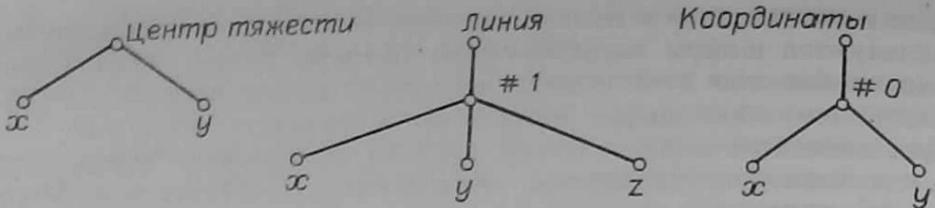


Рис. 1.8. Структура элементарных информационных объектов БД.

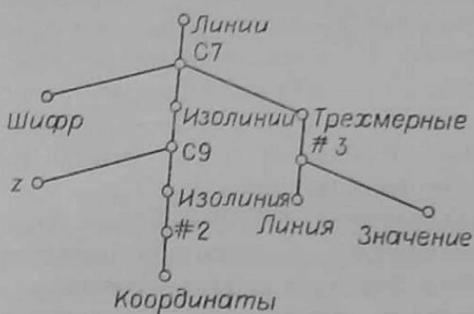


Рис. 1.9. Структура информационного объекта БД-Линии.

Рис. 1.10. Структура информационного объекта БД-Контуры.

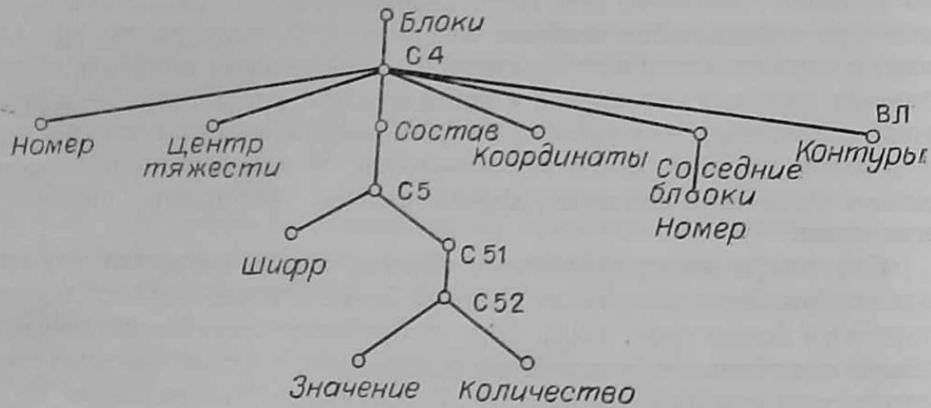
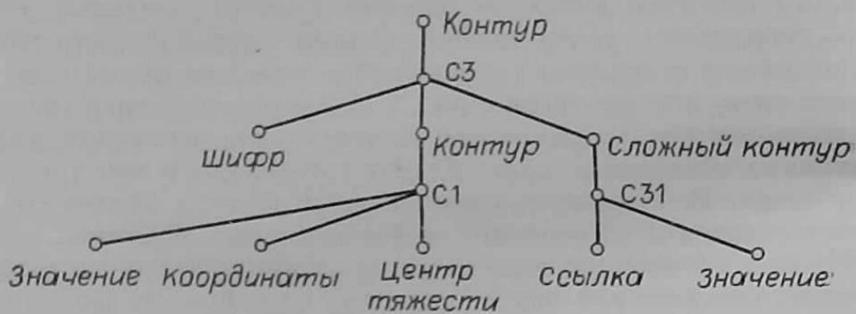


Рис. 1.11. Структура информационного объекта БД-Блоки.

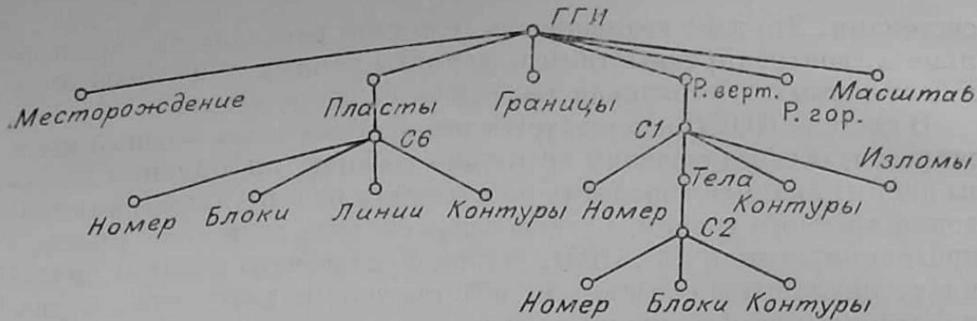


Рис. 1.12. Структура данных по месторождению при формировании с картографических документов.

ординаты узловых точек и заданный состав качественных и количественных показателей.

Все перечисленные компоненты информационных объектов объединены общей древовидной структурой данных ГГИ — горно-геологическая информация (рис. 1.12), которая описывает месторождение в целом. В структуре содержатся вспомогательные вершины: имя месторождения, масштаб карт, массив границ отвода (нижняя и верхняя границы). К целевым вершинам относятся структуры «пласти», «разрезы горизонтальные» и «разрезы вертикальные».

Пластов может быть несколько. Поверхности их могут описываться изолиниями. На каждом пласте могут быть выделены контуры и блоки. Структурой в виде пластов могут отображаться также естественные разности вмещающих пород и рельеф дневной поверхности.

Разрезов как горизонтальных, так и вертикальных может быть практически неограниченное количество. Для вертикальных разрезов допускается ломаная конфигурация в плане. На каждом разрезе выделяются контуры полезного ископаемого и вмещающих пород. Здесь же могут быть выделены блоки со всей гаммой качественных характеристик.

Очевидно, что программная реализация приведенных выше структур данных требует мощных средств программного обеспечения в виде систем управления базами данных (СУБД). Анализ отечественных работ показал, что наиболее приемлема для наших целей СУБД ИНЕС.

Первое, что хотелось бы отметить [103, 104] как несомненное достоинство — это системный подход к проектированию информационных систем, принятый и реализованный в ИНЕС. Практически в системе ИНЕС имеются все средства для реализации основных функций (описание, ввод, поиск, отбор и обработка информации, вывод, реструктуризация и т. д.). Язык описания данных позволяет представить иерархические многоключевые структурные данные, именовать элементы данных словами русского языка. ИНЕС предоставляет пользователю наибольшее многообразие типов данных и размеров их представления по сравнению с другими

системами. Это дает возможность экономно расходовать внешнюю память, контролировать типы и форматы данных при обращениях к базе данных, обеспечивая тем самым ее целостность.

В системе ИНЕС используется несравненно более мощный язык запросов, обеспечивающий не только выборку информации из базы данных, но и ее обработку по существу на языке программирования высокого уровня, а также связь системы запросов с языками программирования ЕС, ЭВМ, системой макетного ввода и другими специальными средствами, облегчающими разработку и эксплуатацию информационных систем.

Очень важное и неоспоримое достоинство ИНЕС — наличие языка описания сценариев диалога. Язык позволяет несложно построить диалоговую систему с пользователем, особенно это важно, когда информация неформальна и не удается осуществить поиск по конкретным признакам или же построить модель с окончательным принятием решения.

Еще одно весьма цепное преимущество ИНЕС перед другими системами — она разрабатывается как для ЭВМ типа ЕС, так и для ЭВМ типа СМ и комплекса машин, из них сопряженных, поэтому при ее использовании намного упрощаются функциональные программы.

При построении больших систем необходимо в процессе наращивания системы менять (дополнять) структуру данных. СУБД ИНЕС позволяет наиболее просто переходить от одной структуры к другой.

Все перечисленное явилось основой для использования СУБД ИНЕС в качестве базы построения модели месторождения, в этой связи в терминологии ИНЕС и в соответствии с принятой структурой данных нами разработаны две компоненты: программное обеспечение ввода данных и методическое обеспечение подготовки информации по картографическим документам месторождения.

Для подготовки данных максимально используются технические средства. В частности, все данные о геометрии готовятся на кодировщике, который автоматически выдает координаты точек информационных объектов на перфоленту или магнитный носитель.

Глава 2

ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

Горно-техническая информация отображает компоненты технической подсистемы, представляя в геометрическом виде образ главных параметров карьера, развивающихся в пределах ограниченного геологического пространства. Главная особенность горно-

технической информации заключена в ее частой реорганизации, что обусловлено потребностью выбора технических решений на основе многовариантного перебора.

Вопросы формализации данных о технических решениях важны как с методической, так и с практической стороны. Дело в том, что в традиционном проектировании не сложились методы формализации технических решений, которые можно использовать при применении ЭВМ. Как правило, решения описываются в словесной форме и часто в неоднозначно понимаемой терминологии. Все это обусловило необходимость разработки методик формализации данных о технических решениях (причем под данными о технических решениях будем понимать совокупность информации, необходимой для моделирования динамики развития горных работ во вскрышной и добычной зонах карьера, а также в зоне расположения внутренних отвалов). Вся совокупность горно-технической информации подразделяется по функциональному назначению и описывает:

- границы карьера в плане и по глубине;
- этапы отработки поля карьера;
- границы технологических зон во вскрышной и добычной зонах карьера и параметры систем разработки;
- параметры схем выемки пластов;
- параметры схем внутрикарьерного отвалообразования и др.

§ 2.1. ДАННЫЕ О ГРАНИЦАХ КАРЬЕРА. ФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ВВОДА В ЭВМ

Границы карьера устанавливаются по данным горно-геометрических расчетов, в свою очередь для выполнения которых необходимо знать границы карьера. Такая взаимосвязь обусловлена тем, что решение задачи обоснования границ карьера выполняется методом итераций. Он заключается в том, что при фиксированных границах карьера горно-геометрическими расчетами определяются необходимые параметры (объемы вскрыши и полезного ископаемого, коэффициенты вскрыши и др.). На основании оценки параметров при различных вариантах границ устанавливаются рациональные границы карьера.

В последние годы предложены методы определения контуров карьера на профилях и вычисления его длины по заданной производственной мощности [75—77]. Эти методы отличаются безвариантным поиском решения. Однако они требуют хотя бы ориентировочно заданных границ карьера (в целях ограничения области расчетов). Следовательно, границы карьера для выполнения горно-геометрических расчетов должны быть заданы, причем неважно, какие — окончательные или промежуточные.

На пластовых месторождениях, разрабатываемых однобортовыми системами, информация о границах карьера представляется данными о форме дна карьера, координатами точки дна карьера,

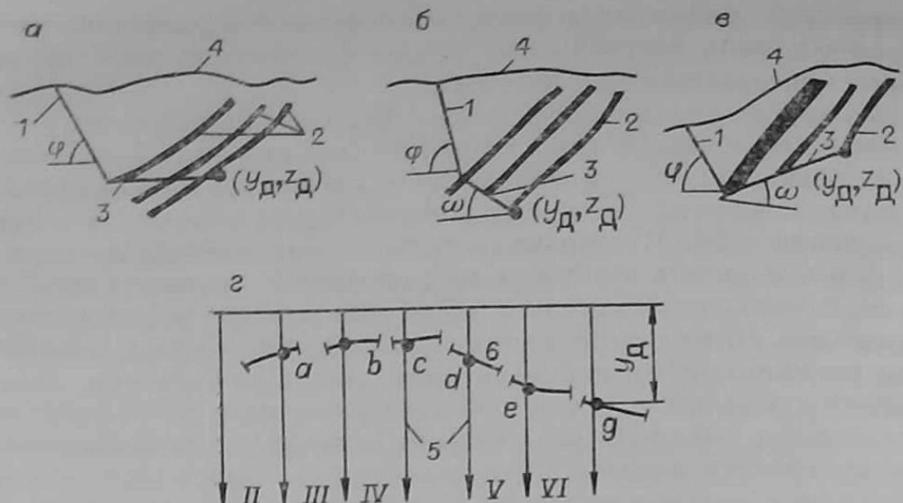


Рис. 2.1. Схемы оформления дна карьера.

1 — линия борта погашения; 2 — пласти углы; 3 — линия дна карьера; 4 — линия рельефа дневной поверхности на профиле; 5 — линии УГП; 6 — граница дна карьера на плане,

углом наклона борта погашения и координатами расположения карьера на месторождении.

Дно карьера в общем случае на отдельных участках месторождения может располагаться на различной глубине, что должно быть отражено в исходных данных. Поскольку речь идет о месторождениях, представленных свитой пластов, форма дна (подошва) в свите может быть горизонтальной или наклонной, что также должно отразиться в исходной информации.

И, наконец, контур карьера на профиле ограничивается бортом погашения, угол наклона которого в общем случае может быть неоднозначным на различных участках месторождения.

Воспользуемся примером месторождения свиты из трех пластов (рис. 2.1). Дно карьера может быть горизонтальным (рис. 2.1, а) и наклонным (рис. 2.1, б). В принципе для полноты ситуации можно представить наклон дна и по падению пластов (рис. 2.1, в).

На линии дна карьера выделим точку пересечения с почвой самого нижнего отрабатываемого пласта. Часто это точка с минимальной высотной отметкой дна на профиле. Координаты точки (y_d , z_d) считаем заданными. Полагаем известными углы наклона дна (ω) карьера (линия на профиле) и борта погашения (φ). Все эти данные для каждого профиля (в терминах плоскостно-координатной модели — для каждого УГП) записываются в специальные таблицы — макеты данных горно-технической информации (ГТИ). Пример макета и записи данных показан в табл. 2.1.

Для получения данных о координатах дна карьера (y_d , z_d) на каждом профиле необходимо совместить план линии УГП с планом расположения границы дна карьера по почве стратиграфически нижнего пласта (рис. 2.1, г). После этого снимаются коорди-

Таблица 2.1

наны точек пересечения линии границы с линиями УГП (точки a , b , c ... на рис. 2.1, g).

Угол наклона борта погашения (ϕ) задается исходя из изученности устойчивости борта на различных участках месторождения. Наклон дна карьера определяется многими факторами, в том числе значениями мощностей пластов в свите.

Нетрудно заметить, что такие параметры, как координаты дна карьера и угол его наклона, фиксируемые на каждом УГП, могут варьироваться, но не автоматически, а целенаправленно. В итоге появляется возможность обоснования границы карьера по глубине, т. е. границ открытых горных работ.

Если вместо борта погашения и наклона дна карьера принять значения углов их наклона равными рабочему борту в свите и над свитой, то появляется возможность решения задачи обоснования этапности отработки месторождения. Естественно, делать это целесообразно при наличии предпосылок для такой задачи.

Рассмотрим теперь данные о положении карьера на площади месторождения.

В общем случае полагаем, что месторождение имеет большие размеры по простирианию и на его площади можно разместить более одного карьера. Поскольку речь идет о карьерах на горизонтальных, пологих и наклонных месторождениях, в таких карьерах выделяются средняя и торцевые части.

Примем условие, что для определения координат положения карьера на площади месторождения будем всегда фиксировать положение средней части карьера.

Поскольку месторождение представляется моделями профилей, определенным образом ориентированных на площади, а каждый профиль (линия УГП) увязан в системе координат и, кроме того имеет свой номер, границы средней части разреза удобно фиксировать номерами УГП, ограничивающих его по флангам. Поясним сказанное на рис. 2.2. Средние части представленных здесь карьеров заключены между УГП 10—19 (карьер A) и 25—32 (карьер B). Зафиксированных номеров УГП, в зоне которых проходят границы средних частей карьера по флангам, вполне достаточно для определения торцевых зон уже алгоритмическим путем. Необходимо только знать углы наклона торцов карьера.

Данные о положении карьера на месторождении заносятся в специальные таблицы. Пример такой записи показан в табл. 2.2. Предложенный прием формирования данных о положении карьера на площади месторождения позволяет задать положение карье-

№ УГП	Координаты дна карьера		Наклон борта по- гашения	Наклон дна карье- ра
	y_d	z_d		
2	1200	245	43	2,0
5	1400	230	41	3,0
10	930	257	39	0,0
.
.
.

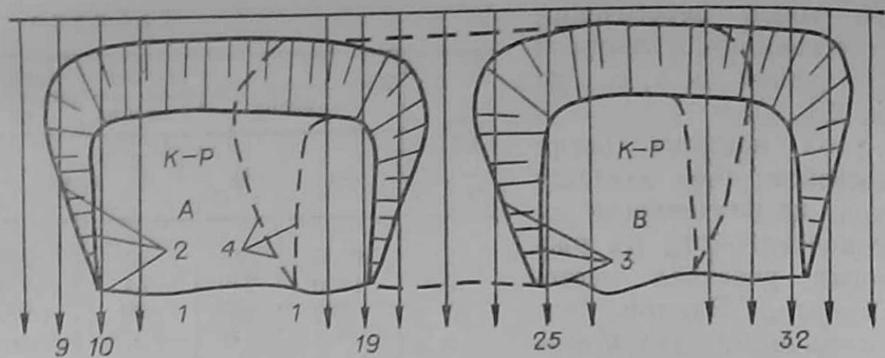


Рис. 2.2. Схема расположения карьеров на месторождении (варианты). 1 — линии УГП (9, ..., 32 — их порядковые номера); 2, 3, 4 — контуры карьера A, B, C.

ра на любом участке и изменять длину карьера, варьируя значениями номеров УГП, заключающих среднюю его часть.

Возможность задания различных по значению углов откоса торцов позволяет отразить факт использования торцевых бортов под транспортные коммуникации. В случае, если по каким-то причинам влияние торцевых бортов не учитывается, значения углов откоса принимаются равными 90° .

Предложенный способ фиксации положения карьера на месторождении тем точнее, чем ближе граница средней части расположена к линии УГП, которым фиксируется граница. Иногда бывает трудно выполнить условие приближения линии УГП к границе средней части карьера, особенно если длина последнего имеет тенденцию к уменьшению с глубиной. Такая ситуация показана на рис. 2.3. Здесь линии границ торцевых бортов в нижней части (прямые *ab* и *cd*) пересекают линии УГП. Однако возникшие трудности преодолимы.

Воспользуемся тем, что мы имеем возможность задать координаты точек в дне карьера и угол наклона борта погашения на каждом УГП индивидуально. Зафиксируем координаты точек пересечения линий УГП с линиями границ торцевых бортов (точки 1, 2, 3 и 1', 2', 3', 4'). Примем их за точки дна карьера и занесем в макет ГТИ-1 (табл. 2.1), как это делается для границы дна разреза в средней части.

Предположим, что в зафиксированных точках рабочий борт будет условно погашен. При этом угол его наклона, естественно, не будет равен углу погашения, где горные работы будут прекращены вообще. Для вычисления угла погашения (φ_y) воспользуемся выражением

$$\varphi_y = \arctg(\sin \omega \cdot \tan \beta_t),$$

где ω — угол встречи отрезка линии торца с УГП; β_t — угол откоса торцевого борта. Здесь β_t известно, а ω необ-

Таблица 2.2

Намечаемая граница центральной части разреза, УГП	Углы откоса торцов, град			
	β_L	β_P		
10	19	25	30	

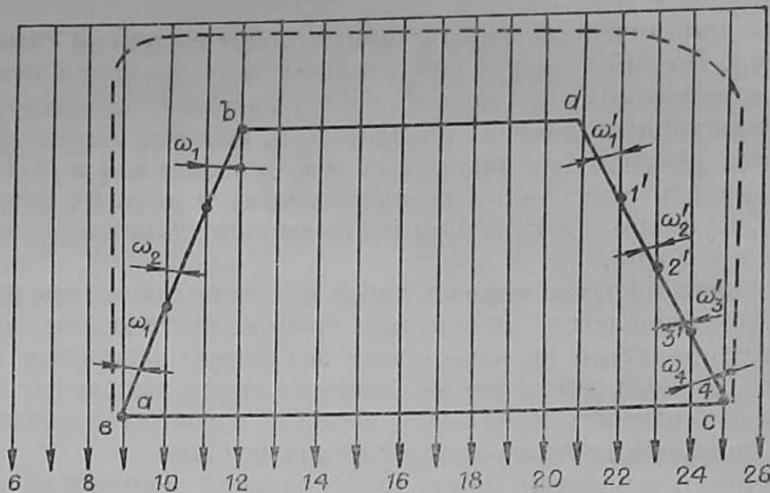


Рис. 2.3. Схема к формированию информации о торцевой зоне в случае пересечения линий УГП с границами в торце (6, ..., 26 — порядковые номера УГП).

ходимо измерить. Затем вычисленный ϕ_u записывается в табл. 2.1.

Граница средней части карьера для случая, представленного на рис. 2.3, будет включать номера УГП от 9 до 25. Значения углов откосов торцевых бортов в табл. 2.1 должны быть приняты равными 90° .

Как видно, предложенная методика формирования данных о границах карьера позволяет с достаточной точностью зафиксировать все элементы, отражающие его контуры. Зафиксированные данные используются почти во всех задачах горно-геометрических расчетов, в том числе при вычислениях в торцевых бортах карьера (см. § 4.4).

§ 2.2. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ЭТАПАХ ГОРНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ. ФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Под этапом понимается перемещение фронта горных работ из известного положения в последующее, осуществляющееся с целью добьчи полезного ископаемого и производства вскрышных работ, выполняемых определенной системой разработки на заданных множествах параметров технологических схем. Геометрически этап оконтуривается двумя смежными положениями фронта горных работ на почве пласта, по которому формируется направление развития горных работ.

Главное назначение горно-геометрических расчетов заключается в получении объемных показателей, отражающих динамику движения горных работ в рабочем пространстве карьера. Однак

создание динамической модели горных работ в строгом смысле невозможно. Поэтому предлагается модель, имитирующая динамику рядом статических положений. Фиксируемые промежуточные положения горных работ по почве пласта, которые определяют направление углубки (на наклонных месторождениях) или направление развития фронта (на горизонтальных и пологих месторождениях), позволяют в конечном итоге выполнить анализ динамики развития карьера.

Положения фронта горных работ по этапам развития карьера могут формироваться инженером графоаналитическим методом или моделироваться по некоторому заданному алгоритму в ЭВМ [78, 79]. Первый метод формирования данных хотя и трудоемок, но дает возможность принимать решения с учетом анализа ситуаций в конкретных горно-геологических условиях.

Автором разработан метод трассирования положений фронта горных работ по этапам развития карьера с использованием ЭВМ [79]. Однако здесь целесообразно остановиться на принципах подготовки информации о положениях фронта графоаналитическим методом.

Исходим из двух возможных ситуаций:

- карьер находится в стадии эксплуатации;
- карьер проектируется на вновь осваиваемом месторождении.

В первом случае на месторождении существует сформировавшийся фронт работ и необходимо из этого положения перейти в новые; во втором — возникает задача обоснования направления развития фронта работ. Эта задача решается, как правило, методом вариантов, т. е. назначается несколько направлений и в результате технико-экономического анализа выбирается предпочтительный.

Несмотря на различные задачи, их объединяет необходимость задания исходного положения фронта горных работ. Для первого случая это координаты существующего положения, а для второго — координаты одного из вариантов исходного положения фронта. Кроме того, и для первого, и для второго случаев может возникнуть необходимость в изменении направления фронта по мере его развития в процессе эксплуатации.

Таким образом, в качестве исходной информации о положении фронта работ (как на месторождениях, находящихся в стадии эксплуатации, так и на вновь проектируемых к разработке) необходимо иметь следующие координаты:

- существующего (исходного) положения фронта;
- промежуточного положения фронта в местах, где планируется изменение его направления;
- положений фронта работ по этапам отработки поля карьера.

Для получения указанной информации необходимо иметь планы положений горных работ по этапам с отображением исходного или существующего положений и информацию о положениях фронта по этапам развития карьера (рис. 2.4, в).

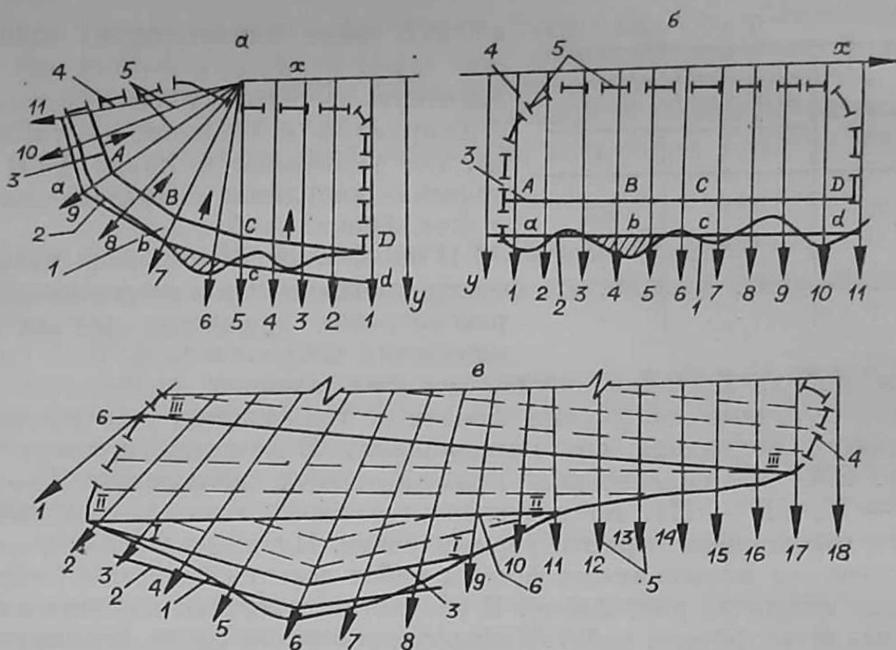


Рис. 2.4. Схемы к формированию информации о положениях фронта горных работ по этапам.

1 — граница выхода почвы пласта под наносы; 2 — положение исходного фронта работ; 3 — стабильное положение фронта работ при заданном направлении; 4 — граница карьера со стороны борта погашения; 5 — линии УГП; 6 — промежуточные положения фронта работ.

Исходное положение фронта работ (существующее или проектируемое) задается на плане пласта, по которому определяется направление разработки карьера. При этом исходят из того, что существующая линия фронта и линия выхода пласта под наносы могут иметь сложную конфигурацию. Поэтому, прежде чем нанести на план исходное положение фронта, предварительно устанавливается место, где горные работы будут развиваться в первую очередь (рис. 2.4, а, участок между УГП № 5—7). Тогда линия фронта, проведенная в указанном месте, и будет определять положение этапа № 1. Если одновременно предполагается отработка нескольких участков, то исходное положение должно пересечь все заданные участки (заштрихованные площади на рис. 2.4, б).

Когда положение первоочередных участков определено, проводится линия исходного положения фронта, которая должна иметь направление, совпадающее с направлением фронта в стабильный период. На рис. 2.4, а это ломаная a, b, c, d , которая на всем протяжении параллельна кривой A, B, C, D , характеризующей один из вариантов развития фронта в заданном направлении. Точки пересечения линии исходного положения фронта с линиями УГП фиксируются. Начиная с указанных точек, выполняется моделирование горных работ. Поэтому данные о координатах точек должны определяться по каждой линии УГП. Информация о

Таблица 2.3

№ УГП	Координаты исходного положения фронта	
	<i>z</i>	<i>y</i>
5	875	947
6	870	921
.	.	.
.	.	.

каждой точке характеризует удаление точки от начала отсчета (*y*) и высотную ее отметку. Эти данные фиксируются в специальной таблице, где указываются номер УГП и значение координат исходного положения фронта (табл. 2.3).

В процессе отработки поля карьера может возникнуть необходимость рассмотрения различных вариантов изменения направления фронта горных работ.

В таком случае должны заранее планироваться промежуточные положения фронта в тех местах, где предполагается изменение его направления. В качестве примера на рис. 2.4, *a* показан ряд промежуточных положений I—I, II—II, III—III, по достижении которых планируется изменить направление фронта горных работ. Площади между промежуточными положениями фронта работ делятся на этапы (штриховые линии на рис. 2.4, *a*). В результате получают вариант плана развития фронта работ. Информация о таком плане формируется в точках пересечения линии УГП с линиями фронта горных работ по этапам отработки карьера. Данные заносятся в специальные таблицы, где фиксируется номер УГП и координаты точек (*y*) пересечения линий фронта с линией УГП по всем этапам (табл. 2.4). Заметим, что высотные отметки не фиксируются. Они вычисляются алгоритмически в ЭВМ в предположении, что план положений горных работ построен на почве самого нижнего пласта.

Предполагается, что этапы пронумерованы и на каждом УГП количество их одинаково. Поэтому координата точки этапов заполняется в таблицу на место, соответствующее ее номеру.

Таким образом, процесс формирования информации о положении фронта по этапам слагается из следующих процедур:

1) анализ поля карьера и назначение одного из вариантов генерального развития направления фронта горных работ;

2) построение плана положений фронта по этапам разработки месторождения. Данный план должен строиться с учетом ограничений на сооружение транспортных коммуникаций, т. е. допустимые уклоны трасс и их кривизну в горизонтальной плоскости.

Таблица 2.4

№ УГП	№ этапов	Координата точки пересечения с линией УГП, мм						
		<i>y</i> , мм	<i>y</i>	<i>y</i>	<i>y</i>	<i>y</i>	...	<i>y</i>
7	1÷10	—	—	—	1940	...	1840	
	10÷20	830	800	780	780	...	700	
	20÷30	680	650	620	600	...	560	
	30÷40	520	500	—	—	—	—	
	40÷49	—	—	—	—	—	—	

Иначе говоря, каждое положение линии фронта предполагает конкретный вид транспорта и схему вскрытия карьера;

3) фиксация координат точек с линией УГП и запись координат в таблице. Эта процедура требует замера координат на плане и является одной из трудоемких при подготовке горно-технической информации.

§ 2.3. ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗОН КАРЬЕРА. ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ И ИХ ПАРАМЕТРАХ

В зависимости от природных и технических факторов общая рабочая зона карьера может быть разделена на технологические зоны, в каждой из которых используется определенная технология ведения работ. Например, нижние зоны пологих месторождений Кузбасса отрабатываются системой с экскаваторной перевалкой вскрыши, а верхние — с использованием различного вида транспорта.

Зачастую для выемки полезного ископаемого применяется одна система механизации, а для вскрыши — другая. Так, пласт угля разрабатывается роторными экскаваторами на конвейерный транспорт, а вскрыша — одноковшовыми с использованием железнодорожного и автомобильного транспорта. Здесь опять ярко выделяются две технологические зоны, так как технология зависит от структуры комплексной механизации.

Иногда возникает необходимость деления общей толщи вскрышных пород на обособленные группы уступов (один или несколько уступов в однородной толще). Например, четвертичные отложения могут отрабатываться с помощью одной системы комплексной механизации, а скальные породы этого же месторождения — совершенно иными механизмами. Следовательно, общая рабочая зона карьера разделяется не только на вскрышную и добывчную, но и на технологические зоны. Это обстоятельство весьма важно при выполнении горно-геометрических расчетов.

В каждой технологической зоне в зависимости от природных условий толща пород (угля) разделяется на выемочные слои (уступы) — горизонтальные или наклонные. Для выемки как горизонтальных, так и наклонных слоев может применяться однотипная структура комплексной механизации. Однако с технологической точки зрения здесь имеются существенные различия. Отработка наклонных слоев включает ряд операций, отсутствующих при отработке горизонтальных. Например, процесс выемки треугольных призм породы, оставляемых для размещения транспортных коммуникаций при наклонных слоях, отсутствует при горизонтальных слоях. При горизонтальных слоях требуется нарезка (подготовка) новых горизонтов (слоев), в чем нет необходимости при наклонных слоях.

Следовательно, форма выемочных слоев также является признаком деления общей рабочей зоны карьера на технологические

Таблица 2.5

№ п/п	Схемы технологических зон	Колич- ство зон	№ зоны	Границные контуры технологических зон	Форма выемочных слоев по зонам
1		2	1	Дневная поверхность (1) — кровля пласта (2)	Горизонтальные
2		2	2	Кровля пласта (2) — почва пласта (3)	Наклонные
3		4	1	Дневная поверхность (1) — почва пласта (3)	Горизонтальные
4		1	1	Дневная поверхность — почва пласта	Наклонные
5		2	1	Дневная поверхность — кровля пласта	То же (обособленные)
6		3	2	Литологическая пачка (2) — кровля пласта (3)	Горизонтальные
			3	Кровля пласта (3) — почва пласта	Наклонные

зоны и имеет весьма важное значение для моделирования рабочего борта при горно-геометрических расчетах.

На примере карьера, отрабатывающего один мощный пласт, рассмотрим возможные варианты формирования технологических зон (табл. 2.5).

Схема 1. В данной схеме (по аналогии и в последующих пяти) толща вскрытых пород не делится на зоны, т. е. на вскрытые рабочая зона сплошная.

Первая технологическая зона формируется для отработки вскрытых пород горизонтальными слоями. Контур этой зоны ограничен: сверху линией дневной поверхности (линия 1), снизу — кровлей пласта (линия 2). Вторая зона формируется для отработки пласта угля наклонными слоями.

На любой момент положение работ в первой зоне должно опережать положение их во второй зоне. Опережение создается подготовленными запасами и характеризуется участком длиной L_0 .

Схема 2. Отличается от схемы 1 тем, что во второй технологической зоне добывчные работы ведутся горизонтальными слоями. Высоты уступов приняты меньшими, чем в первой зоне, с целью снижения потерь и разубоживания при сложном стратиграфическом строении пласта полезного ископаемого.

Схема 3. Здесь для разработки полезного ископаемого и вскрытых пород формируется одна технологическая зона. Контуры ее ограничиваются дневной поверхностью сверху и почвой пласта — снизу. Выемка породы и полезного ископаемого производится горизонтальными уступами, имеющими одинаковую высоту по полезному ископаемому и по вскрыше. Опережение горных работ по вскрыше не создается. В результате формируется сплошная зона.

Схема 4. Отличие этой схемы от предыдущей заключается лишь в том, что выемка пород и полезного ископаемого производится наклонными слоями.

Схема 5. Несмотря на то, что выемка полезного ископаемого и вскрытых пород производится наклонными слоями, в схеме 5 формируются две технологические зоны. В каждой зоне могут быть свои параметры слоев, а главным признаком является необходимость опережения работ в первой зоне (см. расстояние L_0).

Схема 6. Особенность ее заключается в том, что вскрытые породы вынимаются слоями наклонной и горизонтальной формы, т. е. возможны комбинации слоев.

В рассмотренных вариантах схем рельефно выделяется наличие следующих элементов в формировании технологических зон:

- границы контуров технологических зон. Последние, как правило, располагаются по разграничительным поверхностям (кровля, почва, рельеф), но могут формироваться и по литологическим пачкам и т. п.;

- форма выемочных слоев в зонах и их параметры;

- опережение работ в верхних зонах по отношению к нижним.

По аналогии формируются технологические зоны при разра-

ботке месторождения свиты пластов. Здесь в каждом природном контуре (междупластье, пласт) может формироваться своя технологическая зона.

Иногда возникает необходимость раздельной выемки вмещающих пород. В этом случае предполагается, что информация о разграничительных поверхностях между типами пород известна. Что касается границ технологических схем, то здесь возможны два основных варианта формирования рабочей зоны:

— толща пород разделяется на технологические зоны, границами которых являются разделительные поверхности между контактами однородных пачек. Каждая пачка в зависимости от природных и технических факторов отрабатывается по определенной технологии;

— толща пород не разделяется на технологические зоны, однако есть необходимость дифференцированного учета объемов по типам пород.

При использовании системы с экскаваторной перевалкой вскрыши, в зависимости от природных и технических факторов, технологическая зона может формироваться для выемки одиночного пласта, а также свиты пластов (рис. 2.5).

Таким образом, в зависимости от геологических и технологических условий разрабатываемая продуктивная толща на основе инженерного анализа разделяется на технологические зоны. Чтобы ввести в ЭВМ информацию о границах технологических зон, рекомендуется выполнить по месторождению схематический обоб-

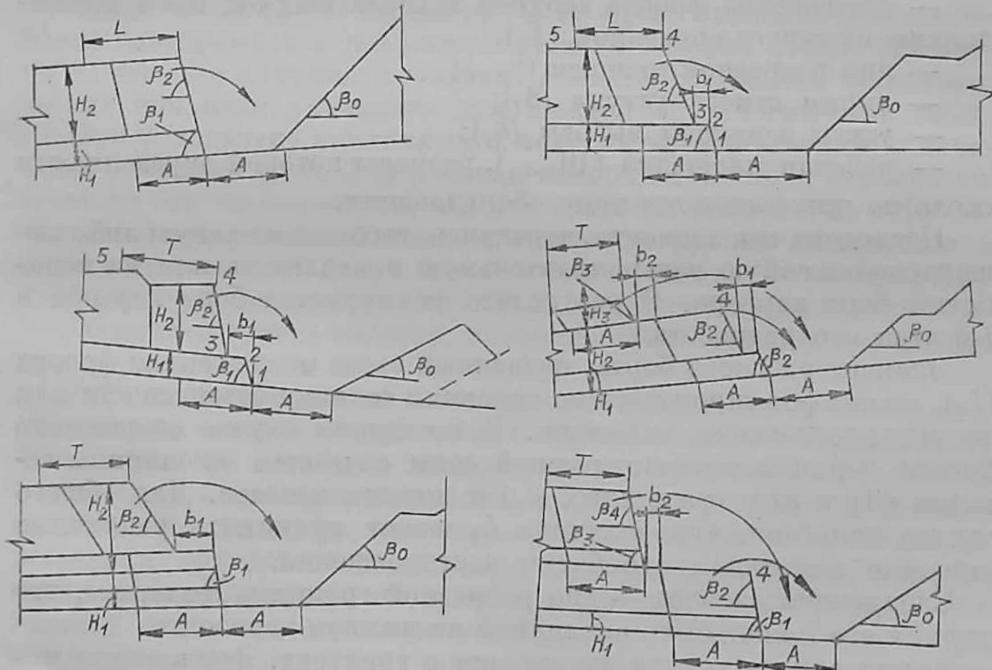


Рис. 2.5. Схема к выделению технологических зон при системе разработки с перевалкой вскрыши.

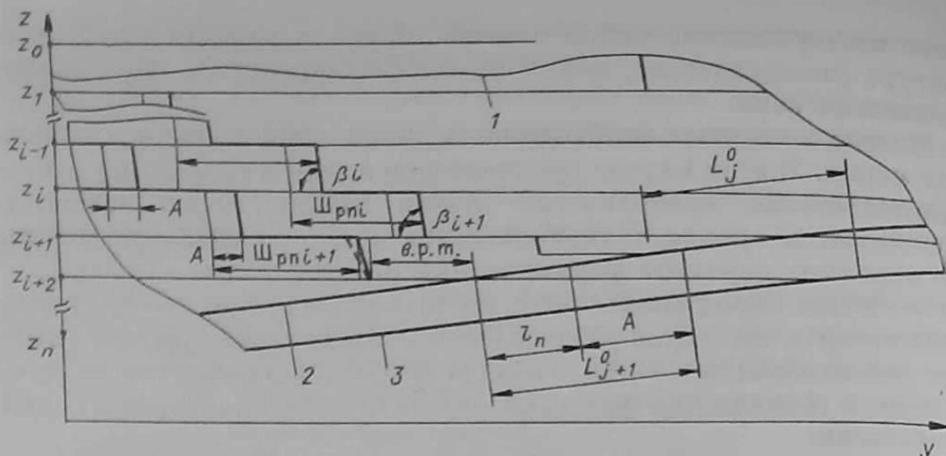


Рис. 2.6. Схема к формированию информации о конструкции борта при горизонтальных уступах.

1—3 — соответственно линии рельефа, кровли и почвы пласта.

щенный профиль, на который наносятся все разделительные линии. На профиле выделяются и нумеруются технологические зоны и схематично наносятся характерные элементы системы разработки.

Информация о параметрах систем разработки. Рабочая поверхность карьера в любой технологической зоне на профиле представляется ломанными линиями. При разработке наклонных и пологих месторождений горизонтальными уступами (рис. 2.6) рабочая поверхность представляется следующими элементами:

- опережение фронта верхней технологической зоны относительно нижерасположенной (L_j);
- дно разрезной траншеи ($b_{p.t.}$);
- линия откоса уступа (β_i);
- уступ заданной высоты (h_i);
- рабочая площадка ($Ш_{p.p.}$), размеры которой определяются согласно применяемому типу оборудования.

Последние три элемента, чередуясь, выходят на какую-либо вышерасположенную разграничительную поверхность или на нерабочий борт карьера. В результате формируется борт карьера в j -й этап его разработки.

Элемент рабочего борта, названный выше опережением фронта (L_j), может формироваться по условиям техники безопасности или по технологическим условиям. В последнем случае опережение фронта верхней технологической зоны слагается из ширины заходки (A) и подготовленных (l_n) к выемке запасов. Для общего случая полагаем, что величина L_i может принимать различные значения по этапам отработки месторождения.

Следующий элемент — дно разрезной траншеи. Полагаем, что ширина его может быть различной на каждом горизонте.

Линия откоса уступа измеряется в градусах. Здесь также полагаем, что угол откоса уступа может принимать различные значения на каждом уступе.

Горизонтальные уступы формируются, как правило, по транспортным горизонтам и характеризуются высотными отметками (z_i) сверху и снизу (z_{i+1}). Разность этих отметок является высотой уступа. Порядковые номера уступов отсчитываются сверху вниз. Информацией об уступах служат высотные отметки. Самая верхняя отметка (z_0 , рис. 2.6) горизонта (фиктивный горизонт) должна быть больше или в крайнем случае равна максимальной отметке рельефа на площади месторождения, если информация готовится о технологической зоне, расположенной над верхним пластом. В случае, если информация готовится о технологических зонах, расположенных внутри продуктивной толщи (например, в международной), то первая высотная отметка должна быть выше самого верхнего горизонта. Это требование продиктовано системой расчетов. Как и для других элементов борта, полагаем, что высоты уступов могут принимать различные значения по высоте рабочей зоны.

Ширина рабочей площадки задается на каждом горизонте исходя из технических параметров применяемого оборудования и организации работ на уступах. Предполагается, что на каждом горизонтальном слое она может иметь различные значения. При этом i -му горизонту соответствует i -ое значение ширины рабочей площадки.

Чтобы все названные элементы формировались в процессе расчетов в соответствующей технологической зоне, необходимо указать номера разделительных линий сверху и снизу, ограничивающие контур технологической зоны.

Могут возникнуть варианты, в которых значения элементов борта повторяются в различных технологических зонах. Несмотря на это, все значения элементов вместе с границами технологических зон надо указывать для каждой технологической зоны.

При разработке наклонных и пологих месторождений наклонными уступами (рис. 2.7) рабочая поверхность борта карьера состоит из тех же элементов, что и в системах разработки горизонтальными уступами. Однако опережение фронта измеряется в плоскости падения слоя, в котором оно создается. Угол откоса уступов измеряется от горизонтальной плоскости, а наклонный уступ характеризуется высотой, измеряемой по нормали к границам слоя.

Рабочая площадка на наклонных уступах, как правило, имеет наклон, ограниченный типом применяемого оборудования. Угол наклона площадки измеряется от горизонтали.

В отличие от горизонтальных слоев, где уступы приурочены к отметкам горизонтов, при наклонных слоях такая привязка невозможна, вследствие чего возникает необходимость нумерации слоев. При этом будем исходить из следующего. В процессе подготовки информации условно уступы отсчитываются снизу вверх, т. е. самому нижнему наклонному уступу в технологической зоне присваивается № 1, что отвечает принципу формирования рабочего борта как при графическом, так и при численном способе его

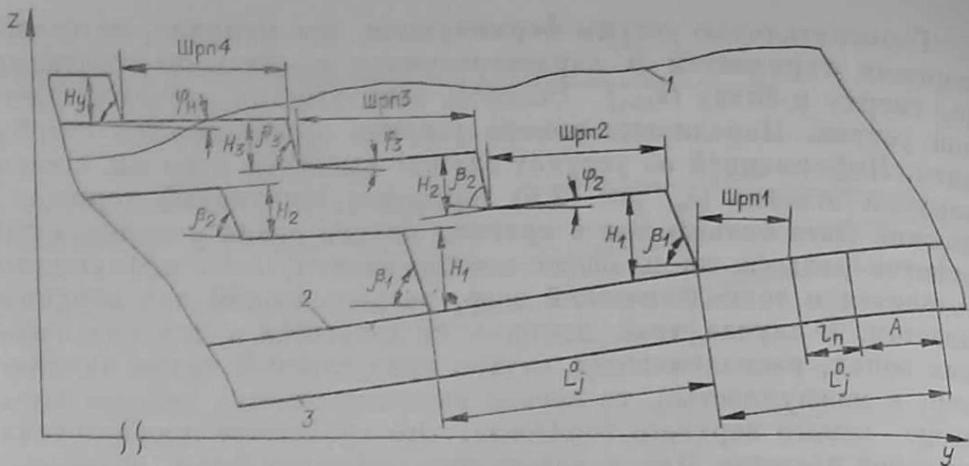


Рис. 2.7. Схема к формированию информации о конструкции борта при наклонных уступах.

1—3 — границы верхней технологической зоны, линии кровли и почвы пласта соответственно.

построения. В любом случае процесс отстройки борта начинается от подошвы самого нижнего уступа. В этой связи при формировании информации о технологической зоне с наклонными слоями самый нижний уступ является первым геометрическим элементом.

При формировании рабочего борта горизонтальными слоями отмечалось, что самая верхняя отметка горизонта должна быть выше или равна максимальной отметке рельефа. При наклонных слоях также выдвигается аналогичное требование. Здесь необходимо задать информацию о максимальном количестве слоев. Поэтому если хотя бы на одном малом участке имеется часть наклонного уступа, которая отсутствует на остальной площади месторождения, количество уступов (и следовательно, информации о них) должно быть увеличено на единицу.

Вообще данное требование не вызывает каких-либо затруднений. В таком случае можно ввести несколько фиктивных уступов. Это не искажает точности расчета, зато отпадает необходимость предварительного анализа месторождения. Все реально существующие уступы и их части будут учтены в ЭВМ.

При использовании системы с экскаваторной перевалкой вскрыши рабочий борт слагается из следующих элементов (рис. 2.8):

- линия откоса угольного уступа (β_i);
- уступ полезного ископаемого (h_i);
- берма безопасности по угольному уступу (B_i);
- линия откоса породного уступа (β_i);
- берма безопасности по породному уступу (B_i);
- высота породного уступа (H_i).

Чередуясь последовательно, эти элементы формируют рабочий борт при отработке как одиночного пласта, так и свиты сближенных пластов, т. е. практически для любых условий применения системы разработки с экскаваторной перевалкой вскрыши.

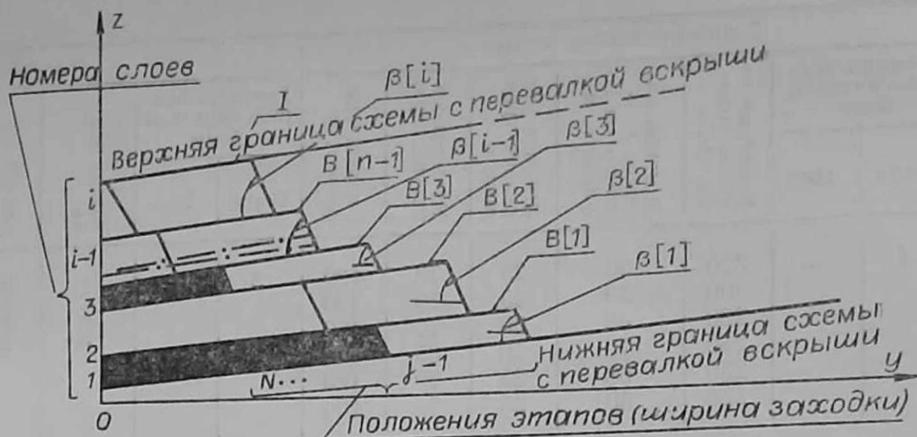


Рис. 2.8. Схема к формированию информации о конструкции рабочего борта в зоне экскаваторной перевалки вскрышных пород.

Такие элементы, как берма безопасности и линия откоса, понимаются здесь в общепринятом смысле. Высоты же уступов в зависимости от места их расположения могут определяться геологическими условиями или устанавливаться по техническим факторам. В первом случае уступы формируются в границах разделятельных линий, например уступы № 1, 2 и 3 на рис. 2.8. Здесь значения высот уступов должны быть заданы заранее большими числами, превосходящими соответственно мощности пластов и междупластий.

Порядок формирования информации о параметрах систем разработки. Элементы рабочей поверхности в каждой технологической зоне записываются в специальные таблицы, которые позволяют представить данные о параметрах элементов систем разработки.

Для пояснения принципа записи исходной информации воспользуемся примером на рис. 2.9, где представлен обобщенный схематический профиль месторождения, в котором выделяются три технологические зоны.

Первая зона охватывает вскрышную толщу пород над верхним пластом. Вскрышные породы вынимаются горизонтальными слоями. Ко второй технологической зоне относится пласт угля, разрабатываемый наклонными слоями. Наконец, к третьей технологической зоне относятся междупластие между первым и вторым пластом, пласти второй и третий, междупластие между вторым и третьим пластом. В этой зоне предполагается использовать систему разработки с экскаваторной перевалкой вскрыши.

После выделения технологических зон на обобщенном профиле наносится положение борта с указанием размеров его элементов. Затем элементы рабочей поверхности заносятся в соответствующие разделы таблицы (табл. 2.6).

В качестве примера в табл. 2.6 показана запись параметров систем разработки, приведенных на рис. 2.9.

Горизонтальные уступы							Наклонные			
Граница технологической зоны		Высотные отмечки горизонтов, м	Ширина рабочей площадки на горизонте, м	Ширина разрезной трапеции, м	Угол откоса уступа, град	Опережение фронта, м	Граница технологической зоны		Номер уступа	Высота уступа
Верх	Низ						Верх	Низ		
1	2	320	50	25	70	120	2	3	1	20
		300	50	25	70	120			2	15
		280	68	30	70	150			3	20
		250	75	30	65	140				
		230	68	25	70	120				
		220	50	25	75	100				

Записанная информация является основанием для моделирования динамики развития работ при намеченном варианте формирования технологических зон. Если намечается несколько вариантов формирования технологических зон или параметров элементов борта, то информация каждый раз подготавливается заново. Счет производится для каждого варианта отдельно.

Сказанное выше позволяет сформулировать следующий порядок подготовки информации о технологических параметрах.

1. Вычерчивается обобщенный схематический профиль месторождения, на который наносятся все разделительные линии, зафиксированные на любом малом участке месторождения.

2. На обобщенном профиле выделяются технологические зоны и определяются их границы.

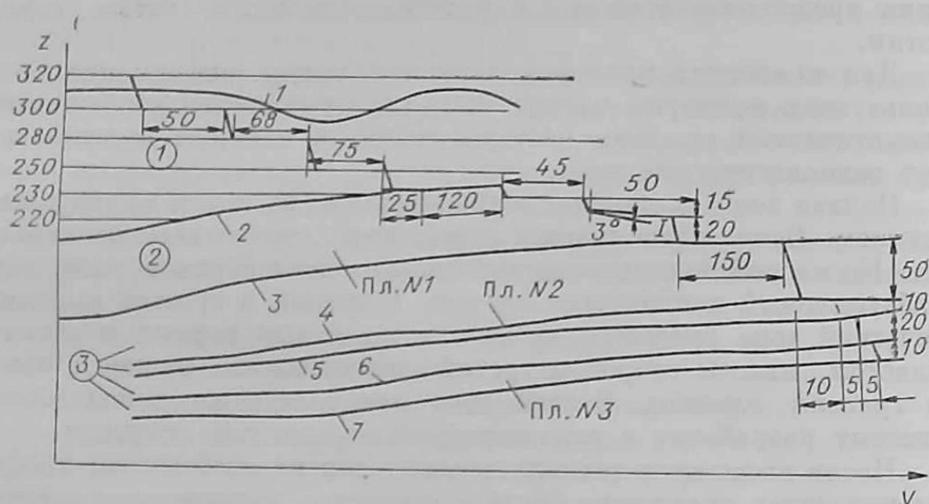


Рис. 2.9. Схема к формированию информации о конструкции рабочего борта в трех технологических зонах.

1 — линии рельефа; 2, 3 — кровля и почва пласта № 1; 4, 5 — кровля и почва пласта № 2; 6, 7 — кровля и почва пласта № 3. Цифры 1—3 в кружочках — номера технологических зон.

Таблица 2.6

				Система с перевалкой вскрыши						
Уступы	Ширина рабочей площадки, м	Угол наклона рабочей площадки, град	Угол откоса уступа, град	Граница технологической зоны		Номер слоя	Высота слоя, м	Ширина технологической бермы (опережение фронта, м)	Угол откоса слоя, град	
				Верх	Низ					
50	3,0	65	150	3	7	1	10	5	60	
45	3,0	70	150			2	20	5	70	
50	3,0	70	150			3	10	10	60	
						4	50	—	70	

3. В каждой технологической зоне схематично наносятся элементы рабочего борта и их размеры.

4. Выполняется запись элементов рабочего борта в таблицы.

§ 2.4. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ ПОТЕРЬ И ЗАСОРЕНИЯ УГЛЯ

Из всего многообразия источников потерь полезного ископаемого в данной работе учитываются потери, возникающие по технологическим условиям непосредственно в забое. По существующим методикам [82, 83] расчетные схемы определения потерь и засорения угля от внешней породы строятся согласно углам падения пластов и технологическим схемам их отработки.

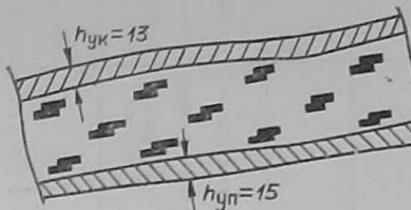
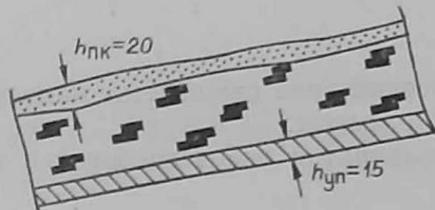
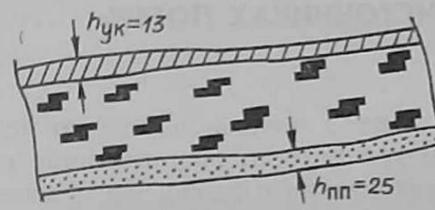
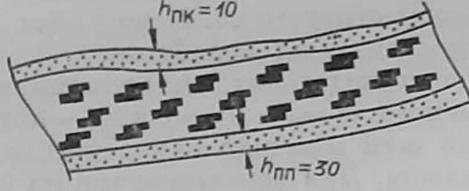
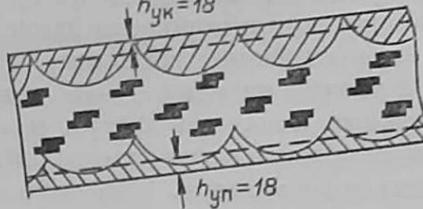
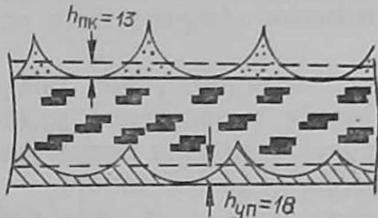
На горизонтальных и пологопадающих месторождениях потери представляют слой теряемого угля, а засорение — привнесение вмещающих пород по всей площади блока (заходки) при зачистке кровли и почвы пласта. При использовании на вскрышных и обычных работах роторных экскаваторов потери и засорение угля на контактах с вмещающими породами зависят от диаметра ротора и глубины отрабатываемой заходки.

При разработке залежей с углами падения 5—15° и производстве горных работ механическими лопатами потери и засорение образуются за счет создания горизонтальных площадок, необходимых для нормальной работы экскаваторов. При использовании на этих месторождениях систем разработки с перевалкой вскрыши могут возникать дополнительные потери угля в оставляемых опорных целиках.

Разработка наклонных пластов ведется, как правило, горизонтальными подступами. Потери и засорение угля в данном случае возникают в местах зачистки кровли подступа и кровли пласта, а также за счет недобора у почвы пласта.

Потери угля и его засорение зависят от типа применяемого

Таблица 2.7

№ п/п	Схема	$h_{y,к}$	$h_{y,п}$	$h_{п,к}$	$h_{п,п}$
		см			
1		13	45		
2			15	20	
3		13			25
4				10	30
5		18	18		
6			18	13	

№ п/п	Схема	$h_{y,к}$	$h_{y,п}$	$h_{п,к}$	$h_{п,п}$
		см			
7		12	15	5	
8		13	15		
9				10	18
10		12	8	10	18

оборудования, а также от физико-механических свойств ископаемого и вмещающих пород.

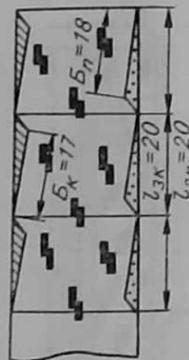
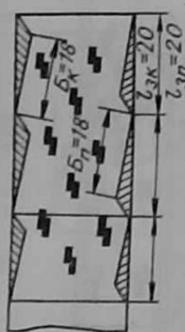
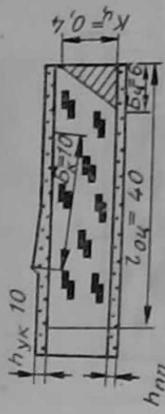
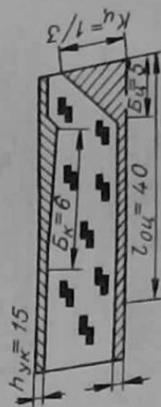
В моделируемых расчетных схемах учитываются потери угля и засорение от внешних пород на контактах слоев: порода — кровля, почва — порода, кровля подступа. Засорение от внутренних породных прослоев учитывается при валовой выемке угольной пачки. Если выемка породного пропластика ведется селективно, необходимо иметь информацию о пространственном его положении в угольной пачке.

Расчетные схемы потерь и засорения угля специфичны для определенных диапазонов углов падения пласта, но для моделиро-

Таблица 2.8

№ п/п	Схема	$h_{y, K}$	$h_{y, п}$	$h_{H, K}$	$h_{H, п}$	B_K	$l_{3, K}$	$B_{п}$	$l_{3, п}$	h_T	h_0	K_y	$B_{п}$	$l_{B, п}$
		см				м				см		д.ед.	м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		43	15			-6	35		35					
2			12	15		-9	29		29					
3				10	42	-10	30		30					
4		13			19	-6	36		36					
5			10	42		+6	21		21					
6		12	15			-6	21	+9	48					
7				10	8	+12	35	-6	20					
8		12	13			-8				15				48
9		15	13			-9				10	13			40

Продолжение табл. 2.8



вания схем в конкретных условиях возникает необходимость расширения или, наоборот, сужения областей их применения.

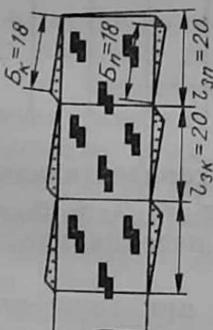
В табл. 2.7 представлены схемы расчета потерь и засорения месторождений угля с горизонтальным падением пластов. Области применения их распространяются на пласты с углами падения $0-3^\circ$. Но в практических условиях эти же расчетные схемы могут применяться на пластах с углами падения $0-5$ или $0-8^\circ$.

Аналогична ситуация и со схемами, представленными в табл. 2.8, по которым рассчитывают потери и засорение угля на пологих пластах. В конкретных условиях они могут применяться на пластах с углами падения $5-12$, $3-14$, $7-18^\circ$. Подобное обстоятельство касается и расчетных схем на пластах наклонного падения (табл. 2.9).

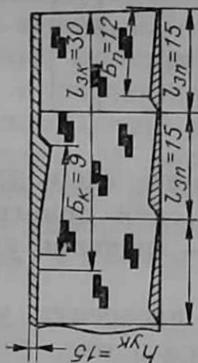
Для отображения возможных условий применения схем для расчета потерь и засорения целесообразно границы областей углов падения пласта вводить в качестве исходной информации. При этом будем считать, что α_g — верхняя граница угла падения, при которой используются расчетные схемы, специфичные для горизонтальных пластов; α_p — тоже, для пологих пластов; α_n — тоже, для наклонных пластов.

Тогда области использования расчетных схем потерь и засорения угля распреде-

			20
		-48	
	20		45
		-42	
		30	
			-9



14



15

Таблица 2.9

№ п/п	Схема	h _п					
		h _{у,к}	h _{у,п}	h _{у,кр}	h _{п,к}	h _{п,п}	h _{п,кр}
1		2	10	18	15		
2		4	15	12		46	
3		2	42	16			10
4		1	15	14	12		

ляются так: $0 \leq \alpha_j \leq \alpha_r$ — область схем для горизонтальных пластов; $\alpha_r \leq \alpha_j \leq \alpha_p$ — то же, для пологих; $\alpha_p \leq \alpha_j \leq \alpha_n$ — то же, для наклонных, где α_j — значение угла падения пласта в j -ый этап отработки.

Особенность учета потерь и засорения угля при горно-геометрических расчетах заключается в том, что условия залегания и углы падения пластов изменяются с глубиной отработки. В этой связи при моделировании развития работ необходимо предусмотреть автоматическое слежение за геологическими условиями, результатом чего является выбор схем расчета потерь и засорения.

Основные источники потерь и засорения угла определяются следующими параметрами:

— слоем зачистки угля в кровле ($h_{y,k}$) и почве ($h_{y,p}$) пласта;

— слоем привмешиваемых пород в кровле ($h_{\text{п.к.}}$) и почве ($h_{\text{п.п.}}$) пласта;

— размерами горизонтальной площадки, создаваемой для нормальной работы оборудования в кровле (B_K) и почве (B_H) пласта;

— шириной заходки в кровле ($l_{2, \text{н}}$) и почве ($l_{3, \text{н}}$) пласта;

— слоем зачистки в торце (h_t) заходки;

— слоем теряемого угля на внутренних отвалах (h_0);

— размерами опорного целика ($B_{ц}$, $K_{ц}$);

— расстоянием между опорными целиками ($l_{o..u}$) или шириной

ными целиками (6,0) или шириной заходки при системе с перевалкой вскрыши;

— слоем зачистки угля в кровле подступа ($h_{y, kp}$);

— слоем засоренного угля в кровле подступа ($h_{\text{п.кр.}}$);

— количеством подуступов (N_n). В зависимости от угла падения пласта названные параметры участвуют в формировании расчетных схем не одновременно. В качестве примеров в табл. 2.7—2.9 показаны варианты формирования информации о расчетных технологических схемах потерь и засорения угля. Справа от расчетных схем представлены фрагменты формирования информации о параметрах потерь и засорения угля.

Площадки для нормальной работы оборудования имеют форму треугольников и могут выполняться в теле пласта или формироваться из вскрышных пород. Для того чтобы отличить эти

Tabulka 2.10

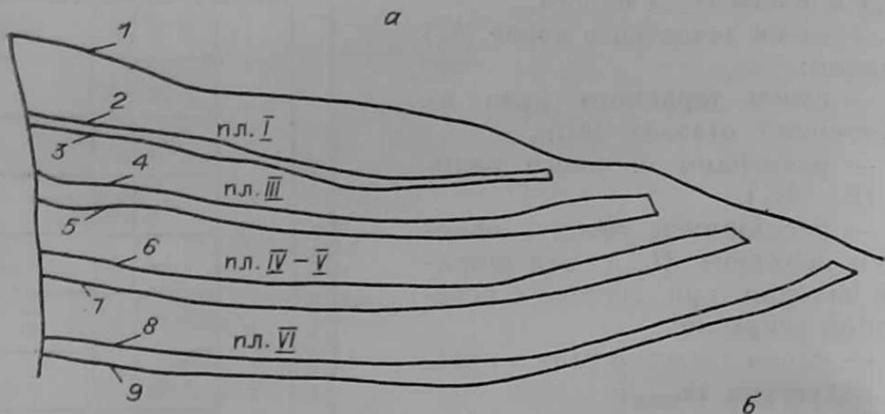
Углы падения пластов

два случая, принято условие: если треугольник выполняется в теле пласта, то он помечается знаком минус (-), иначе — плюс (+) (см. табл. 2.8).

Все перечисленные выше параметры легко определяются по нормативным данным при конструировании схем отработки пластов в процессе проектирования.

После того как установлены технологические схемы и определены количественные значения потерь и засорения, информация о них заносится в макет. Он рассчитан на три диапазона углов падения пластов, а набор параметров в каждом диапазоне позволяет моделировать на ЭВМ любую технологическую схему отработки пластов (табл. 2.10).

Графы макета 3—6 отводятся для записи информации об ис-



N пла- ста	Граница технологоч. зоны	Схемы к расчету потерь и
I	2-3	
III	4-5	
IV-V	6-7	
VI	8-9	

точниках потерь и засорения на пластах (его участках) с углом падения $0 \div \alpha_r$. Соответственно для пластов с углами падения $\alpha_r \div \alpha_n$ и $\alpha_n \div \alpha_h$ отведены графы 7—19 и 20—26.

В графах 1—2 записывается информация о границах технологической зоны, т. е. номера разделительных линий, описывающих кровлю и почву каждого пласта. При этом предполагается, что пласт целиком относится к одной технологической зоне.

Рассмотрим пример формирования информации об источниках потерь и засорения угля на одном из месторождений, представленных свитой из четырех пластов (рис. 2.10).

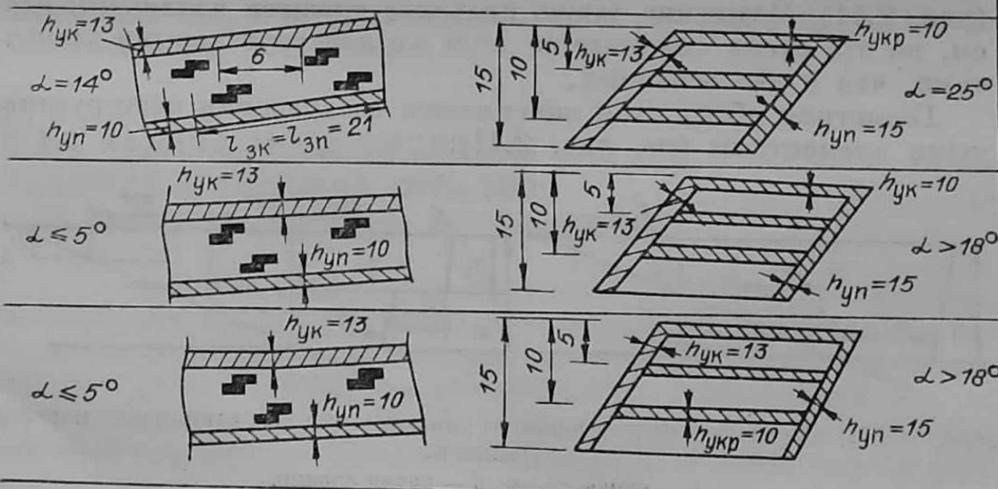
В результате анализа геологических и технологических условий определены схемы для расчета потерь и засорения угля по каждому пласту и установлены параметры их элементов.

Расчетные схемы при этом дифференцированы по углам падения пластов (рис. 2.10, б). По пласту I независимо от угла его падения потери угля определяются по одной расчетной схеме (параметры схемы см. на рис. 2.10, б, зона 2—3). Принятая расчетная схема информационно должна отразиться во всех диапазонах углов падения пласта, что и показывает запись в табл. 2.10 (значения h_{yK} и h_{yn} записаны во всех диапазонах углов падения одинаковыми).

Рис. 2.10. Схема к примеру формирования информации о потерях и засорениях угля.

а — обобщенный профиль; б — схема расчета потерь на пластах при различных углах их падения.

засорения угля при всех диапазонах углов падения



Углы падения пласта III изменяются с глубиной его залегания от 7° до 25°. Поэтому здесь приняты три расчетные схемы, каждая из которых используется в диапазонах углов падения пласта $0 \leq \alpha \leq 7^\circ$; $7^\circ \leq \alpha \leq 14^\circ$; $14^\circ \leq \alpha \leq 25^\circ$. В каждой схеме определены параметры и записаны в табл. 2.10 (см. строку для зоны 4—5 и параметры схемы рис. 2.10, б). По аналогии выполнено формирование данных для зон 6—7 и 8—9 (см. рис. 2.10, б и табл. 2.10).

В заключение установим порядок формирования информации об источниках потерь и засорения угля.

1. Выполняется анализ геологических условий каждого пласта, в результате которого определяются технологические схемы отработки на различных участках, дифференцированных по углам падения.

2. Определяются элементы источников потерь и засорения для каждой технологической схемы и устанавливаются их количественные значения.

3. Информация о технологических схемах и их параметрах заносится в макет, в котором фиксируются границы технологической зоны и все количественные показатели, определяющие потери и засорение угля.

§ 2.5. ИНФОРМАЦИЯ О ГЕОМЕТРИИ РАЗРЕЗНЫХ ТРАНШЕЙ ПРИ НАРЕЗКЕ НОВЫХ ГОРИЗОНТОВ

С точки зрения горно-геометрических расчетов интерес представляет геометрия формирования контуров разрезных траншей в динамике развития горных работ. Поэтому здесь обратим внимание на геометрический смысл, отвлекаясь от технологии самого процесса.

Научные исследования и опыт [84] показывают, что при пологом и наклонном залегании пластов распространены в основном две схемы проходки разрезных траншей: одним и двумя слоями (рис. 2.11). Возможна также проходка траншей наклонным слоем, но эта схема описывается теми же конструктивными элементами, что и две основных.

Геометрия обеих схем описывается следующими конструктивными элементами (см. рис. 2.11):

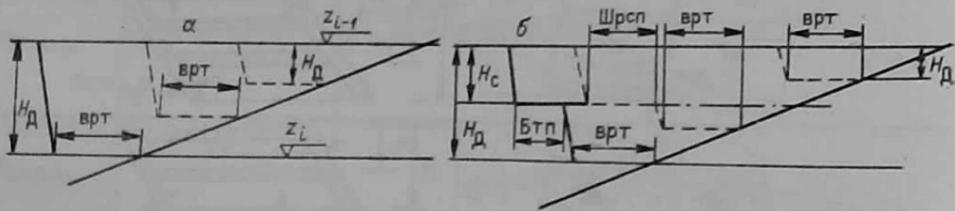


Рис. 2.11. Схемы к формированию информации о вариантах нарезки траншей.

а — одним слоем; б — двумя слоями.

Таблица 2.11

Граница технологической зоны		Начальная глубина траншеи (H_d), м	Высота верхнего слоя (H_c), м	Ширина дна траншеи ($b_{p.t}$), м	Ширина рабочей площадки в верхнем слое ($Ш_{p.p.c}$), м	Ширина транспортной бермы ($B_{t.p}$), м
Верх	Низ					
1	2	2	10	25	20	10
3	4	3	—	28	—	—

- необходимая начальная глубина, с которой начинается первый проход по нарезке траншеи (H_d);
- ширина дна разрезной траншеи ($b_{p.t}$);
- ширина рабочей площадки в слое при проходке траншеи слоями ($Ш_{p.p.c}$);
- высота верхнего слоя траншеи (H_c);
- ширина транспортной полосы на момент окончания проходки траншеи ($B_{t.p}$).

Понятно, что важным параметром траншеи является ее глубина. Однако она определяется высотой уступа, значение которого характеризуется параметрами технологических схем. Порядок формирования этих данных рассмотрен в § 2.3.

В отдельных технологических зонах траншейные работы, а следовательно, и геометрические параметры могут иметь различные значения. Поэтому данные о параметрах и способах проходки траншей устанавливаются для каждой технологической зоны, разработка в которой ведется горизонтальными уступами.

Покажем на примере порядок формирования информации о подготовке траншей в двух технологических зонах. В первой зоне траншейные работы ведутся двумя слоями со следующими параметрами: $H_d = 2$ м; $Ш_{p.p.c} = 20$ м, $b_{p.t} = 25$ м, $H_c = 10$ м, $B_{t.p} = 10$ м, в третьей зоне — одним слоем с $H_d = 2$ м, $b_{p.t} = 28$ м.

Принятые технические решения отображаются записью в специальной таблице (табл. 2.11).

Аналогично подготавливается информация для всех технологических зон, в которых используются системы разработки горизонтальными уступами.

§ 2.6. ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ И ЕЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ

В § 2.4—2.5 рассматривались принципы описания технических решений для количественной оценки вариантов развития карьера путем моделирования динамики вскрышных и добывчих работ, т. е. работ, ведущихся в забойной зоне. Характерная особенность горизонтальных и пологих месторождений — возможность развития внутренних отвалов. Как правило, в таком случае раз-

вление работ в забойной и отвальной зонах разреза взаимосвязано. И, следовательно, динамика отработки разреза должна моделироваться с учетом развития работ в обеих зонах. Исходя из этого информационное обеспечение горно-геометрических расчетов в отвальной зоне должно строиться с учетом существующей взаимосвязи.

При формировании требований к информационному обеспечению необходимо учитывать общую постановку задачи, детальность и метод ее решения, т. е. исходные отправные положения. Рассмотрим их применительно к задаче внутреннего отвалообразования.

Тип задачи. При проектировании отработки пологих и горизонтальных месторождений для решения вопросов транспортирования в системе забой — отвал возникает необходимость определения емкостей внутренних отвалов и распределения их по ярусам и этапам разработки. Вычисление последних осуществляется на основе имитации динамики развития отвальной зоны путем геометрических построений и определенных аналитических вычислений. Какие-либо другие задачи на данном этапе не решаются. Поэтому вычисление емкостей внутренних отвалов относится к горно-геометрическим задачам.

Ограничения. В достаточно крепких, устойчивых породах разработка пород вскрыши одновременно с ее складированием в выработанном пространстве возможна при углах падения пласта $12-15^\circ$. Следовательно, при больших углах падения решение задачи неподесообразно.

Независимо от способа возведения отвалов на их конфигурацию влияют физико-механические свойства отсыпаемых и подстилающих пород. Полагаем, что влияющие факторы учтены и предварительно решена задача устойчивости отвалов для месторождения. В результате решения располагаем интегральным показателем — таблицей устойчивых углов откоса отвалов для различной их высоты и углов наклона подотвальной поверхности.

Отвал характеризуется максимально допустимой высотой насыпи, определяемой, как и углы устойчивости, на основе физико-механических свойств горных пород. Отвальная зона может формироваться непосредственно у основания вскрышной зоны или отставать на заданном расстоянии.

Таким образом, ограничивающими факторами являются углы устойчивых отвалов, максимально допустимая высота и расстояние между основаниями отвальной и вскрышной зон.

Технологическое содержание задачи. Технология отсыпки внутренних отвалов весьма разнообразна. Однако основным качественным признаком их деления служит способ перемещения пород в выработанное пространство. В этом плане при formalизации задачи различаются схемы развития отвалов по беспротранспортной и транспортной технологиям, так как геометрия формирования таких схем имеет существенные отличия.

В данной работе уделяется основное внимание технологии отсыпки отвалов при перемещении вскрытых пород транспортными средствами.

По мере ухода горных работ на глубину увеличивается высота внутренних отвалов. По достижении предельной высоты рост количества отвальных ярусов прекращается. Начиная с этого момента высота внутренних отвалов становится постоянной, а их емкость достигает максимального значения.

В общем случае углы падения подотвальной поверхности могут изменяться в широком диапазоне. В результате на месторождении возникают зоны, где возведение внутренних отвалов невозможно, так как углы наклона подотвальной поверхности на этих участках превышают предельные ($\alpha_{\text{пр}}$), т. е. $12-15^\circ$. В каждом конкретном случае значение $\alpha_{\text{пр}}$ определяется в зависимости от свойств пород. Площади участков, непригодные для размещения отвалов, могут иметь локальное и повсеместное распространение. В последнем случае задача о внутреннем отвалообразовании в период разработки месторождения вообще не имеет смысла.

При наличии локальных участков, на которых углы падения превышают допустимые, вопрос о строительстве внутренних отвалов решается заранее. К моменту постановки задачи на ЭВМ должны быть известны границы зоны, в пределах которой возможно развитие внутренних отвалов. При этом зона расположения внутренних отвалов должна быть сплошной, т. е. какие-либо участки разрыва сплошности не допускаются. Граница зоны может иметь начало не с дневной поверхности, а с некоторой глубины месторождений, но, однажды получив развитие, внутренний отвал не может прерываться до конечной границы.

Наряду с внутренними отвалами, имеющими сплошное распространение в зоне, на месторождении могут быть участки, благоприятные для складирования пород вскрыши. Однако емкости этих участков несравненно малы по отношению к площадям, занимаемым внутренними отвалами. Кроме того, и технологические схемы сооружения таких складов породы совершенно отличны от используемых при строительстве отвалов.

Таким образом, по природным условиям возможны следующие решения о строительстве внутренних отвалов [85]:

- строительство внутренних отвалов в контурах карьера по всей площади;
- строительство внутренних отвалов на отдельных участках карьера с допустимыми размерами фронта отвальных работ;
- геологические условия допускают только складирование вскрытых пород на локальных участках подотвальной поверхности;
- строительство внутренних отвалов невозможно на всей площади месторождения.

Рассмотрим некоторые примеры приведенных ситуаций. Что касается первой, условия ее применения ясны. Это горизонталь-

ные и пологие месторождения с выдержаным углом падения. Сюда можно отнести, например, большую часть месторождений Канско-Ачинского бассейна.

Что касается частичного использования выработанных площадей, то сюда относятся, например, месторождения Талдинское (Кузбасс), Нерюнгрийское (Якутия) и др. Здесь зоны расположения внутренних отвалов расширяются с глубиной или занимают какое-то крыло.

В случае, когда зона формирования отвалов изменяется по глубине отработки, необходимо иметь информацию о ее границах. Последняя, очевидно, может быть получена в ЭВМ на основании данных о гипсометрии подотвальной поверхности. Если же зона расположения внутренних отвалов имеет ограничение по простирианию, то разрез (месторождение) можно условно разделить на два участка (крыла) и вычисления вести только для одного из них.

Особое место занимает ситуация, когда внутренние отвалы не могут получить полного развития, а имеются только площади для складирования небольших объемов пород.

В процессе движения отвала в глубину (вкрест простирианию) на его формирование влияет комплекс факторов, которые определяют конфигурацию бортов и тем самым возможные емкости для складирования. При этом выделяются следующие основные периоды в формировании отвалов [85]:

- отвалы получают начальное развитие при достижении горными работами определенной глубины (рис. 2.12, а). В частном случае отвальный фронт может начинаться параллельно со вскрышными работами;

- фронт первичных отвалов получил некоторое развитие, но вторичные отвалы не могут отстраиваться, так как контур, соответствующий устойчивому углу откоса, пересекает линию подотвальной поверхности. В результате невозможно создать емкости для вторичных отвалов (2.12, б);

- отвальный фронт получил полное развитие по первичным и вторичным отвалам (рис. 2.12, в);

- отвалы достигли максимально допустимой высоты по условиям устойчивости (рис. 2.12, г);

Все перечисленные типичные моменты динамики внутреннего отвалообразования должны найти отражение в алгоритмах, имитирующих этот процесс.

На площади, занимаемой внутренними отвалами, может располагаться выездная траншея. Место ее расположения задается инженером.

Конфигурацию внутреннего отвального борта в любой период развития слагают следующие элементы:

- расстояние (L_1) между нижними основаниями вскрышного и отвального бортов, измеряемое в плоскости подотвальной поверхности;

- углы откоса ярусов (β_i);

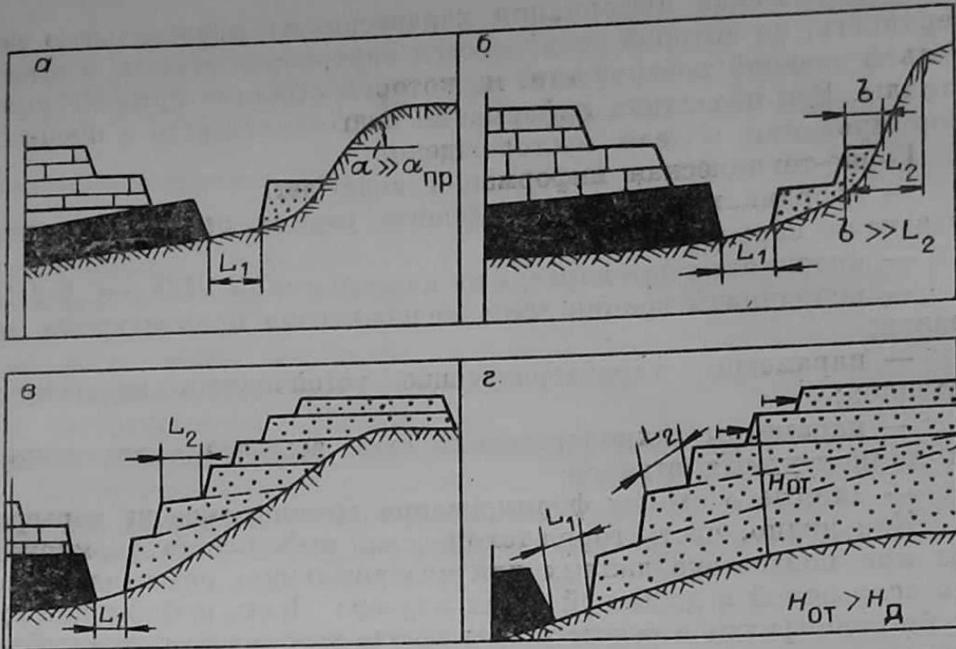


Рис. 2.12. Типичные периоды в динамике формирования внутренних отвалов.

- рабочие площадки (горизонтальные или наклонные);
- расстояние, определяющее отставание подошвы вторичных отвалов от гребня первичных (L_2).

Эти элементы, чередуясь в определенной последовательности и взаимодействуя с подотвальной поверхностью, рельефом, плоскостью устойчивого откоса отвала и максимально допустимой высотой, формируют борт отвала, который представляется ломаной поверхностью. Замена ломаного борта ведет к потере точности при вычислениях емкости и неверно отражает динамику формирования отвала, что весьма важно при увязке календарных планов распределения вскрышных пород по ярусам. Поэтому при моделировании динамики развития отвалов конфигурация борта должна представляться ломаной линией.

Перечень вычисляемых показателей. В результате расчетов на конкретно заданном месторождении необходимо вычислить:

- емкости первичных и вторичных отвалов по ярусам и этапам их формирования;
- поярусные емкости приконтурных отвалов;
- координаты появления и погашения каждого яруса первичных и вторичных отвалов;
- длины фронта работ по каждому ярусу отвала по этапам его формирования.

Все сказанное о технологической стороне задачи определяет содержательную сторону информационного обеспечения моделирования динамики развития внутренних отвалов. Здесь отчетливо выделяется геологическая и горно-техническая информация.

Геологическая информация характеризует подотвальную поверхность, на которой сооружаются внутренние отвалы, а также рельеф дневной поверхности, на котором строятся приконтурные отвалы. Вся названная информация подготавливается в процессе формирования модели месторождения.

Горно-техническая информация включает:

- координаты положения фронта горных работ по этапам развития карьера (см. § 2.3);
- координаты дна карьера на каждой линии УГП (см. § 2.1);
- координаты границ зоны расположения приконтурных отвалов;
- параметры, характеризующие устойчивость внутренних отвалов;
- параметры технологических схем возведения внутренних и приконтурных отвалов;
- данные о схемах формирования грузопотоков из карьера.

Как видно, часть горно-технической информации формируется при подготовке данных для моделирования развития работ во вскрышной и добычной зонах карьера. Часть информации сугубо специфична и соответствует задаче внутреннего отвалообразования, причем она отображает принимаемые технические решения по процессу развития внутренних и приконтурных отвалов.

§ 2.7. ФОРМИРОВАНИЕ ОБЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ О ПОДОТВАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Общая информация призвана характеризовать¹ зону сооружения отвалов на месторождении следующими компонентами:

- границами поля для сооружения внутренних отвалов;
- подотвальной поверхностью, на которой проектируется сооружение внутренних отвалов;
- количеством транспортных выходов из карьера и местами их расположения;
- количеством расчетных этапов (лет).

Полагаем, что на месторождении может быть несколько карьеров или несколько вариантов расположения одного карьера. Может рассчитываться вариант сооружения внутренних отвалов только на одном фланге карьера. В любом из этих случаев необходимо выделить границы поля карьера, в пределах которых предполагается моделирование развития внутренних отвалов.

Принципиально подобная задача рассматривалась при оконтурировании границ карьера (см. § 2.1). В данном случае контур поля под внутренние отвалы фиксируется номерами УГП с левого и правого флангов карьера.

Почва стратиграфически нижнего пласта является, как правило, поверхностью, на которой сооружаются отвалы (подотвальная поверхность). Однако на месторождении, представленном свитой пластов, иногда нижние пласти не отрабатываются.

Рис. 2.13. К формированию информации о границах подотвальной поверхности и местах расположения транспортных коммуникаций.

В этой связи необходимая подотвальная поверхность задается указанием номера пласта. Этого достаточно для того, чтобы из имеющейся информации по модели месторождения определялась геометрия подотвальной поверхности.

Количество и места расположения транспортных выходов из карьера влияют на емкость внутренних отвалов. В общем случае полагаем, что транспортных выходов не может быть более трех. При этом возможны различные количественные и качественные сочетания: 1) $L \vee P \vee C$; 2) L ; 3) P ; 4) $L \vee C$; 5) $L \vee P$, где L — транспортный выход расположен у левого фланга карьера; P — то же, у правого; C — то же, в центре. Запись 1 означает, что транспортные выходы расположены у левого и правого флангов карьера и в центре, запись 2 — транспортный выход только у левого фланга и т. д. Зону расположения каждого транспортного выхода необходимо определить, для чего достаточно зафиксировать номера ближайших профилей, расположенных в зоне транспортных выходов. В дальнейшем эти данные используются для построения торцевых поверхностей.

Все названные данные записываются в макет. В табл. 2.12 представлены данные для примера, показанного на рис. 2.13.

Подотвальная поверхность, являясь основанием отвала, определяет в основном параметры сооружаемых отвалов. От углов ее наклона и типа слагающих пород зависит устойчивость конструкций отвалов. Параметры, определяющие устойчивость отвалов, в свою очередь, зависят от петрографического состава отсыпаемых пород, высоты отвала и других факторов.

В целом для расчета устойчивых конструкций отвальных ярусов необходима интегральная информация, выражающая связь между углами наклона основания подотвальной поверхности, высотой отвала и типом его основания. Подобная связь в общем ви-

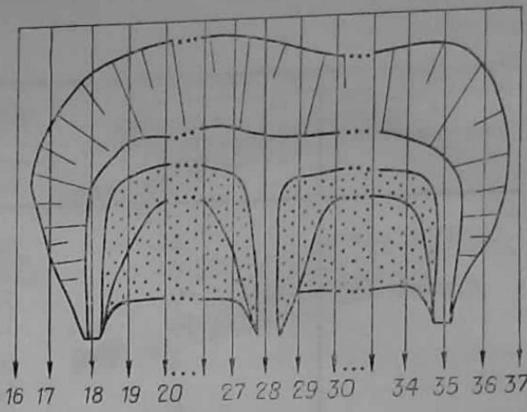


Таблица 2.12

Граница карьера (№ УГП)	Подотвальная поверхность (номер пласта)	Количество трансп. выходов на карьере	Номера профилей в зонах транспортных выходов			Кол-во этапов
			Левый фланг	Центр	Правый фланг	
Левый фланг	Правый фланг					
18	35	1	3	18	28	35

6*

Таблица 2.13

Тип основания	Угол наклона основания отвала, град	Общий угол наклона многоярусного отвала (град.) при общей его высоте, м					
		20	30	40	60	80	100
Слабое	3	34	32	32	29	29	—
	6	32	32	32	29	27	—
	9	32	31	28	25	22	—
	12	32	27	24	—	—	—
Прочное	3	46	41	38	35	33	32
	6	43	39	36	33	31	30
	9	40	36	34	32	30	29
	12	38	34	32	30	29	28
	15	37	33	31	29	28	27
	18	34	32	29	27	26	25

де выражается соотношением $\gamma_y = (\alpha, H, r)$, где γ_y — устойчивый угол отвала; α — угол наклона основания отвала (подотвальная поверхность); H — высота отвала; r — тип основания отвала (прочное, слабое). Очевидно, что сведения такого плана должны быть получены для конкретного месторождения путем специальных исследований. В качестве примера в табл. 2.13 приведены данные, использованные нами при ориентировочных расчетах.

Для отдельных месторождений исследования устойчивости отвалов выполняются специализированными лабораториями. Без таких данных ставить задачу о сооружении внутренних отвалов не имеет смысла.

В целом общие сведения о подотвальной поверхности, как видно, характеризуют пространственное ее положение, возможные высоты сооружаемых отвалов в любой ее точке. Определяются и технические решения о границах зоны расположения отвала и транспортных выходах из карьера.

§ 2.8. ИНФОРМАЦИЯ О КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРАХ БОРТА ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ

С горно-геометрической точки зрения необходимо различать первичные, вторичные и приконтурные отвалы. Под первичными будем понимать отвалы, возводимые непосредственно на подотвальную поверхность, вторичные возводятся на поверхности первичных. Геометрия их формирования может отличаться от первичных или повторять ее, по обязательно некоторое отставание вторичных отвалов. Приконтурные отвалы возводятся в непосредственном примыкании к борту карьера и, как правило, горизонтальными ярусами.

Как первичные, так и вторичные отвалы отсыпаются ярусами. Высота ярусов при горизонтальных слоях измеряется по верти-

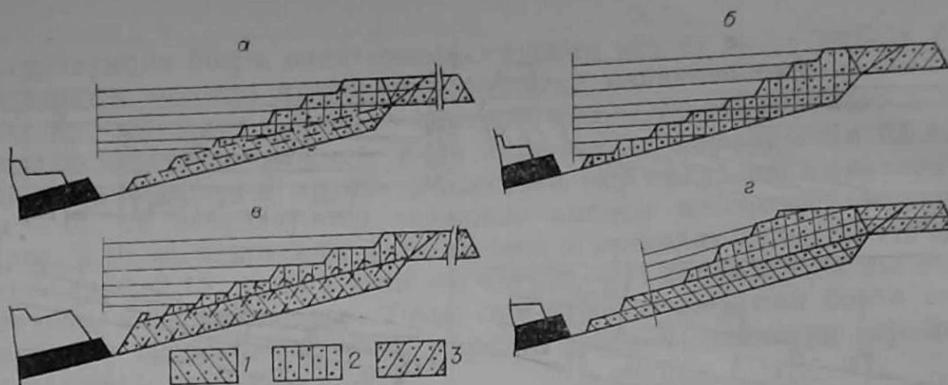


Рис. 2.14. Принципиальные схемы внутренних отвалов.

1, 2 — соответственно первичные и вторичные внутренние отвалы; 3 — приконтурные отвалы (а — г — схемы 1—4).

кали, а при наклонных — по нормали к поверхности предыдущего яруса.

В схеме 1 (рис. 2.14, а) первичные ярусы отсыпаются наклонными слоями, повторяющими (конечно, в некотором приближении) подотвальное поверхность. Первичные ярусы отвалов могут отсыпаться по системе с перевалкой вскрыши (схема 2): вторичные — горизонтальными (схемы 1, 2) и наклонными (схема 4) слоями.

Таким образом, конструкция борта внутреннего отвала может в общем случае формироваться наклонными и горизонтальными ярусами (рис. 2.15, а). Элементы конструкции в плоскости профиля представляются следующими компонентами:

- высотой яруса;
- шириной рабочей площадки на ярусе;
- углом откоса яруса;
- количеством ярусов;
- максимальной высотой внутреннего отвала.

Конструкция горизонтальных ярусов отвала в плоскости профиля представляется ломаной линией, состоящей из отрезков, отображающих ширину рабочей площадки, откос яруса и его высоту. Чередуясь последовательно, эти элементы формируют борт отвала со стороны выработанного пространства карьера в любой этап его развития. Упорядочивание горизонтальных ярусов в пространстве выполняется привязкой их к одноименным высотным отметкам. Высота яруса представляется разностью высотных отметок. В качестве примера на рис. 2.15, б приведены элементы конструкции горизонтальных ярусов: z_i , $Ш_i$, α_i — соответственно высотная отметка, ширина рабочей площадки и угол откоса, задаваемые для i -го яруса.

Ширина рабочей площадки должна включать все необходимые элементы, отражающие технологию отсыпки отвала, т. е. транспортные полосы, зону безопасности, отвальную заходку и т. д. Угол откоса яруса соответствует значению устойчивого

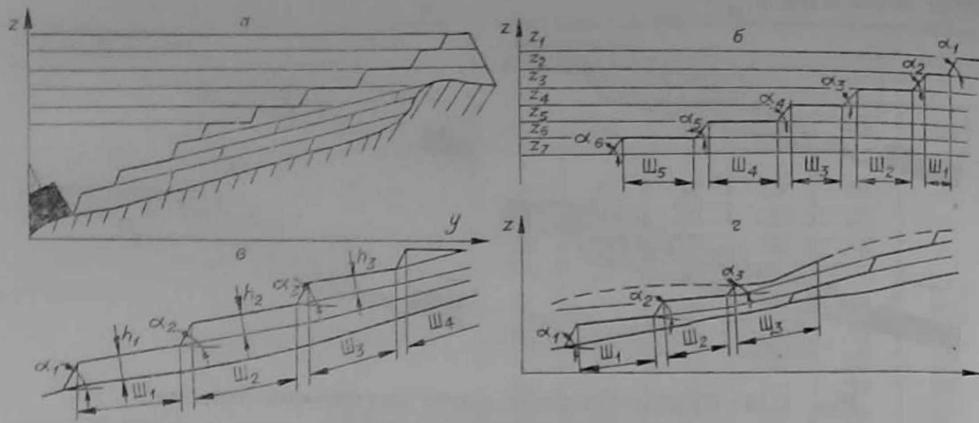


Рис. 2.15. Схема к формированию информации о конструкции борта внутренних отвалов.

а — общий случай конструкции борта отвала;
б — элементы горизонтальных ярусов:

z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	\dots	z_{19}	z_{20}
Ш1	Ш2	Ш3	Ш4	Ш5	\dots	Ш19	Ш20
α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	\dots	α_{19}	α_{20}

в — элементы наклонных ярусов:

h_1	h_2	h_3	h_4	\dots	h_{10}	h_{20}
Ш1	Ш2	Ш3	Ш4	\dots	Ш19	Ш20
α_1	α_2	α_3	α_4	\dots	α_{19}	α_{20}

г — элементы наклонных ярусов при сооружении их в пределах ограниченного контура:

К-во ярусов	Ш1	Ш2	Ш3	\dots	Ш20
3	α_1	α_2	α_3	\dots	α_{20}

состояния и зависит от физико-механических свойств отсыпаемых пород, высоты яруса и технологии отсыпки.

Принцип формирования элементов конструкции борта горизонтальными ярусами пояснен рис. 2.15, б. Наклонные ярусы слагаются из тех же конструктивных параметров, что и горизонтальные, но отличаются от последних высотой, измеряемой по нормали к площадке. Принцип формирования элементов конструкции наклонных ярусов показан на рис. 2.15, в, г. Формирование

Параметры технологических схем внутреннего отвала

Количе- ство яру- сов	Наклонные ярусы						Горизонтальные					
	Высота яру- са, м	Ширина рабочей площадки, м		Угол откоса яруса, град		Количе- ство яру- сов	Высотная отметка яруса, м					
2	6			11		17	19					25
2	3 0 .	6 0 .		3 0 .		5	3 4 0 .					
2	2 0 .	6 0 .		3 0 .			3 1 0 .					
	.	.		.			2 8 0 .					
	.	.		.			2 5 0 .					
	.	.		.			2 2 0 .					
	.	.		.			2 0 0 .					

конструкции борта наклонными ярусами может выполняться по заданным высотам ярусов или согласно назначенному их количеству в пределах какого-то контура, например занимаемого площадью пласта на профиле. Если борт отвала формируется из заданного количества ярусов (обозначим эту ситуацию признаком $\mu = 0$), то используются заданные высоты наклонных ярусов (рис. 2.15, *в*). Если борт формируется в пределах заданного контура (рис. 2.15, *г*), то в этом случае ($\mu = 1$) задаются не высоты ярусов, а их количество. Тогда при конструировании борта получается переменная высота ярусов, кратная мощности ограничивающего контура.

Для вычисления емкостей отвалов в соизмерении с плотным телом необходима информация о коэффициенте разрыхления пород, складируемых в отвал. При этом полагаем, что известна закономерность его изменения для каждого яруса (от верхнего к нижнему).

Очевидно, что общая высота отвала может быть ограничена. С одной стороны, ограничение определяется допустимой устойчивостью в конкретных условиях, с другой — возможны условия, когда высоту необходимо ограничить некоторыми дополнительными требованиями.

Естественно, что в любом случае необходимо знать тип основания отвала (см. § 2.7). Примем условно $r = 0$ — слабое основание; $r = 1$ — прочное.

Перечисленные данные заносятся в специальную таблицу, разделенную для записи информации по наклонным и горизонтальным ярусам (табл. 2.14). Для примера, данные в табл. 2.14 означают, что предлагается конструкция борта отвала, состоящая из двух наклонных ярусов (первичный отвал) высотой 30 и 20 м и пяти горизонтальных высотой 30 м. Горизонтальные ярусы привязаны к высотным отметкам 340, 310, 250, 280, 220 м. Ширина рабочей площадки в зоне наклонных ярусов принята равной

Таблица 2.14

ярусы	Месторождение:										Макет ГТИ-02					
	Исполнил:					Коэффициент разрыхления					тип. основ.		μ			
Ширина рабочей площадки, м	Угол откоса яруса, град				Максим. высота отвала, м			наклонных ярусов			горизонтальных ярусов					
7 0 .	30	2 5 .	36	1 5 0 .	41	1 .	1 0	1 .	45	-	49	50	51	1	0	
7 0 .	2 5 .	2 5 .	36	1 .	41	1 .	1 5	1 .	45	1 .	49	50	51	1	0	
7 0 .	2 5 .	2 5 .	36	1 .	41	1 .	1 5	1 .	45	1 .	49	50	51	1	0	
7 0 .	2 5 .	2 5 .	36	1 .	41	1 .	1 5	1 .	45	1 .	49	50	51	1	0	
7 0 .	2 5 .	2 5 .	36	1 .	41	1 .	1 5	1 .	45	1 .	49	50	51	1	0	
7 0 .	2 5 .	2 5 .	36	1 .	41	1 .	1 5	1 .	45	1 .	49	50	51	1	0	

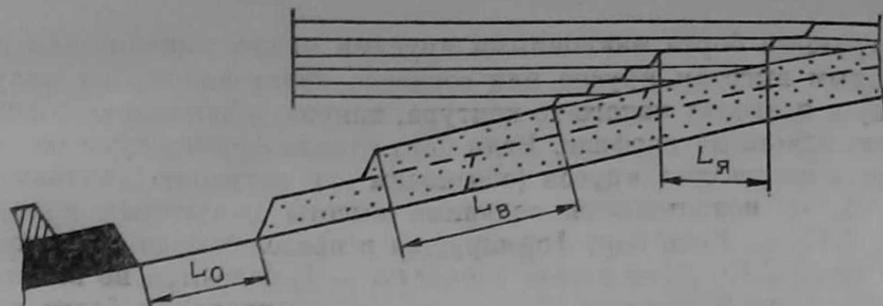


Рис. 2.16. «Отставания» отвалов: L_o — от добычной зоны; L_v — вторичных от первичных; L_y — яруса от яруса.

60 м, а в зоне горизонтальных — 70 м. Соответственно по зонам приняты углы откоса ярусов 30 и 25°. Отвал сооружается на прочном основании ($r = 1$).

Описанная информация позволяет построить конструкцию борта отвала со сплошным заполнением выработанного пространства. Однако в динамике развития борта отвала в его конструкции могут появиться некоторые дополнительные элементы, характеризующие расположение отвала относительно забойной зоны, а также изменение взаимного расположения его частей. Это объясняется тем, что формирование отвалов может отставать (в плоскости профиля) от добычной зоны (L_o), так же может предусматриваться отставание развития вторичных отвалов от первичных (L_v). Кроме того, развитие отдельных ярусов по конструктивным причинам может начинаться за пределами рабочей площадки (L_y), т. е. с отставанием (рис. 2.16). Такие элементы в конструкции рабочего борта не являются стабильными для всей площади отвала. Они приурочиваются к некоторым его участкам, что, как правило, связано с устройством транспортных заездов на отвалы, с параметрами применяемого отвального оборудования, с технологией отсыпки отвалов.

В этой связи необходима дополнительная информация, в качестве которой можно использовать вышеуказанные расстояния, характеризующие отставание отдельных частей отвала, при условии, что созданы возможности пространственного отображения элементов конструкции. Осуществляется это путем регистрации значений отставания частей отвала по всему полю с фиксацией по линиям УГП. Данные записываются согласно форме, представленной в табл. 2.15.

Таблица 2.15

№ яруса	Отставания в зоне первичных отвалов					Отставания в зоне вторичных отвалов					
	L_o	№ яруса	L_y	№ яруса	L_y	L_v	№ яруса	L_y	№ яруса	L_y	№ яруса
5	200	—	—	—	—	300	10	120	42	130	—
6	260	—	—	—	—	320	10	130	42	130	—

Глава 3

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Решение геометрических задач графическими методами достаточно просто и наглядно, но современные ЭВМ не приспособлены для их непосредственного использования. Существует два пути решения графических задач на ЭВМ: аналитический и численный. Аналитические методы предполагают наличие аналитических уравнений геометрических образов. Применительно к нашим методам информация о геометрических образах формируется дискретно, в виде систем матриц, компонентами которых являются координаты точек. Формирование аналитических уравнений, описывающих геометрические образы, затруднительно, да в этом и нет особой необходимости, так как задачи сравнительно легко решаются численными методами на дискретных полях данных. При этом выделяется ряд элементарных процедур (пересечение, определение взаимного положения, определение расстояний и т. д.), которые выполняются над геометрическими объектами. Поскольку элементарные процедуры повторяются многократно в задачах, их целесообразно выделить в самостоятельные процедуры или подпрограммы.

§ 3.1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ С ЛИНИЯМИ

3.1.1. Вычисление координат точки пересечения двух прямых

Для плоских прямых $F(x, y)$ и $L(x, y)$, каждая из которых может быть задана координатами точек или координатами точки и угловым коэффициентом

- I. $F(x, y) = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}; L(x, y) = \{(x_3, y_3), (x_4, y_4)\},$
- II. $F(x, y) = \{(x_1, y_1), k_1\}; L(x, y) = \{(x_3, y_3), k_2\},$

найти точку пересечения (x_p, y_p) .

С целью получения общего решения, если $F(x, y)$ или $L(x, y)$ заданы в форме (I), приведем их к форме (II) и запишем их уравнения в виде

$$\begin{aligned}y &= k_1x + c_1; \quad c_1 = y_1 - k_1x_1; \\y &= k_2x + c_2; \quad c_2 = y_3 - k_2x_3.\end{aligned}$$

Решая совместно эти уравнения, получим выражения для координат точки пересечения прямых:

$$x_p = \frac{c_2 - c_1}{k_1 - k_2}; \quad y_p = k_1 x_p + c_1. \quad (3.1.1)$$

При разработке алгоритма учитываются следующие особые случаи. Если $F(x, y)$ или $L(x, y)$ параллельны оси OY , т. е. $k_1 = \infty$ или $k_2 = \infty$, то точка пересечения рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned} x_p &= x_1, & \text{или } x_p &= x_3; \\ y_p &= k_2 x_p + c_2 & y_p &= k_1 x_p + c_1. \end{aligned} \quad (3.1.2)$$

В случае параллельности прямых $L(x, y)$ и $F(x, y)$, когда $k_1 = k_2$, точка пересечения отсутствует.

Алгоритм реализуется подпрограммой PERPR.

Часто операции выполняются на прямых с заведомо известными условиями их определения. Например, одна из них определена координатами на концах отрезка $(y_1, x_1; y_2, x_2)$, другая — координатами точки (y_3, x_3) и направлением, заданным под углом α , отсчитываемым против часовой стрелки.

Алгоритм операции поиска точки пересечения слагается из двух частей. Вначале определяется вообще наличие пересечений путем сравнения угловых коэффициентов. При их численном равенстве пересечение отсутствует, и тогда признаком данной ситуации является условно присвоенное значение искомой величины. Если пересечение имеется, решается система уравнений относительно x и y :

$$\begin{aligned} x &= x_1 + \frac{(y - y_1)(x_2 - x_1)}{y_2 - y_1}; \\ y &= y_3 + \operatorname{tg}(\alpha) \cdot (x - x_3). \end{aligned}$$

Алгоритм реализуется подпрограммой PERES.

3.1.2. Вычисление координат точки пересечения окружности с кривой

Эта операция возникает при определении координат точек, ограничивающих заходки по полезному ископаемому, рабочие и транспортные площадки, различного рода опережения и отставания горных работ и т. д.

В данной операции известны произвольная кривая, заданная табличным способом ($p = f(y)$), координаты точки (O) на кривой (x, y) , из которой надо провести окружность радиусом R . Необходимо определить координаты точек пересечения окружности с кривой. При этом обязателен учет направления радиуса-вектора окружности. Геометрический смысл операции ясен из рис. 3.1. Алгоритм решения слагается из двух шагов:

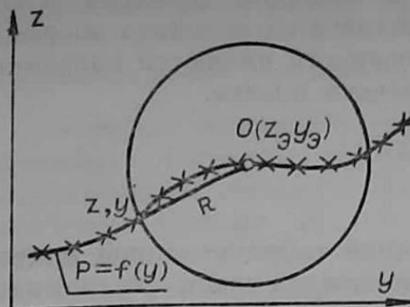


Рис. 3.1. Схема к вычислению точки пересечения кривой с окружностью.

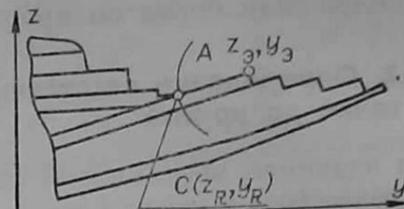


Рис. 3.2. Схема, поясняющая технологическую сущность процедуры пересечения кривой с окружностью.

— определение полуплоскости окружности, в которой расположен отрезок кривой (в направлении радиус-вектора к началу координат);

— отыскание корня функции методом половинного деления.

Определение области полуокружности, в которой лежит отрезок кривой, выполняется на основе анализа разности

$$c = z_3 - z_R,$$

где z_3 — ордината центра окружности; z_R — ордината кривой в точке $y = y_3 - R$.

Если значение $c > 0$, то кривая лежит в нижней полуплоскости, при $c < 0$ в верхней. В зависимости от знака при c некоторая величина k получает значение

$$k = \begin{cases} +1, & \text{если } c > 0, \\ -1, & \text{если } c < 0. \end{cases}$$

Тогда корень функции отыскивается на отрезке методом половинного деления до выполнения условия

$$|z_3 + k\sqrt{R^2 - (y_3 - y_i)^2} - z_i| \leq \varepsilon,$$

где y_i — текущее значение абсциссы на середине отрезка; z_i — ордината кривой, вычисленная методом интерполяции при значении аргумента y_i ; ε — допустимая погрешность вычислений (абсолютное значение $\varepsilon \approx 0,1$); k — коэффициент, принимающий значения $+1$ или -1 .

Алгоритм оформлен подпрограммой RAD.

Технологический смысл данной операции поясним следующим примером (рис. 3.2.). Пусть положение рабочего борта в верхней зоне между пластами определяется координатами z_3, y_3 . Тогда для нормального развития работ над верхним пластом необходимо создать некоторое опережение (A) горных работ, т. е. определить положение борта над верхним пластом. Для выполнения данного условия необходимо найти координаты положения траншейных работ над верхним пластом.

Геометрически это выполняется с помощью операции RAD. В качестве радиуса окружности используется величина опережения (A) горных работ. Центром окружности являются координаты положения борта по кровле верхнего пласта.

3.1.3. Определение расстояния от точки до кривой

Для заданной незамкнутой однозначной табулированной кривой $L(x, y) = \{(x_i, y_i); i = 1, \dots, N\}$ и некоторой точки (x_a, y_a) найти кратчайшее расстояние d от точки до кривой.

Известно, что кратчайшее расстояние от точки до кривой — это расстояние по нормали. Поскольку нами задана табулированная кривая, аналитическое выражение которой неизвестно, представим кривую $L(x, y) = \{L_i(x, y); i = 2, \dots, N\}$ в виде отрезков прямых $L_i(x, y)$, проходящих через точки (x_{i-1}, y_{i-1}) , (x_i, y_i) . Из всех L_i выберем отрезок, точка пересечения которого с перпендикуляром, восстановленным из (x_a, y_a) к прямой L_i принадлежит $[(x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i)]$. Тогда под расстоянием от точки до кривой будем понимать расстояние от этой точки до L_i .

Точка пересечения L_i с перпендикуляром, опущенным из (x_a, y_a) , определяется по формулам:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{k_i}{1+k_i^2} \left(y_{i-1} - y_a - k_i x_{i-1} - \frac{1}{k_i} x_a \right); \\ \bar{y} &= k_i \bar{x} + y_{i-1} - k_i x_{i-1}.\end{aligned}$$

Если $(\bar{x}, \bar{y}) \in [(x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i)]$, то расстояние d от точки до кривой определим по формулам

$$d = \mu_i (y_a - k_i x_a - y_{i-1} + k_i x_{i-1}),$$

где $\mu_i = \frac{\text{sign}(y_{i-1} - k_i x_{i-1})}{\sqrt{1+k_i^2}}$.

Алгоритм этой задачи представлен подпрограммой RASST.

3.1.4. Определение расстояния между двумя точками, принадлежащими разным прямым

Необходимость в операции возникает при вычислении длин фронта на уступах и различного рода вспомогательных процедурах. Известными являются координаты точек на прямых, причем прямые могут быть параллельными или пересекающимися (рис. 3.3). В первом случае известно расстояние между ними, во втором — угол, под которым они пересекаются.

При выполнении операции полагаем, что в случае пересекающихся прямых известны полярные координаты точек, между которыми необходимо определить расстояние. Если же прямые параллельны, известными являются линейные координаты.

Рис. 3.3. Схема к определению расстояния между двумя точками, принадлежащими разным прямым.

Алгоритм операции при указанных условиях слагается из проверки взаимного расположения прямых ($a > 1$ — прямые параллельны, $a < 1$ — прямые пересекаются). В зависимости от значения a вычисляются расстояния между точками по выражению

$$d = \begin{cases} \sqrt{\omega^2 + (y_1 + y_2)^2}, & \text{если } a > 1, \\ \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2 \cdot \cos(\omega)}, & \text{если } a < 1, \end{cases}$$

где ω — расстояние между параллельными линиями (при $a > 1$) или угол между пересекающимися прямыми (при $a < 1$); y_1, y_2 — линейные координаты точек в декартовой системе; ρ_1, ρ_2 — координаты точек в полярной системе.

Ввиду частого использования операции она оформлена подпрограммой DLIN.

3.1.5. Пересечение кривой с вертикалью

При решении данной задачи полагаем, что кривая (например, линия кровли пласта) задана в узловых точках с произвольным (неравномерным) шагом. Это означает, что заданы массив значений, упорядоченный по возрастанию аргумента, и соответствующий ему массив значений функции.

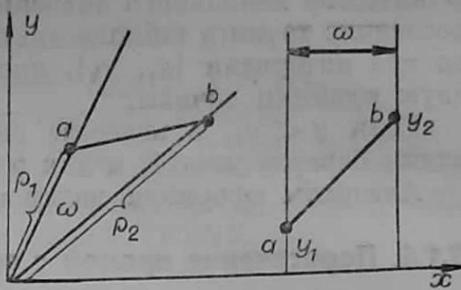
Кривая в произвольной точке пересекается вертикальной прямой линией, при этом известно значение аргумента точки, через которую проходит вертикаль (y). В связи с тем, что кривая пересекается вертикальной линией, значения аргументов точки пересечения с кривой и точки, через которую проходит вертикаль, совпадают. Следовательно, одна из координат известна и равна заданной (y). Требуется определить значение функции по заданному аргументу, т. е. задача сводится к решению какой-либо интерполяционной схемы. При выборе интерполяционной схемы полагаем, что функция на каждом отрезке $[y_i, y_{i+1}]$ линейна.

Для интерполяирования выбираем формулу Ньютона

$$f(y) = f(y_i) + f(y_i, y_{i+1})(y - y_i),$$

где $f(y_i, y_{i+1}) = (f(y_i) - f(y_{i+1}))/(y_i - y_{i+1})$.

В качестве необходимого индекса берется такой, чтобы выполнялось условие $y_i < y < y_{i+1}$. Интервал $[y_i, y_{i+1}]$, удовлетворяющий заданному условию, находится путем последовательного перебора промежутков номеров k и i таких, что $y_k < y < y_i$, до тех пор, пока разность $i - k$ не станет равной единице.



в качестве начального значения номеров выбираются первая и последние точки в таблице аргументов. Если значение y находится вне интервала $[y_1, y_k]$, производится экстраполирование по двум крайним точкам.

Если $y < y_1$, в качестве определяющего узла интерполяции берется узел 1, а для $y > y_k$ берется узел $k - 1$.

Алгоритм оформлен подпрограммой PER1.

3.1.6. Пересечение прямой с произвольной кривой

Для незамкнутой однозначной табулированной кривой $L(x, y) = \{(x_i, y_i), i = 1, \dots, N\}$ и прямой $F(x, y)$, заданной в виде $\{(\bar{x}_1, y_1), (\bar{x}_2, y_2)\}$ или $\{(\bar{x}_1, y_1), k_1\}$, определить точку пересечения (x_p, y_p) .

Представим кривую $L(x, y) = \{L_i(x, y), i = 2, \dots, N\}$ в виде множества отрезков прямых $L_i(x, y)$, проходящих через соседние точки $(x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i)$. Очевидно, точка пересечения (x_p, y_p) кривых $L(x, y)$ и $F(x, y)$ лежит на пересечении одного из отрезков и прямой $F(x, y)$. С целью определения этого отрезка методом половинного деления множества точек $i = 1, \dots, N$ кривой $L(x, y)$ найдем отрезок $L_i[(x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i)]$, для границных точек которого выполняется условие

$$(y_i - k_1 x_i - \bar{y}_1 + k_1 \bar{x}_1)(y_{i-1} - k_1 x_{i-1} - y_1 + k_1 \bar{x}_1) \leq 0.$$

Выполнение приведенного условия означает, что концы отрезка L_i лежат по разные стороны от прямой $F(x, y)$ и, следовательно, отрезок имеет точку пересечения с прямой, координаты которой можно определить по формулам (3.1.1), (3.1.2).

Алгоритм оформлен подпрограммой LUTSCH.

3.1.7. Пересечение кривых

Для незамкнутых однозначных табулированных кривых $L_1(x, y) = \{(x_i, y_i); i = 1, \dots, N_1\}$ и $L_2(x, y) = \{(x_j, y_j); j = 1, \dots, N_2\}$ определить точку пересечения (x_p, y_p) .

Представим кривые $L_1(x, y)$ и $L_2(x, y)$ в виде множества отрезков прямых, проходящих через смежные узлы кривых, сведем поставленную задачу к отысканию точки пересечения отрезков $L_{1,i}$ и $L_{2,j}$, т. е. к нахождению координат (x_p, y_p) по формулам (3.1.1), (3.1.2).

При решении задачи отыскания отрезков $L_{1,i}$ и $L_{2,j}$ используем тот факт, что если две точки a_1 и a_2 находятся по разные стороны от прямой \bar{c} , то расстояния от каждой из этих точек до прямой $R(a_1, \bar{c})$ и $R(a_2, \bar{c})$ будут противоположны по знаку, т. е.

$$R(a_1, \bar{c}) \cdot R(a_2, \bar{c}) \leq 0.$$

Для кривой $L_1(x, y)$ методом половинного деления найдем отрезок $L_{1,i}(x, y) = [(x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i)]$, для которого выполнено

няется условие

$$R((x_{i-1}, y_{i+1}), L_2(x, y)) \cdot R((x_i, y_i), L_2(x, y)) \leq 0.$$

Аналогично среди всех отрезков $L_{2,j}(x, j) = [(x_{j-1}, y_{j-1}), (x_j, y_j)]$ найдем отрезок, удовлетворяющий условию

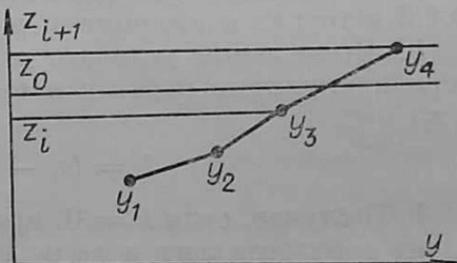
$$R((x_{i-1}, y_{j-1}), L_{1,i}(x, y)) \cdot R((x_j, y_j), L_{1,i}(x, y)) \leq 0.$$

Расчет (x_p, y_p) производится по формулам (3.1.1), (3.1.2). Алгоритм реализуется подпрограммой PERSK.

3.1.8. Пересечение горизонтальной прямой с произвольной кривой

Эта задача решается, например, при определении точек пересечения линий горизонтов (границ горизонтальных уступов) с кровлей или почвой пласта (рис. 3.4). При этом заданы координаты точек кривой в узлах с произвольным шагом (упорядоченная по возрастанию таблица аргументов и соответствующие значения функции).

Рис. 3.4. Схема к вычислению координат точки пересечения горизонтальной прямой с произвольной кривой.



Как и в предыдущей задаче, полагаем, что значение функции между узлами интерполяции изменяется линейно.

Для заданного значения функции (z_0) требуется определить значение аргумента. Полагаем, что функция монотонна, тогда алгоритм решения сводится к поиску интервала $[z_i, z_{i+1}]$, в котором заключено значение функции, после чего вычисляется координата точки пересечения

$$y_p = y_i + (z_0 - z_i)(y_{i+1} - y_i)/(z_{i+1} - z_i).$$

Операция выполняется подпрограммой GOR.

В программах операция GOR используется и при многих значениях функции, но в этом случае известна узкая область, на которой отыскивается решение. Поэтому все вычисленные значения аргумента проверяются на условие попадания его в заданную область.

3.1.9. Расстояние между кривыми

Это расстояние определяется, например, при замере нормальной мощности пласта в заданной точке. Известны кривая (например, кровля и почва пласта) в узлах и координаты точки, в которой необходимо измерить нормальную мощность пласта.

Алгоритм решения данной задачи приближенный — нормаль восстанавливается только к одной из разделительных линий, например либо к почве, либо к кровле пласта в заданной точке. Измеренная таким образом нормальная мощность может несколько отличаться от истинной, так как будет зависеть от относительного расположения линии кровли и почвы в точке замера. Совпадение возможно только при параллельном расположении линий кровли и почвы. Однако в связи с тем, что в нашем случае результат операции измерения нормальной мощности пласта используется лишь в логических операторах, предлагаемый ниже алгоритм удовлетворяет практическим целям.

Алгоритм операции слагается из следующих шагов.

1. Выделение окрестности y_0 , в которой измеряется расстояние

$$y_1 = y_0 - 1; \quad y_2 = y_0 + 1,$$

где y_0 — абсцисса точки, в которой измеряется мощность; y_1 , y_2 — абсциссы в окрестности точки y_0 .

2. Вычисление высотных отметок (z_1, z_2) с помощью операции 3.1.5 в точках с абсциссами y_1 , y_2 .

3. Вычисление углового коэффициента прямой, проходящей перпендикулярно отрезку в окрестности (т. е. через отметки z_1 и z_2)

$$k = (z_1 - z_2)/(y_2 - y_1).$$

4. В случае, если $k = 0$, прямая к заданной окрестности проходит горизонтально и вычисления сводятся к процедуре 3.1.5.

5. В противном случае ищется точка пересечения прямой с кривой методом половинного деления.

Алгоритм оформлен подпрограммой NORM.

3.1.10. Построение кривой, отстоящей на заданном расстоянии от исходной кривой

Построить кривую $L(x, y) = \{(\bar{x}_i, \bar{y}_i); i = 1, \dots, N\}$, параллельную заданной $F(x, y) = \{(x_i, y_i), i = 1, \dots, N\}$ и расположенную на расстоянии $\pm h$ от нее.

Представим $F(x, y)$ в виде множества отрезков $[(x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i)]$ прямых $\{F_i(x, y), i = 2, \dots, N\}$. Уравнение $F_i(x, y)$ запишем в виде

$$y = k_i x + c_i; \quad k_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}; \quad c_1 = y_{i-1} - k_i x_{i-1}.$$

Будем искать кривую $L(x, y)$ в виде $\{L_i(x, y), i = 2, \dots, N\}$. Из условия параллельности $F_i(x, y)$ и $L_i(x, y)$ уравнение последней имеет вид $y = k_i x + \bar{c}_i$. Определяя свободный член \bar{c}_i из условия $R(F_i(x, y), L_i(x, y)) = \pm h$, получим

$$\bar{c}_i = c_i + (\pm h)/\mu_i; \quad \mu_i = \text{sign}(c_i)/\sqrt{1 + k_i^2}.$$

Таким образом, уравнение для $L_i(x, y)$ примет вид

$$y = k_i x + c_i + (\pm h)/\mu_i.$$

Множество точек кривой $L(x, y)$ найдем как точки пересечения смежных прямых $L_i(x, y)$. Проделав ряд преобразований, получим выражения для (\bar{x}_i, \bar{y}_i) , $i = 2, \dots, N - 1$:

$$\begin{aligned} a &= \sum_{l=i}^{i+1} (-1)^{(l-i)} \operatorname{sign}(c_l) \sqrt{(x_l - x_{l-1})^2 + (y_l - y_{l-1})^2}; \\ b &= \sum_{l=i}^{i+1} (-1)^{(l-i)} (y_l - y_{l-1}) (x_{l+1-h} - x_{l-h}); \\ \bar{x}_i &= x_i + (\pm h)a/b; \quad \bar{y}_i = y_i - (\pm h)a/b; \\ k &= 2 \cdot E[l/(i+1)]. \end{aligned}$$

Для точек $i = N - 1$ приведенные рассуждения неверны, так как для их определения недостает предыдущего ($i = 1$) и последующего ($i = N - 1$) отрезков прямых $F_i(x, y)$. Определим их координаты как координаты точки, лежащей на перпендикуляре, восстановленном к прямой $F_i(x, y)$, $i = 2, N$, в точках (x_1, y_1) , (x_N, y_N) , и отстоящей от упомянутых точек на расстоянии $\pm h$. Выведем формулы для расчета (\bar{x}_1, \bar{y}_1) . Уравнение перпендикуляра к прямой $F_2(x, y)$ в точке (x_1, y_1) имеет вид

$$y = -\frac{1}{k_2^2} x + y_1 + \frac{1}{k_2} x_1.$$

Из условия местоположения точки (\bar{x}_1, \bar{y}_1) получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 - k_2 \bar{x}_1 - c_2 &= \frac{1}{\mu_2} (\pm h); \\ \bar{y}_1 + \frac{1}{k_2} \bar{x}_1 - y_1 - \frac{1}{k_2} x_1 &= 0. \end{aligned}$$

Решив эту систему, подставив вместо k_2 и μ_2 их выражения через координаты (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , после некоторых преобразований получим

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= x_1 - \operatorname{sign}(c_2) (\pm h) \frac{(y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}; \\ \bar{y}_1 &= y_1 + \operatorname{sign}(c_2) (\pm h) \frac{(x_2 - x_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}. \end{aligned}$$

Проделав аналогичные выкладки для $F_N(x, y)$ и x_N, y_N , получим выражения для определения (\bar{x}_N, \bar{y}_N) :

$$\bar{x}_N = x_N - \text{sign}(c_N)(\pm h) \frac{(y_N - y_{N-1})}{\sqrt{(x_N - x_{N-1})^2 + (y_N - y_{N-1})^2}};$$

$$\bar{y}_N = y_N + \text{sign}(c_N)(\pm h) \frac{(x_N - x_{N-1})}{\sqrt{(x_N - x_{N-1})^2 + (y_N - y_{N-1})^2}}.$$

Алгоритм операции выполняется подпрограммой PABL.

§ 3.2. ОПЕРАЦИИ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА ПЛОСКОСТИ

3.2.1. Определение угла встречи линии фронта

горных работ с линией профиля

В процессе моделирования развития горных работ необходимо, чтобы отстраиваемые на профилях элементы системы разработки сохраняли требуемые размеры. Так как существуют объективные факторы, ведущие к возникновению ошибок, необходимы соответствующие мероприятия, учитывающие их. Это выполняется оценкой геометрической ситуации в определенные моменты движения рабочей зоны и принятием соответствующих поправок в расчетных формах. Обратимся к рис. 3.5, из которого видно, что линии УГП могут пересекаться с линией фронта работ на уступах под некоторым углом, отличающимся от прямого. Практически невозможно выполнить УГП так, чтобы они повсеместно располагались по нормалям к линии фронта работ. Но наряду с этим необходимо достаточно точно отобразить в ЭВМ конфигурацию линии фронта в плане. Поскольку предложенный способ моделирования предполагает, что модель месторождения строится по отдельным профилям, о конфигурации линии фронта можно только судить по информации на УГП. Поэтому при отстройке на профиле контура рабочего борта необходимо учитывать тот факт, что размеры составляющих его элементов ($Ш_{p.p.}, b_{p.t.}$) должны претер-

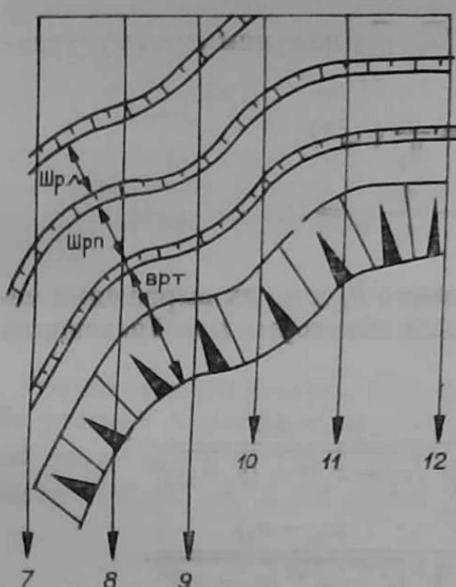


Рис. 3.5. Схема к обоснованию вычисления поправки для учета угла встречи линий фронта уступов с линиями УГП.

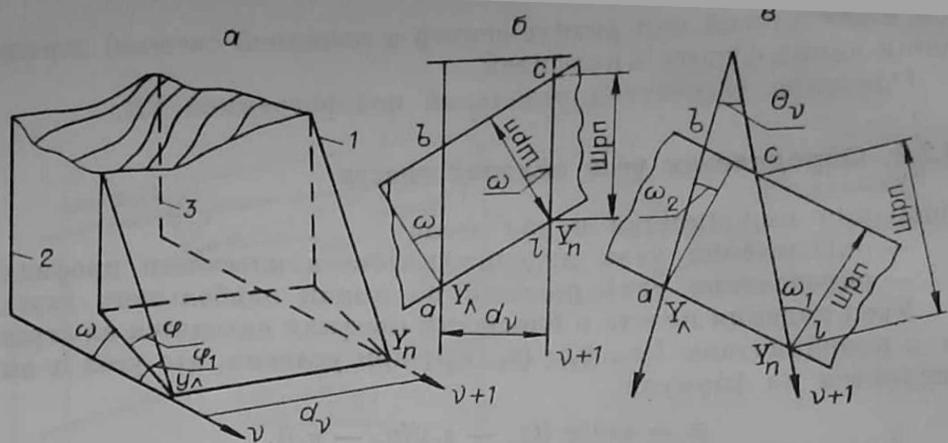


Рис. 3.6. Схемы к вычислению поправок для учета угла встречи.
 а — плоскости борта погашения с линиями УГП; б — линии фронта с параллельными линиями УГП; в — линии фронта с радиальными линиями УГП.

шевать некоторые изменения. Последние обусловлены отклонением угла встречи (ω) УГП и линии фронта от нормали (рис. 3.6, б, в).

При известном угле ω , очевидно, нетрудно внести изменения в конструктивные элементы борта на каждом УГП. Например, ширина рабочей площадки ($Ш_{p,п}$), отстраиваемой в плоскости УГП, изменится и станет равной

$$Ш'_{p,п} = Ш_{p,п} / \cos(\omega).$$

Величина $Ш'_{p,п}$ и будет использована для отстройки рабочего борта в плоскости УГП. Это означает, что конфигурация линии фронта, заключенная между двумя смежными УГП, пройдет через точки (al , bc), соответствующие действительному ее положению.

Подобного типа положение может возникнуть и при пересечении рабочего с бортом погашения (рис. 3.6, а). Во избежание ошибок здесь также надо учитывать поправку на перпендикулярность УГП плоскости борта погашения. Природа этой поправки аналогична описанной выше.

Алгоритм операции вычисления поправки предполагает, что известны положения линии фронта на смежных профилях, зафиксированные координатами y_l , y_n . Известен характер взаимного расположения профилей, и в зависимости от него известно расстояние (если профили параллельны) или угол между профилями.

Тогда искомая поправка, представляющая косинус угла встречи линии фронта работ с профилем, определится из выражений

$$\omega \begin{cases} d/s, & \text{если } d > 1, \\ \cos(1,57 - \arcsin(y_n \sin(d)/s)), & \text{если } d < 1, \end{cases}$$

где d — расстояние ($d > 1$) или угол между профилями ($d < 1$); s — проекция на горизонтальную плоскость отрезка длины фронта работ, заключенная между профилями, определяется с помощью операции 3.1.4 (отрезок al на рис. 3.6); y_n — координата (линей-

ная в декартовой или радиус-вектор в полярной системе) пересечения линии фронта с профилем.

Операция оформлена отдельной подпрограммой FE.

3.2.2. Определение угла падения пласта

Операция выполняется в два этапа:

- определение угла падения пласта в плоскости профиля;
- определение угла падения по линии наибольшего ската.

Угол падения пласта в плоскости профиля находится на отрезке с координатами $[(z_1, y_1); (z_2, y_2)]$ при условии, что угол α вычисляется по формуле

$$\alpha = \operatorname{arctg} ((z_2 - z_1)/(y_2 - y_1)).$$

Ввиду того, что вычисленный по данному выражению угол может существенно отличаться от угла падения, замеренного по линии наибольшего ската, необходимо вычислить поправочный коэффициент. Для этого используется информация по участку месторождения между двумя соседними линиями УГП. На обоих профилях определяются координаты (y_3, y_4) расположения точек с равными ординатами $z_y = (z_1 + z_2)/2$, что выполняется операцией 3.1.8.

При известных y_3 и y_4 используем операцию 3.2.1 для вычисления поправки (cs) . Тогда угол падения по линии наибольшего ската определится из выражения

$$\alpha_{\text{п}} = \operatorname{arctg} ((z_2 - z_1)/cs(y_2 - y_1)).$$

Алгоритм вычисления угла падения пласта оформлен программой УПР.

3.2.3. Вычисление площади элементарного контура

Под элементарным понимается контур, описывающий площадь уступа на профиле, отрабатываемую за этап. Границы контура описываются координатами точек в узлах их излома. Вся площадь рабочей зоны на профиле между двумя этапами формируется из элементарных контуров, которые строятся упорядоченно относительно какой-либо разделительной линии горизонтальными или наклонными уступами (рис. 3.7).

Выделяются верхние и нижние границы контуров. Так, верхний контур, например, третьего уступа (рис. 3.7, а) при наклонных площадках представляется координатами точек 5'—5—6—7, нижний — 5'—6'—7'—7. При горизонтальных площадках верхний контур, например, третьего уступа (рис. 3.7, б) представляется точками 5'—5—6—7, а нижний — 5'—6'—7'—7. Как видно, номера точек полностью совпадают на наклонных и горизонтальных уступах для уступов с одинаковыми номерами. Исключение представляет контур, описывающий разрезную траншею

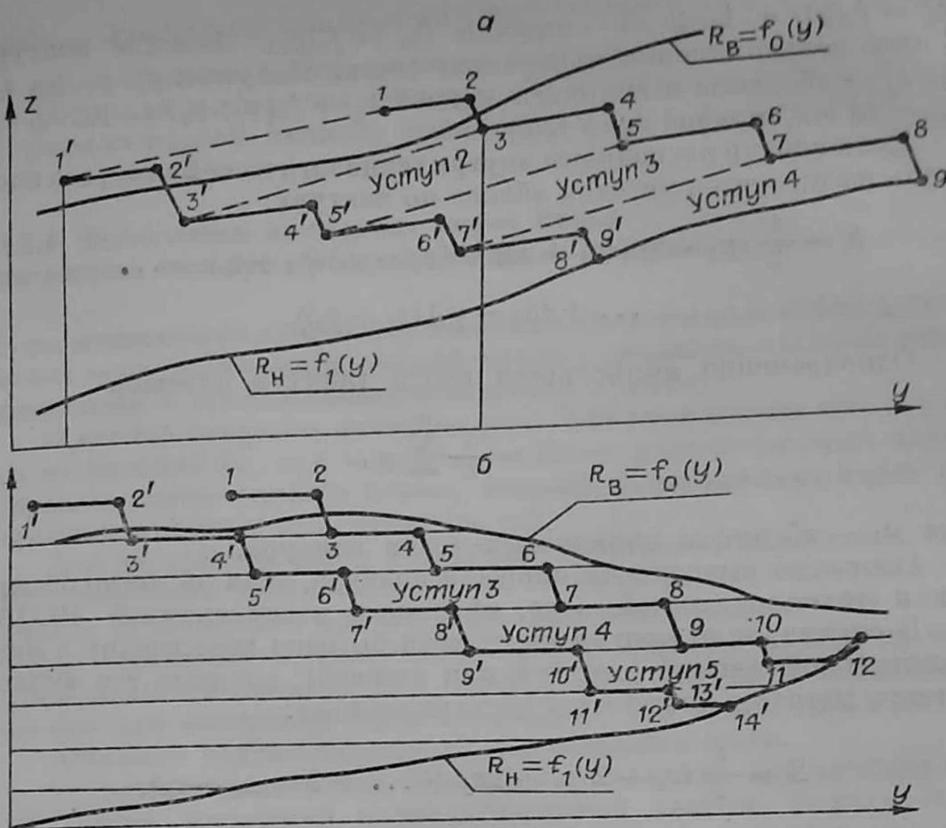


Рис. 3.7. Схемы к выделению элементарных контуров на профиле:
а — при системе разработки наклонными уступами; б — то же, горизонтальными.

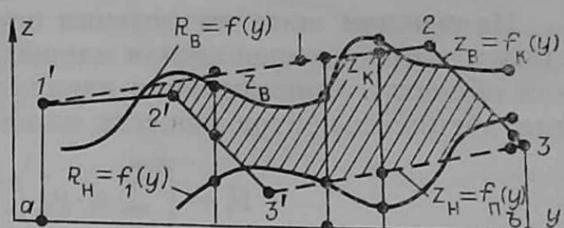
при горизонтальных уступах, который отсутствует при наклонных уступах.

Следовательно, имеется возможность выделить обобщенный элементарный контур для наклонных и горизонтальных уступов, ограниченный слева и справа ломаными линиями 1'—2'—3'—3 и 1'—1—2—3 (рис. 3.8). Элементарный контур может полностью располагаться в границах технологической зоны, например контуры уступов 3-го, 4, 5-го (рис. 3.7, а) или 3-го (рис. 3.7, б); выходить за пределы границ (уступ 1 на рис. 3.7, а) или пересекаться с разделительными линиями.

В общем случае в пределах контура могут проходить разделительные линии, например кровля ($R_b = f_0(y)$) и почва пласта ($R_h = f_1(y)$), рельеф поверхности и кровля пласта и т. д.

Выделим в контуре две ломаные кривые, проходящие через точки 1—2—3—верхняя граница контура

Рис. 3.8. Обобщенный элементарный контур.



$(z_b = f_{\Pi}(y))$ и $1-2-3$ — нижняя $(z_n = f_{\Pi}(y))$. Замкнем контур. С этой целью изменим нумерацию точек. Получим: $y_1, y_2, y_3, z_1, z_2, z_3$ — абсциссы и апликаты кривой $z_n = f_{\Pi}(y)$; $y_4, y_5, y_6; z_4, z_5, z_6$ — то же, кривой $z_b = f_b(y)$.

Если контур расположен внутри технологической зоны, его площадь вычисляется методом обхода по контуру:

$$S = \frac{1}{2} (y_1 - y_2)(z_1 + z_2) + (y_2 - y_3)(z_2 + z_3) + \dots + (y_6 - y_1)(z_6 + z_1).$$

Одновременно вычисляется центр тяжести площади

$$\Pi = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 y_i,$$

где y_i — абсциссы порядковых точек контура.

Операция вычисления площади контура, если он располагается в технологической зоне, оформлена подпрограммой PLOB.

В случае, если контур имеет хотя бы одно пересечение с разделительной линией (верхней или нижней), площадь его вычисляется методом численного интегрирования:

$$S = \frac{h}{2} (z_0 + 2 \cdot z_1 + 2 \cdot z_2 + \dots + 2 \cdot z_{n-1} + z_n),$$

где h — шаг интегрирования (применительно к рис. 3.8 $h = \frac{b-d}{n}$).

Значение каждого i -го элемента на каждом шаге интегрирования вычисляется операцией 3.1.5. По аргументу, вычисляемому на каждом i -ом шаге интегрирования $y_i = a + h \cdot i$, определяется значение $z_{\text{в}}^{\text{н}}, z_{\text{н}}^{\text{н}}$ — апликаты верхней и нижней контурных линий, $z_{\text{в}}, z_{\text{н}}$ — апликаты верхней и нижней разделительных линий (см. рис. 3.8). При известных значениях апликат в узлах интегрирования каждая составляющая суммы (s_i) определяется исходя из условия

$$s_i = \begin{cases} z_{\text{в}}^{\text{н}} - z_{\text{н}}^{\text{н}}, & \text{если } (z_{\text{в}} > z_{\text{н}}^{\text{н}}) \wedge (z_{\text{н}}^{\text{н}} > z_{\text{н}}); \\ z_{\text{в}} - z_{\text{н}}^{\text{н}}, & \text{если } (z_{\text{в}} < z_{\text{н}}^{\text{н}}) \wedge (z_{\text{н}}^{\text{н}} > z_{\text{н}}); \\ z_{\text{в}} - z_{\text{н}}, & \text{если } (z_{\text{в}} < z_{\text{н}}^{\text{н}}) \wedge (z_{\text{н}}^{\text{н}} < z_{\text{н}}); \\ 0, & \text{если } (z_{\text{н}}^{\text{н}} > z_{\text{в}}) \vee (z_{\text{н}}^{\text{н}} < z_{\text{н}}). \end{cases}$$

На каждом шаге вычисления определяется накапливающаяся сумма, в итоге выражаяющая площадь (см. рис. 3.8, заштрихованная область). Одновременно накапливаются данные для вычисления абсциссы центра тяжести площади

$$\Pi = \left(\sum_{i=1}^n s_i \cdot y'_i \right) \Big/ \left(\sum_{i=1}^n s_i \right),$$

где s_i — площадь на i -ом шаге интегрирования; $y_i' = a + \frac{1}{2}(y_{i-1} + y_i)$ — абсцисса центра тяжести площадки s_i .

Операция вычисления площади для контура, пересекающегося с разделительной линией, выполнена подпрограммой PLO.

3.2.4. Вычисление координат линии борта погашения карьера с разделительными линиями

В геометрическом смысле эта операция представляет собой вычисление точек пересечения прямой линии с заданным угловым коэффициентом с произвольным семейством кривых.

В данной операции известны (рис. 3.9) координаты дна разреза на профиле (z_d , y_d); координаты точек разделительных линий (кровли, почвы каждого пласта, рельеф); углы наклона борта погашения в свите и над свитой (φ , φ_1).

Для построения борта погашения необходимо определить точки пересечения линии откоса борта со всеми разделительными линиями. В алгоритме предлагается циклическое решение. В одном цикле определяется пересечение с одной кривой, вследствие чего представляется возможность использовать алгоритм многократно как для отстройки борта погашения, так и для иных целей.

Алгоритм подразделяется на два основных шага.

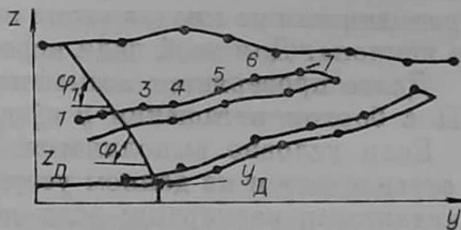
1. Поиск определенной области, где возможно пересечение линии борта погашения с разделительной линией. В результате поиска появляются координаты точек отрезка кривой в узловых точках. Например, для кровли верхнего пласта это будут координаты точек 2 и 3 (рис. 3.9). Поиск производится путем последовательного перебора координат точек в массивах, представляющих кривые линии, и заканчивается при выполнении условия

$$z_d + (y_d - p_{i+N}) \operatorname{tg}(-\varphi) - p_i < 0,$$

где φ — угол наклона борта погашения; p — имя массива, где записаны координаты точек кривой, с которой определяется пересечение. При выполнении условия фиксируется значение индекса i .

2. Вычисление координат точек пересечения, для чего используется операция 3.1.1. Ввиду того, что борт погашения может располагаться неперпендикулярно линии УГП, необходимо вы-

Рис. 3.9. Схема к вычислению координат линии борта погашения с разделительными линиями.



числить поправку на угол встречи и выполнить корректировку ранее вычисленных координат с помощью операции 3.2.1.

Алгоритм построения борта погашения оформлен отдельно подпрограммой BORT.

3.2.5. Вычисление координат ломаного контура нерабочего борта

Под нерабочим в данном случае понимается борт, элементы которого по каким-то причинам отличаются от элементов борта, находящегося в работе. В частном случае это может быть борт погашения горных работ или борт, находящийся в стадии временной консервации. В любом случае такой борт характеризуется заданным средним значением угла наклона и координатами привязки его в пространстве на каждом УГП. В момент достижения рабочим бортом линии нерабочего борта дальнейшее продвижение работ на уступах прекращается.

В процессе отстройки рабочего борта постоянно осуществляется контроль за возможностью выхода рабочей площадки за пределы борта погашения. В случае достижения такого положения на любом уступе по высоте рабочей зоны определяются координаты уступа в погашенном состоянии.

При системе разработки горизонтальными слоями координаты борта вычисляются по выражению

$$y_{i,j} = \frac{1}{s} \left(y_d - \left(\frac{z_{i-1} - z_i}{2} - z_d \right) \operatorname{ctg}(\varphi) \right);$$

$$z_{i,j} = z_i,$$

где y_d , z_d — координаты пересечения линии борта погашения с нижней разделительной линией технологической зоны, в пределах которой отстраивается борт погашения; $z_{i,j}$, $y_{i,j}$ — искомые координаты для i -го горизонта на j -ом этапе; φ — угол наклона борта погашения; s — поправка на неперпендикулярность плоскости борта погашения к плоскости УГП, в которой отстраивается борт (см. операцию 3.2.1).

При системах разработки наклонными уступами для каждого положения рабочей площадки (РП) в плоскости УГП определяются координаты точек пересечения нерабочего борта с линиями, проходящими на продолжении линии РП под определенным углом ее наклона. Для этой цели используется операция 3.1.1.

Далее проверяется возможность пересечения непосредственно РП с бортом погашения $y \leq y_1$.

Если условие выполняется, следовательно, пересечения нет, и отстраивается на данном уступе нормальная рабочая площадка с заданными размерами; если нет — площадка гасится, и коор-

динаты ее вычисляются следующим образом:

$$y_{i,j} = y - \frac{h \cdot \sin(\varphi)}{\cos(\alpha)}; z_{i,j} = z + \frac{h \cdot \sin(\varphi)}{\cos(\alpha)}.$$

Алгоритм построения нерабочего борта при системе с наклонными уступами оформлен подпрограммой KLN8.

§ 3.3. ОПЕРАЦИИ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В ПРОСТРАНСТВЕ

3.3.1. Переход от плоскостно-координатной модели месторождения к пространственно-координатной

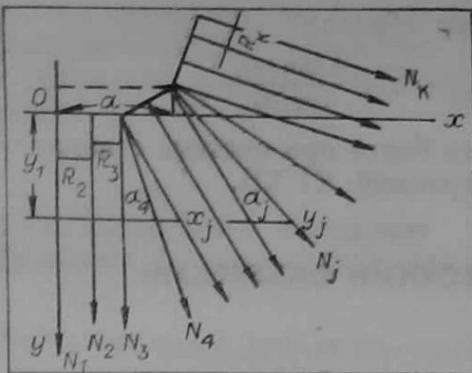
В модели месторождения информация о поведении разграничивавших поверхности задается координатами характерных точек в плоскости профиля. При этом для каждой точки фиксируются только две координаты y и z , что существенно сокращает количество вводимой информации. В плоскости профиля определена декартова прямоугольная система координат YOZ , у которой координатная ось OZ направлена по вертикали, а ось OY — по горизонтали в сторону, противоположную перемещению фронта работ добычной зоны разреза. В силу пространственного характера рассматриваемого объекта точки поверхности имеют третью координату, но в модели она задана неявно, в виде одной величины (угла или расстояния между профилями). Такое задание входной информации, удобное с точки зрения компактности модели, не позволяет воспользоваться разработанным аппаратом аналитической геометрии для моделирования в пространстве. Необходимо определить пространственную систему координат таким образом, чтобы, сохранив все преимущества системы профилей, иметь возможность для любой точки, заданной на произвольном профиле, установить взаимно однозначное соответствие между ее плоскими (\bar{y}, \bar{z}) и пространственными (x, y, z) координатами.

Множество \mathcal{P} профилей математической модели месторождения состоит из n элементов, пронумерованных от меньшего n номера к большему k сплошной нумерацией слева направо или справа налево. В первом случае элементу $p_n \in \mathcal{P}$ присваивается признак «левый», а во втором — «правый». Для каждого элемента $p_j \in \mathcal{P}$ известно его расстояние R_j (если профили p_j и p_{j-1} параллельны) или угол α_j (если p_j и p_{j-1} радиальны).

Поместим множество \mathcal{P} в пространственную прямоугольную систему координат, основные векторы которой проходят через начало координат плоской системы профиля p_n и два из них — OY и OZ — совпадают с соответствующими векторами плоской системы. Вектор OX возьмем перпендикулярным YOZ и направленным в сторону увеличения номеров профилей.

Установим взаимно однозначное соответствие между плоскими (\bar{y}, \bar{z}) и пространственными (x, y, z) координатами точки $\mathcal{A} \in p_j$.

Рис. 3.10. Схема расположения УГП.



Из определения основного вектора OZ пространственной и всех плоских систем множества \mathcal{P} следует, что координата z инвариантна относительно преобразования любой из плоских систем в определенную выше пространственную. Таким образом, задача сводится к установлению взаимно однозначного соответствия между линейной \bar{y} и плоскими x, y (в плоскости $z = c$) координатами точки \mathcal{A} .

Система проекций элементов множества \mathcal{P} на плоскость $z = c$ в общем виде представлена на рис. 3.10. Номера профилей изменяются от n до k .

Относительно профиля p_j построим прямоугольную координатную систему $Y'OX'$ и обозначим координаты точки \mathcal{A} в новой системе через x', y' . Установим связь между координатами (x, y) точки \mathcal{A} в системе YOX и ее координатами (x', y') в системе $Y'OX'$. Поскольку любая новая координатная прямоугольная система может быть получена из старой переносом и поворотом координатных осей, искомая связь может быть выражена с помощью формул

$$x = a + x' \cos \varphi + y' \sin \varphi,$$

$$y = b - x' \sin \varphi + y' \cos \varphi,$$

где a, b — координаты начала координат системы $X'OX'$ относительно XOY ; φ — угол поворота системы.

Связь линейной координаты \bar{y} точки \mathcal{A} с ее плоскими координатами в системе $X'OX'$ выражается формулами

$$x' = 0; \quad y' = \bar{y}.$$

Определив величины a, b, φ как функции известных параметров R_i и α_i ($i = n, \dots, j$), установим связь между x, y и \bar{y} . Угол φ представляет собой сумму всех углов α_i , на которые поворачивались профили от n до j :

$$\varphi = \sum_{i=n}^j \alpha_i.$$

Как видно из рис. 3.10, множество точек начал отсчета профилей образуют сложную кривую. Получим методом индукции, перемещаясь по кривой начал координат, формулы для определения

(a, b) — координат начала профиля j :

$$a = \sum_{i=n}^j R_i \cos \sum_{l=1}^i \alpha_l;$$

$$b = \sum_{i=n}^j R_i \sin \sum_{l=1}^i \alpha_l.$$

Учитывая приведенные выше формулы, взаимно однозначное соответствие между (x, y) и \bar{y} выразим следующим образом:

$$x = \bar{y} \cdot \sin \sum_{i=n}^j \alpha_i + \sum_{i=n}^j R_i \cdot \cos \sum_{l=1}^i \alpha_l;$$

$$y = \bar{y} \cdot \cos \sum_{i=n}^j \alpha_i - \sum_{i=n}^j R_i \cdot \sin \sum_{l=1}^i \alpha_l.$$

Аналогичным методом получим формулы обратного перехода, т. е. по известным (x, y) некоторой точки $\mathcal{A} \in p_j$ в левой декартовой системе координат ее линейная координата в системе профиля p_j определится как

$$\bar{y} = x \sin \sum_{i=n}^j \alpha_i + y \cos \sum_{i=n}^j \alpha_i + \sum_{i=n}^j R_i \sin \sum_{l=1}^i \alpha_l.$$

При этом должно выполняться условие $\bar{x} = 0$, где

$$\bar{x} = x \cos \sum_{i=n}^j \alpha_i - y \sin \sum_{i=n}^j \alpha_i - \sum_{i=n}^j R_i \cos \sum_{l=1}^i \alpha_l.$$

Невыполнение условия $\bar{x} = 0$ означает, что $\mathcal{A} \in p_j$ и величины (\bar{x}, \bar{y}) представляют собой координаты этой точки в пространственной системе, построенной относительно профиля p_j .

По полученным формулам устанавливают взаимно однозначное соответствие между координатами точек в пространственных системах, построенных на базе профилей p_n и p_j , и, как частный случай, между плоскими координатами точки $\mathcal{A} \in p_j$ и ее пространственными координатами в системе XOY , построенной на базе профиля p_n . Полученные соотношения позволяют задавать информацию об истинном положении границ отвала и карьера на флангах или другую информацию геометрического характера в пространственной системе координат, построенной на базе произвольного профиля $p_j \in \mathcal{P}$.

3.3.2. Уравнение плоскости профиля

Введенная выше пространственная система координат позволяет моделировать реальный объект, используя такие элементы пространственной геометрии, как

точка $(x, y, z)_t$

плоскость $Ax + By + Cz + D = 0$,

$$\text{прямая } \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} = \frac{z - z_0}{z_1 - z_0}.$$

Исходя из реальных геометрических форм объекта моделирования, каждый его элемент (рабочий борт в конечных или промежуточных положениях, торцевые борта, линии фронта работ, линии бровок ярусов), а также любой элемент математической модели месторождения (профиль, разграничитывающие поверхности геологических тел, контуры карьера) могут быть с достаточной точностью описаны с помощью элементов пространственной геометрии. Так, любой из профилей $p_j \in \mathcal{P}$ описывается уравнением плоскости. Определим коэффициенты этого уравнения.

Из условия $p_j \perp Xoy$ следует, что $C = 0$, уравнение профиля принимает вид $Ax + By + D = 0$. Его можно рассматривать как уравнение прямой в плоскости $z = 0$:

$$(x - x_1)(y_2 - y_1) = (y - y_1)(x_2 - x_1).$$

Положим $x_1 = a$, $y_1 = b$, $x_2 = x'$, $y_2 = y'$. Проделав некоторые преобразования, получим

$$\begin{aligned} \bar{y} \cdot \left[\left(x - \sum_{i=n}^j R_i \cos \sum_{l=1}^i \alpha_l \right) \cdot \cos \sum_{i=n}^j \alpha_i - \right. \\ \left. - \left(y + \sum_{i=n}^j R_i \sin \sum_{l=1}^i \alpha_l \right) \cdot \sin \sum_{i=n}^j \alpha_i \right] = 0. \end{aligned}$$

Полагаем, что $\bar{y} \neq 0$, следовательно, равно нулю выражение, заключенное в квадратных скобках. Отсюда получим выражения для коэффициентов плоскости профиля p_j :

$$\begin{aligned} A = \cos \sum_{i=n}^j \alpha_i; \quad B = \sin \sum_{i=n}^j \alpha_i; \quad C = 0; \\ D = - \left(\cos \sum_{i=n}^j \alpha_i \sum_{i=n}^j R_i \cos \sum_{l=n}^i \alpha_l + \right. \\ \left. + \sin \sum_{i=n}^j \alpha_i \sum_{i=n}^j R_i \sin \sum_{l=n}^i \alpha_l \right). \end{aligned}$$

3.3.3. Переход из одной плоскостной системы координат в другую

В 3.3.1 при определении пространственной системы координат на базе профиля p указывалось, что в качестве профиля p_n может быть взят любой профиль $p_j \in \mathcal{P}$. Необходимость построения координатной системы относительно произвольного профиля возникает в связи с тем, что информация о фланговых границах отвала или разреза может быть снята относительно любого (удобного пользователю) профиля. Для того чтобы иметь возможность

оперировать этой информацией, необходимо перевести ее в систему координат, общую для всего участка. Кроме того, при выдаче информации пользователю в удобном виде необходим перевод координат из общей координатной системы, используемой внутри модели, в координатную систему, созданную на базе профиля, заданного пользователем. Таким образом, возникает задача перевода координат точки $(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j)$, заданной в системе координат, построенной на базе профиля p_j (назовем систему J), в систему координат, построенную на базе профиля p_k (назовем ее K).

Формулы перехода из системы J в K и обратно получены путем рассуждений, аналогичных проведенным в 3.3.1. Ниже приводятся сами формулы. Переход из системы J в K осуществляется по формулам:

$$x_j = \bar{x}_j \cos \sum_{i=h}^j \alpha_i + \bar{y}_j \sin \sum_{i=h}^j \alpha_i + \sum_{i=h}^j R_i \cos \sum_{l=1}^i \alpha_l;$$

$$y_j = \bar{x}_j \sin \sum_{i=h}^j \alpha_i + \bar{y}_j \cos \sum_{i=h}^j \alpha_i - \sum_{i=h}^j R_i \sin \sum_{l=1}^i \alpha_l;$$

$$z_j = \bar{z}_j.$$

Формулы перехода из K в J :

$$\bar{x}_j = x_j \cos \sum_{i=j}^k \alpha_i + y_j \sin \sum_{i=j}^k \alpha_i + \sum_{i=j}^k R_i \sum_{l=j}^i \alpha_l;$$

$$\bar{y}_j = -x_j \sin \sum_{i=j}^k \alpha_i + y_j \cos \sum_{i=j}^k \alpha_i + \sum_{i=j}^k R_i \sum_{l=j}^i \alpha_l;$$

$$\bar{z}_j = z_j.$$

3.3.4. Расстояние от точки до плоскости

Для точки $P_1(x, y, z)$ и плоскости $Ax + By + Cz + D = 0$ определить их взаимное расположение относительно начала координат.

Известно, что если плоскость не проходит через начало координат и расстояние от точки до плоскости δ имеет тот же знак, что и D , то точки и начало координат лежат по одну сторону от плоскости. Этот факт используется при построении модели торца отвала. Расчет ориентированного расстояния δ от точки P_1 до плоскости осуществляется по формуле

$$\delta = \frac{Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D}{\operatorname{sign}(D) \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}.$$

3.3.5. Расчет координат точки пересечения прямой и плоскости

Пусть прямая $L(x, y, z)$ задана:

I — координатами двух точек $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$;

II — координатами точки (x_1, y_1, z_1) и направляющим вектором (l, m, n) .

Определить точку пересечения прямой и плоскости

$$Ax + By + Cz + D = 0.$$

Форма I — задания прямой L — может быть сведена к форме II по формулам

$$l = x_2 - x_1; \quad m = y_2 - y_1; \quad n = z_2 - z_1.$$

Уравнение прямой представим в параметрическом виде

$$x = x_1 + l \cdot t;$$

$$y = y_1 + m \cdot t;$$

$$z = z_1 + n \cdot t.$$

Решая совместно эти уравнения, получим выражение для параметра t

$$t = -\frac{Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D}{Al + Bm + Cn}.$$

Координаты точки пересечения прямой и плоскости определяются с учетом вычисленного параметра t . При разработке алгоритма расчета учитывается возможность $Al + Bm + Cn = 0$, т. е. случай параллельности прямой и плоскости.

3.3.6. Вычисление координат точки пересечения двух пространственных прямых

Для двух пространственных прямых $L_1(x, y, z)$ и $L_2(x, y, z)$, заданных

a) в виде общего уравнения прямой

$$\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases} (L_1),$$

$$\begin{cases} A_3x + B_3y + C_3z + D_3 = 0 \\ A_4x + B_4y + C_4z + D_4 = 0 \end{cases} (L_2),$$

б) координатами точки (x_i, y_i, z_i) и направляющим вектором (l_i, m_i, n_i) , $i = 1, 2$,

$$\begin{aligned} \frac{x - x_1}{l_1} &= \frac{y - y_1}{m_1} = \frac{z - z_1}{n_1} (L_1), \\ \frac{x - x_2}{l_2} &= \frac{y - y_2}{m_2} = \frac{z - z_2}{n_2} (L_2), \end{aligned} \quad (B)$$

найти точку пересечения (x_p, y_p, z_p) .

Поскольку уравнения прямых (а) можно привести к форме (б), используя формулы

$$l = B_1C_2 - B_2C_1,$$

$$m = C_1A_2 - C_2A_1,$$

$$n = A_1B_2 - A_2B_1,$$

определим точку пересечения для случая (б). Если для L_1 и L_2 выполняется условие

$$(x_1 - x) \begin{vmatrix} m_1 & n_1 \\ m_2 & n_2 \end{vmatrix} + (y_1 - y_2) \begin{vmatrix} n_1 & l_1 \\ n_2 & l_2 \end{vmatrix} + (z_1 - z_2) \begin{vmatrix} l_1 & m_1 \\ l_2 & m_2 \end{vmatrix} = 0,$$

то процесс вычисления координат точки их пересечения можно проводить в следующей последовательности.

1. Если $l_1 \neq 0$ и $l_2 \neq 0$, приведем уравнения (B) к виду

$$\begin{aligned} y &= k_1 \cdot x + a_1; & z &= h_1 x + b_1; \\ y &= k_2 \cdot x + a_2; & z &= h_2 x + b_2, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} k_1 &= m_1/l_1; & h_1 &= n_1/l_1; \\ k_2 &= m_2/l_2; & h_2 &= n_2/l_2; \\ a_1 &= y_1 - k_1 x_1; & b_1 &= z_1 - h_1 \cdot x_1; \\ a_2 &= y_2 - k_2 x_2; & b_2 &= z_2 - h_2 \cdot x_2; \end{aligned}$$

точку пересечения прямых L_1 и L_2 определим по формулам:

$$\begin{aligned} x_p &= \begin{cases} \frac{a_2 - a_1}{k_1 - k_2}, & \text{если } k_1 - k_2 \neq 0; \\ \frac{b_2 - b_1}{h_1 - h_2}, & \text{если } h_1 - h_2 \neq 0; \end{cases} \\ y_p &= \begin{cases} \frac{k_1 a_2 - k_2 a_1}{k_1 - k_2}, & \text{если } k_1 - k_2 \neq 0; \\ k_1 x_p + a_1, & \text{если } k_1 - k_2 = 0; \end{cases} \\ z_p &= \begin{cases} \frac{h_1 b_2 - h_2 b_1}{h_1 - h_2}, & \text{если } h_1 - h_2 \neq 0; \\ h_1 \cdot x_p + b_1, & \text{если } h_1 - h_2 = 0; \end{cases} \end{aligned}$$

2. Если $l_1 = 0$ или $l_2 = 0$, но $m_1 \neq 0$ и $m_2 \neq 0$, приводим уравнения B к виду

$$\begin{aligned} x &= k_1 y + a_1; & z &= h_1 y + b_1; \\ x &= k_2 y + a_2; & z &= h_2 y + b_2; \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} k_1 &= l_1/m_1; & h_1 &= n_1/m_1; \\ k_2 &= l_2/m_2; & h_2 &= n_2/m_2; \\ a_1 &= x_1 - k_1 y_1; & b_1 &= z_1 - h_1 y_1; \\ a_2 &= x_2 - k_2 y_2; & b_2 &= z_2 - h_2 y_2, \end{aligned}$$

и точку пересечения прямых определяем по формулам:

$$y_p = \begin{cases} \frac{a_2 - a_1}{k_1 - k_2}, & \text{если } k_1 - k_2 \neq 0; \\ \frac{b_2 - b_1}{h_1 - h_2}, & \text{если } h_1 - h_2 \neq 0; \end{cases}$$

$$x_p = \begin{cases} \frac{k_1 a_2 - k_2 a_1}{k_1 - k_2}, & \text{если } k_1 - k_2 \neq 0; \\ k_1 \cdot y_p + a_1, & \text{если } k_1 - k_2 = 0; \end{cases}$$

$$z_p = \begin{cases} \frac{h_1 b_2 - h_2 b_1}{h_1 - h_2}, & \text{если } h_1 - h_2 \neq 0; \\ h_1 y_p + b_1, & \text{если } h_1 - h_2 = 0. \end{cases}$$

3. Если $n_1 \neq 0$ и $n_2 \neq 0$, уравнения (B) приводим к виду

$$x = k_1 z + a_1; \quad y = h_1 z + b_1;$$

$$x = k_2 z + a_2; \quad y = h_2 z + b_2;$$

где $k_1 = l_1/n_1$; $h_1 = m_1/n_1$;

$$k_2 = l_2/n_2; \quad h_2 = m_2/n_2;$$

$$a_1 = x_1 - k_1 z_1; \quad b_1 = y_1 - h_1 z_1;$$

$$a_2 = x_2 - k_2 z_2; \quad b_2 = y_2 - h_2 z_2;$$

точку пересечения определяем по формулам:

$$z_p = \begin{cases} \frac{a_2 - a_1}{k_1 - k_2}, & \text{если } k_1 - k_2 \neq 0; \\ \frac{b_2 - b_1}{h_1 - h_2}, & \text{если } h_1 - h_2 \neq 0; \end{cases}$$

$$x_p = \begin{cases} \frac{k_1 a_2 - k_2 a_1}{k_1 - k_2}, & \text{если } k_1 - k_2 \neq 0; \\ k_1 z_p + a_1, & \text{если } k_1 - k_2 = 0; \end{cases}$$

$$y_p = \begin{cases} \frac{h_1 b_2 - h_2 b_1}{h_1 - h_2}, & \text{если } h_1 - h_2 \neq 0; \\ h_1 z_p + b_1, & \text{если } h_1 - h_2 = 0. \end{cases}$$

4. Если нет попарного равенства нулю коэффициентов (l_i, m_i, n_i) , $i = 1, 2$, но для какой-то из пар существует ситуация, когда один из коэффициентов не равен 0, расчет ведем по следующему алгоритму.

Пусть такой парой будет $l_1 = 0$ и $l_2 \neq 0$. Это означает, что прямая L_1 перпендикулярна оси OX . В этом случае $x_p = x_1$; $y_p = k_2 x_1 + a_2$; $z_p = h_2 x_1 + b_2$.

Аналогичные формулы можно получить для любой другой пары коэффициентов.

3.3.7. Вычисление координат проекции точки на произвольную плоскость

Спроектировать точку $P_1(x_1, y_1, z_1)$ на плоскость $Ax + By + Cz + D = 0$, значит опустить перпендикуляр из P_1 на плоскость и определить точку пересечения перпендикуляра с плоскостью.

Прямая, перпендикулярная плоскости, имеет коэффициенты направляющего вектора, равные коэффициентам плоскости. Таким образом, параметрическое уравнение перпендикуляра, опущенного из точки на плоскость, можно записать в виде $x = x_1 + A \cdot t$; $y = y_1 + B \cdot t$; $z = z_1 + C \cdot t$. Решая совместно уравнения прямой и плоскости, получим

$$t = -\frac{Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D}{A^2 + B^2 + C^2}.$$

Глава 4

МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В математическом обеспечении горно-геометрических расчетов по функциональной нагрузке рельефно выделяются два типа задач: информационные и горно-технические.

Функции информационных задач, с одной стороны, определяются методологией горно-геометрических расчетов, а с другой — структурой взаимосвязи потоков информации. Исходя из взаимосвязи потоков информации, циркулирующей в горно-геометрических расчетах, функции информационных задач заключаются в следующем:

- обработка входной информации;
- осуществление контроля воспринятого ЭВМ входного потока информации;
- проведение корректировки базовой информации (актуализация данных);
- формирование базы данных в памяти ЭВМ;
- формирование информации для различных технических задач.

В отличие от информационных задач горно-технические характеризуются сложной алгоритмической структурой. Они базируются на математической модели конкретного месторождения и аппарате горно-геометрического анализа. Их назначение — моделирование динамики развития технической системы во взаимосвязи с изменяющимися природными условиями и получение

пространственного распределения целого ряда количественных показателей. К последним относятся:

объемы угля отдельных горизонтов (слоев) по этапам отработки и на отдельных участках поля разреза;

пространственные координаты расположения отдельных объемов угля в карьере по пластам, горизонтам и этапам;

распределение качественных признаков угля по этапам, слоям и отдельным участкам;

объемы технологических потерь угля по этапам разработки;

объемы засорения от внешних и внутренних пород;

длины добычного фронта по отдельным пластам, уступам и этапам отработки;

объемы вскрыши по этапам, уступам, между пластьям и участкам поля карьера;

пространственные координаты расположения вскрышных объемов;

длины вскрышного фронта по уступам, этапам, участкам;

текущие коэффициенты вскрыши по этапам над каждым пластом и в целом по системе;

емкости внутренних отвалов по ярусам.

Перечисленные показатели используются для решения следующих задач:

- анализ режима горных работ;
- перспективное планирование;
- календарное планирование;
- обоснование производственной мощности;
- обоснование направления развития фронта работ;
- обоснование границ карьера как в плане, так и по глубине;
- обоснование интенсивности отработки карьера;
- раскройка месторождения на поля карьеров и т. д.

В результате анализа потоков информации (их формы и содержания), изучения возможностей ЭВМ и опыта решения больших информационных задач определился модульный принцип организации процесса решения горно-геометрических задач.

Задачи, решаемые на стадии горно-геометрических расчетов, выделяются в отдельные модули по функциональному назначению. В данной главе сосредоточено внимание на содержательной стороне задач, алгоритмах и методиках решения.

§ 4.1. ЗАДАЧА ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ВО ВСКРЫШНОЙ И ДОБЫЧНОЙ ЗОНАХ КАРЬЕРА. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА

В специальной литературе, посвященной использованию ЭВМ для решения горно-геометрических задач, очень часто роль таких расчетов сводится к вычислению объемов вскрыши и запасов полезного ископаемого по сортам и типам. В принципе это одна из целей горно-геометрических задач, но не самая главная. Нет особой

необходимости только для этой цели создавать столь сложный аппарат вычислений. Нецелесообразно методически и экономически. Главное назначение горно-геометрических расчетов мы видим в создании средств для проведения вычислительного эксперимента. При этом в качестве объекта для эксперимента используется модель месторождения, на которой и осуществляется с помощью ЭВМ вычислительный эксперимент. Предназначение его заключается в получении количественных оценок того или иного технического решения: по системам разработки и их параметрам, по направлениям развития горных работ, по границам карьера в плане и глубине и т. д. В результате появляется возможность оценить на первом шаге предложенные решения по некоторым критериям (коэффициент вскрыши, распределение объемов и длин и т. д.). Более детальная оценка, как правило, выполняется по экономическим и организационным критериям, но в любом случае она возможна на количественных показателях, получаемых в результате моделирования горных работ в динамике разработки карьера.

Следовательно, вычислительный эксперимент в горно-геометрических расчетах должен имитировать процесс отработки месторождения. Поскольку имитировать непрерывность процесса разработки весьма трудно, да и нет в этом необходимости при проектировании, будем имитировать динамику рядом последовательных статических положений — этапов. Под этапами будем понимать определенное положение горных работ в пространстве, отображенное на модели месторождения по техническим параметрам системы разработки. Результат перемещения горных работ по этапам оценивается количественно объемами вынимаемого полезного ископаемого и вскрыши.

Есть еще одно назначение горно-геометрических расчетов — получение информации для построения чертежей положений горных работ в элементах системы разработки и в плане.

Именно под углом зрения исследования горно-геометрических расчетов для целей проведения вычислительного эксперимента и получения информации для выполнения графической документации разрабатывалось методическое, алгоритмическое и программное обеспечение.

В общем виде постановка задачи с учетом сказанного сводится к следующему. Имеется модель месторождения, отображающая многообразие геометрических и качественных характеристик залегания пластов в недрах, заданная упорядоченными множествами точек:

а) по рельефу дневной поверхности на площади месторождения —

$$R = \{(x_i, y_i, z_i)\}, (x, y, z) \in D;$$

б) по разделительным поверхностям (почвы и кровли) каждого пласта —

$$K = \{(x_{nj}, y_{nj}, z_{nj})\}, (x, y, z) \in Q;$$

$$\Pi = \{(x_{mj}, y_{mj}, z_{mj}, \varphi(x_{mj}, y_{mj}))\}, (x, y, z) \in S$$

или по одной из разделительных поверхностей каждого пласта — $P = \{(x_{kj}, y_{kj}, z_{kj}, m_{kj}, \varphi(x_{mj}, y_{mj}))\}$, $(x, y, m, \varphi) \in W$, где D — область наблюдения точек по рельефу поверхности; Q, S, W — области наблюдения точек по разделительной поверхности каждого пласта; m_{kj} — нормальная мощность j -го пласта в k -й точке наблюдения; z — высотная отметка в точке наблюдения соответствующей разделительной поверхности; x, y — координаты точек наблюдения; $\varphi(x, y)$ — множество качественных признаков в точке наблюдения.

Требуется на ограниченном заданными областями участке месторождения выполнить моделирование процессов разработки открытым способом по заданным технологическим схемам. При этом известными являются

$$A = \{(a_1, a_2, a_3, \dots)\};$$

$$B = \{(x_{i,m}, y_{i,m}, z_{i,m})\},$$

где A — множество параметров технологических схем; B — множество координат точек положения горных работ по почве нижнего пласта в каждом этапе разработки карьера.

Множества A представляет семейство поверхностей рабочего борта, конфигурация которых определяется заданными параметрами $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, а нижнее основание проходит через семейство линий множества B . В геометрическом плане множество A представляется ступенчатыми поверхностями.

Требуется от каждой линии множества B построить поверхности A во взаимосвязи с заданными поверхностями R, K, P, R . Затем между каждым смежным положением вычислить объемы полезных ископаемых, вскрытых пород, длины фронта работ, коэффициенты вскрыши и т. д. Поскольку решение данной задачи в пространственной постановке весьма трудоемко, сведем ее к решению на вертикальных плоскостях (профилях). Для этой цели рассечем все месторождение семейством секущих плоскостей, ориентированных вкrest простирации месторождения и расположенных параллельно или радиально между собой, т. е. упорядоченное семейство профилей. В результате получим условные геологические профили (УГП), принцип построения которых показан в § 1.4. По каждому такому профилю имеется отображение информации, содержащейся во множествах R, K, P, R .

Тогда решение задачи в плоской постановке сводится к следующим шагам:

— формированию в ЭВМ множеств R, K, P, R и выделению из них подмножеств по плоскостям УГП;

— моделированию на каждом УГП процесса развития работ по заданным множествам параметров A, B , т. е. построению положений рабочих бортов по этапам отработки карьера с учетом пространственной ориентации УГП;

— вычислению множества параметров (объемы, длины и т. д.) между каждой парой соседних УГП.

Поскольку каждая плоскость УГП характеризует некоторую площадь месторождения по заданной глубине, ограниченную зоной влияния по простиранию, определенное количество таких зон будет характеризовать месторождение, а вернее карьер на нем, в целом.

По своей природе эта задача геометрическая и слагается из выполнения определенных информационно увязанных целенаправленных процедур. Каждая из них реализует тот или иной законченный процесс (построение рабочего борта на каждом профиле, вычисление площадей, объемов и т. д.), осуществляемый при традиционном проектировании графическим методом, а при использовании ЭВМ — численными. Суть их изложена в нижеследующих параграфах.

§ 4.2. МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА НА ПРОФИЛЕ. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ РАБОЧЕГО БОРТА

Информация о параметрах технологических схем позволяет имитировать в ЭВМ системы разработки: горизонтальными и наклонными уступами, а также с перевалкой вскрыши в выработанное пространство.

В процессе формирования рабочего борта могут иметь место одновременно три схемы или одна, две из них, т. е. борт рабочей зоны в целом создается различным сочетанием названных схем. При этом в каждой технологической зоне используется только одна схема.

Процесс перемещения элементов борта по этапам отработки создает имитацию динамики движения рабочей зоны карьера, моделирование которой в ЭВМ достигается вычислением пространственных координат элементов борта в каждом этапе.

Вычисление координат борта по этапам перемещения рабочей зоны. Рассмотрим решение задачи на примере одной технологической зоны, так как оно аналогично и для всей рабочей зоны карьера на профиле. Исходная информация для построения борта (рис. 4.1):

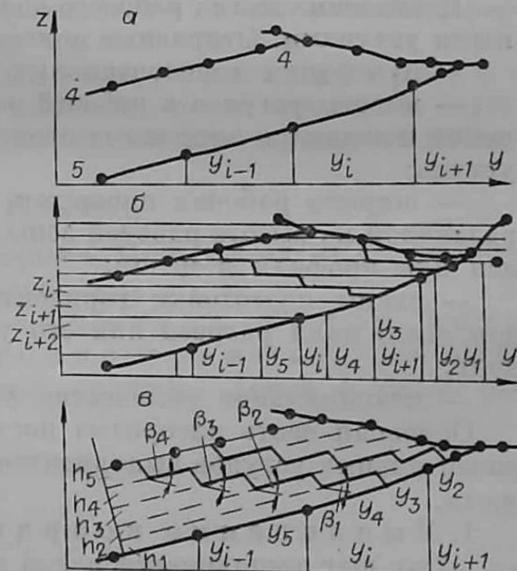


Рис. 4.1. К постановке задачи построения борта карьера по технологическим зонам:

а — контур технологической зоны; б — горизонтальные уступы в технологической зоне; в — наклонные уступы в технологической зоне.

координаты контура разделительных линий технологической зоны, в которой отстраивается рабочий борт ($y_i, z_i, i = 1, 2, 3\dots$);

— координаты положений основания ($y_j, z_j, j = 1, 2, 3\dots$) борта в технологической зоне;

— система разработки, для которой отстраивается борт;

— параметры системы разработки (высоты уступов и углы откосов, ширины рабочих площадок и допустимые углы их наклона).

Принцип формирования исходной информации, кроме координат положений основания борта, описан в § 2.2.

Координатами основания борта могут быть координаты этапов, получение которых описано в § 2.1, или координаты пересечения рабочего борта с верхней разделительной линией технологической зоны (применительно к рис. 4.1 точки пересечения борта с линией 4—4). Рассмотрим алгоритм вычисления этих координат.

Независимо от того, какими уступами формируется рабочий борт, конфигурация его представляется ломаной линией, координаты которой (z, y) определяются в узлах связи отрезков. В процессе отстройки борт пересекает какую-либо вышерасположенную разделительную линию. Например, такой линией для борта над самым верхним пластом будет линия рельефа; для борта, расположенного в междунасле, — почва вышерасположенного пласта; для борта, расположенного в угольном пласте, — кровля пласта.

В принципе рабочий борт может иметь несколько пересечений с одной и той же разделительной линией. Поэтому прежде определяется область, где возможно пересечение, и если таких областей несколько, выбирается наиболее приближенная к основанию борта. В ней устанавливается окрестность, где элемент линии борта (горизонтальная площадка или линия откоса уступа) будет иметь пересечение с разделительной линией. Непосредственно вычисление координат выполняет операция 3.1.1, описанная выше.

Построение линии рабочего борта при разработке горизонтальными уступами. Отправные положения:

— нумерация горизонтальных уступов ведется сверху вниз;

— высоты уступов в рабочей зоне могут иметь различные значения и задаются высотными отметками в кровле и почве каждого уступа;

— ширина рабочих площадок на каждом уступе может быть различной по высоте рабочей зоны, но закон ее изменения постоянен для профиля в целом;

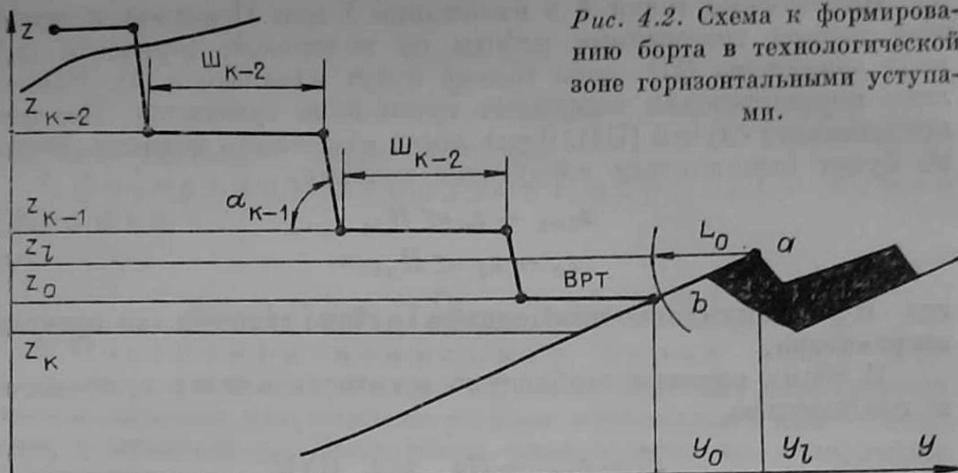
— схемы подготовки горизонтов принимаются однотипными для всего поля разреза или его участка, выделяемого по длине поля;

— максимальное количество уступов в этапе 29.

Основная часть алгоритма построения рабочего борта из горизонтальных уступов выполняется в следующей последовательности.

1. Вычисление координат основания борта. Этот шаг выполняется в том случае, если борт строится от

Рис. 4.2. Схема к формированию борта в технологической зоне горизонтальными уступами.



пласта свиты, по которому не производилось трассирование траектории фронта горных работ.

Для вычисления координат точки основания борта необходимо знать координаты положения горных работ (z_l, y_l) на границе нижней и верхней технологических зон (операция 3.1.1).

Для ситуации, изображенной на рис. 4.2, такой точкой является точка (a с координатами z_l, y_l), расположенная в верхней части угольного уступа. От нее, по техническим условиям, горные работы по вскрыше могут отстоять на некотором удалении L_0 . Зная последнее, с помощью описанной выше операции 3.1.2 определим координаты точки b.

Таким образом, после выполнения первого шага находятся координаты (z_0, y_0) точки, отстоящей от a на заданном расстоянии L_0 . Длина отрезка ab не может быть уменьшена, иначе будут нарушены технические ограничения. Это означает, что горные работы по вскрыше должны осуществляться в точке b к моменту расположения добычных в точке a.

2. Определение отметок горизонтальных уступов, между которыми оказалась точка основания борта, осуществляется перебором заданных отметок горизонтов до выполнения условия

$$z_l \leq z_0 \leq z_{l-1},$$

где z_l — отметка уступа с номером l . Применительно к ситуации, показанной на рис. 4.2, это отметки z_{k-1} и z_k .

3. Проверка расположения точки основания борта по глубине траншеи. Эта операция необходима по следующей причине. Точка b может расположиться в пределах

$$z_0 = z_{k-1}, \quad (I)$$

$$z_0 = z_k, \quad (II)$$

$$z_k < z_0 < z_{k-1}. \quad (III)$$

Нахождение точки b в положении I или II означает, что в этот период траншейные работы по подготовке горизонта (z_h) либо закончены (II), либо только будут начинаться (I). Какие-либо корректировки координат точки b не требуются. Интерес представляет случай (III). Здесь могут возникнуть моменты, когда не будут выполняться следующие условия:

$$z_{h-1} - z_0 < H_d, \quad (IV)$$

$$z_0 - z_h < H_d, \quad (V)$$

где H_d — минимально необходимая глубина траншеи для прохода экскаватора.

В обоих случаях необходимо высотную отметку z_0 привести в соответствие

$$z_0^* = z_{h-1} - H_d \text{ для (IV);}$$

$$z_0^* = z_h \text{ для (V).}$$

По скорректированной высотной отметке z_0^* необходимо определить соответствующую координату y . Для этой цели используется описанная выше операция *GOR* (см. 3.1.8).

Таким образом, результатом выполнения третьего шага являются скорректированные координаты положения основания борта, удовлетворяющие условиям. При этом, как видно из (IV) и (V), координаты новой точки будут расположены на расстоянии, не меньшем, чем L_o .

4. Определение угла (*cs*) встречи линии фронта с линиями УГП. Знание этого угла необходимо для отстройки координат борта. Вычисления выполняются с помощью описанной операции *FE* (см. 3.2.4).

5. Определение угла откоса борта траншеи. Величина угла зависит от способа подготовки траншеи и положения основания борта и определяется из условий

$$\beta_t = \begin{cases} \beta_h, & \text{если } z_0 > z_{h-1} - H_c, \\ \arctg \left(\frac{z_h - z_0}{(z_{h-1} - z_0) \cdot \operatorname{ctg} \beta_h + b_{p.t} + \text{Ш}_{p.p.c}} \right), & \text{если } z_0 < z_{h-1} - H_c, \end{cases}$$

где H_c — высота верхнего слоя при подготовке траншеи двумя слоями; β_h — угол откоса уступа на горизонте h ; $b_{p.t}$, $\text{Ш}_{p.p.c}$ — ширина дна траншеи и рабочей площадки в слое на горизонте h .

6. Отстройка координат траншеи. Исходными координатами являются

$$z_{(2h+1)} = z_0^*;$$

$$y_{(2h+1)} = y_0^*,$$

где h — порядковый номер уступа (в этапе это самый нижний уступ). Тогда координаты по другую сторону дна траншеи

определяются так:

$$z_{(2k)} = z_0^*;$$

$$y_{(2k)} = y_0^* - b_{p,t}/cs;$$

где cs — указанная выше поправка.

7. Отстройка координат верхнего борта трапеци

$$z_{(2k-1)} = z_{(k-1)};$$

$$y_{(2k-1)} = y_{(2k)} - (z_{(k-1)} - z_o) \cdot \operatorname{ctg}(\beta_t).$$

8. Отстройка координат борта всех выше расположенных уступов. Этот шаг повторяется такое количество раз, сколько уступов расположено выше горизонта с отметкой z_k . Вычисления производятся по следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} z_{(2k-i)} &= z_{(k-i)}, \\ y_{(2k-i)} &= y_{(2k-i-1)} + \text{III}_{p,n,c} \end{aligned} \right\} \quad (VI)$$

$$\left. \begin{aligned} z_{(2k-i)} &= z_{(k-i)}, \\ y_{(2k-i)} &= y_{(2k-i-1)} + (z_{(k-1)} - z_{(k-i+1)}) \operatorname{ctg} \beta_k \end{aligned} \right\}. \quad (VII)$$

Выражение (VI) используется для вычисления координат у основания уступа, а (VII) — в его верхней части.

Каждый раз после вычисления координат повторяется возможность достижения рабочим бортом борта погашения. Если борт достигает момента погашения, дальнейшее вычисление координат борта выполняется по описанной ранее операции 3.1.2.

Алгоритм построения координат борта оформлен отдельной подпрограммой ETAP1.

Координаты точек борта для каждого этапа определяются путем обращения к подпрограмме ETAP1 столько раз, на сколько этапов разделено месторождение.

Построение линий рабочего борта при системе разработки наклонными уступами. Борт с наклонными уступами по техническим условиям формируется на месторождениях с пологим падением. Для этого необходимо знать следующее:

— высоты уступов, измеряемые по нормали к линии их оснований, полагая, что высота каждого уступа может быть различной, но закон изменений по высоте рабочей зоны постоянен для поля разреза;

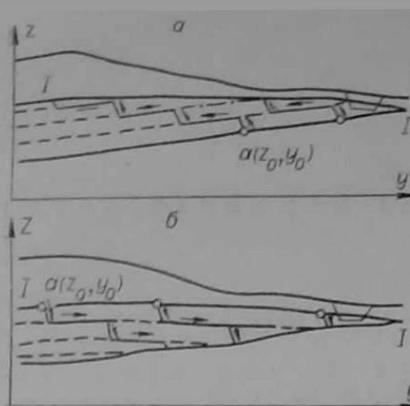
— ширину рабочей площадки на каждом уступе. Как и высоты уступов, ширина площадки может изменяться по высоте рабочей зоны. Измерение ширины рабочей площадки выполняется в горизонтальной плоскости;

— углы наклона (острый) рабочих площадок, измеряемые от линии горизонта;

— границы технологической зоны, в которой отстраивается рабочий борт;

Рис. 4.3. Формирование наклонных уступов:

а — от нижней разделительной линии к верхней;
б — от верхней разделительной линии к нижней



ными уступами — оно может выполняться как от нижней, так и от верхней разделительных линий. Это имеет принципиально важное значение для режима горных работ.

Координаты основания борта при указанных условиях располагаются на нижней разделительной линии при формировании уступов снизу вверх (точка *a*, рис. 4.3, *a*); на верхней разделительной линии при формировании уступов сверху вниз (точка *a*, рис. 4.3, *б*). В качестве примера на рис. 4.3 представлен один и тот же пласт на участке у выхода его под наносы, а также показаны варианты формирования борта наклонными уступами от верхней и нижней разделительных линий. Здесь расстояние по кровле (отрезок I—I) в обоих вариантах одинаковое. С одной стороны, можно полагать, что борт по вскрышке в обоих вариантах занял одинаковое положение и потому вскрышные объемы одинаковы. С другой — визуально видно, что площадь, ограниченная контуром борта, достигшим точки I во втором варианте (рис. 4.3, *б*), больше, чем в первом.

Следовательно, при одинаковых объемах вскрыши будет добыто различное количество угля. Но подобная ситуация будет наблюдаться не всегда, поэтому вопрос о том, от кровли или от почвы формировать наклонные уступы, далеко не тривиален и требует для каждого месторождения специальных исследований. В горно-геометрических расчетах на ЭВМ необходимо предусмотреть возможность формирования борта для обоих вариантов.

При заданных параметрах алгоритм построения рабочего борта наклонными уступами формируется следующим образом.

1. Как и при горизонтальных уступах, на данном шаге вычисляются координаты основания борта или нижнего уступа в зоне. При этом полностью повторяются вся логика и вычислительные операции, описанные на первом шаге алгоритма построения горизонтальных уступов. В результате первого шага определяются координаты точки *a* основания наклонного борта (y_1, z_1 , рис. 4.4).

2. Построение уступа (вычисление координат точ-

— координаты основания рабочего борта.

Перечисленная информация, кроме указанной в последнем пункте, определяется согласно методике в § 2.2.

Одна из особенностей формирования рабочего борта наклонными уступами — оно может выполняться как от нижней, так и от верхней разделительных линий. Это имеет принципиально важное значение для режима горных работ.

Координаты основания борта при указанных условиях располагаются на нижней разделительной линии при формировании уступов снизу вверх (точка *a*, рис. 4.3, *а*); на верхней разделительной линии при формировании уступов сверху вниз (точка *a*, рис. 4.3, *б*). В качестве примера на рис. 4.3 представлен один и тот же пласт на участке у выхода его под наносы, а также показаны варианты формирования борта наклонными уступами от верхней и нижней разделительных линий. Здесь расстояние по кровле (отрезок I—I) в обоих вариантах одинаковое. С одной стороны, можно полагать, что борт по вскрышке в обоих вариантах занял одинаковое положение и потому вскрышные объемы одинаковы. С другой — визуально видно, что площадь, ограниченная контуром борта, достигшим точки I во втором варианте (рис. 4.3, *б*), больше, чем в первом.

Следовательно, при одинаковых объемах вскрыши будет добыто различное количество угля. Но подобная ситуация будет наблюдаться не всегда, поэтому вопрос о том, от кровли или от почвы формировать наклонные уступы, далеко не тривиален и требует для каждого месторождения специальных исследований. В горно-геометрических расчетах на ЭВМ необходимо предусмотреть возможность формирования борта для обоих вариантов.

При заданных параметрах алгоритм построения рабочего борта наклонными уступами формируется следующим образом.

1. Как и при горизонтальных уступах, на данном шаге вычисляются координаты основания борта или нижнего уступа в зоне. При этом полностью повторяются вся логика и вычислительные операции, описанные на первом шаге алгоритма построения горизонтальных уступов. В результате первого шага определяются координаты точки *a* основания наклонного борта (y_1, z_1 , рис. 4.4).

2. Построение уступа (вычисление координат точ-

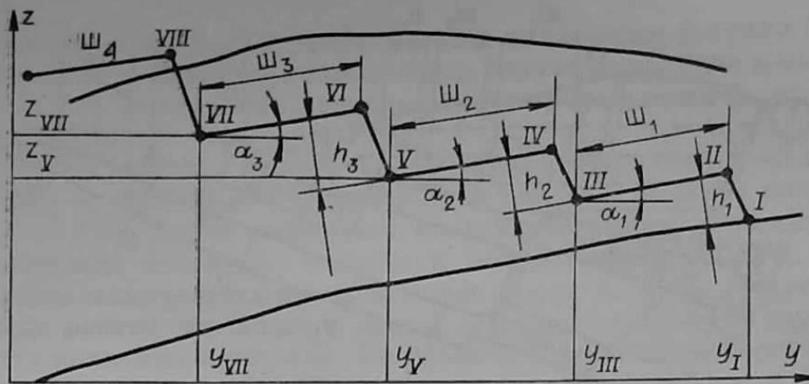


Рис. 4.4. Схема к формированию борта в технологической зоне наклонными уступами.

жи II, рис. 4.4) начинается с определения угла падения пласта в окрестности точки *a*

$$\alpha = \arctg \left(\frac{z'_2 - z'_1}{y'_2 - y'_1} \right),$$

где z'_2, z'_1, y'_2, y'_1 — произвольные координаты в окрестности точки *a* на линии нижней границы технологической зоны.

При известном α к точке *a* восстанавливается нормаль и на ней откладывается отрезок, равный высоте наклонного уступа. В результате вычисляются координаты конца этого отрезка:

$$z_2 = z_1 + PR \cdot R \cdot \sin(\beta_1);$$

$$y_2 = y_1 + PR \cdot R \cdot \cos(\beta_1);$$

$$R = \frac{H}{\cos(90 - \beta_1 - \alpha)},$$

где β_1 — угол откоса уступа; H — высота уступа; PR — признак, принимающий значение (+1) при формировании борта от почвы к кровле и (-1), если борт формируется от кровли.

Операция построения откоса уступа оформлена отдельной подпрограммой ОТКОС.

3. Построение рабочей площадки (вычисление координат, например, точки III на рис. 4.4). При известном угле наклона рабочей площадки и координатах точки, от которых отстраивается площадка, искомые координаты вычисляются по формулам (для рис. 4.4).

$$z_3 = z_2 - PR \cdot \mathbb{W}_1 \cdot \sin(\alpha_1);$$

$$y_3 = y_2 - PR \cdot \mathbb{W}_1 \cdot \cos(\alpha_1),$$

где PR — признак, принимающий значение (+1), если борт отстраивается от почвы, и (-1) при отстройке его от кровли; \mathbb{W}_1 —

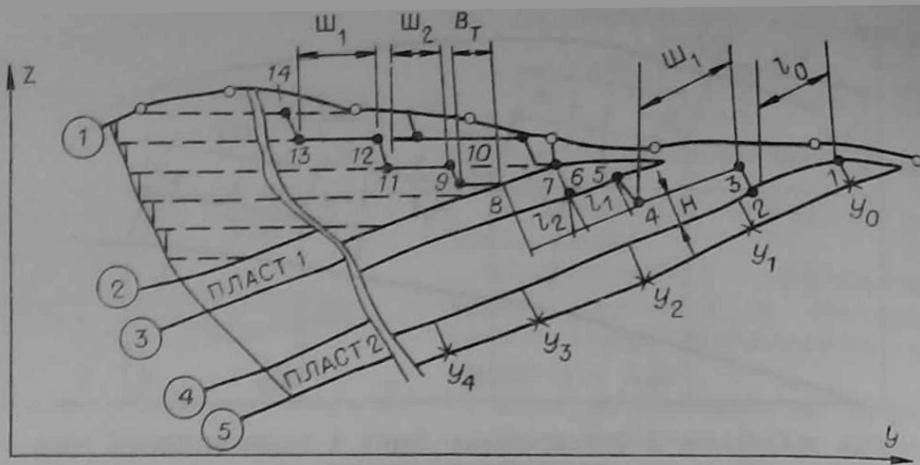


Рис. 4.5. Пример формирования рабочего борта по трем технологическим зонам.

ширина рабочей площадки, измеряемая по горизонтали; α_1 — угол наклона площадки.

Угол наклона площадки (α_1) принимается по заданным значениям в том случае, если наклон линии, от которой отстраивается борт, превышает допустимый наклон площадки. Иначе угол принимается равным углу падения разделительной линии в окрестности той точки, от которой отстраивается борт. Алгоритм отстройки площадки оформлен подпрограммой RPL.

После каждого из шагов 2 и 3 контролируется возможность достижения рабочим бортом борта погашения, и в случае появления такого момента дальнейшее управление передается операции построения борта погашения KLN8 (см. раздел 3.2.5).

Далее шаги 2 и 3, чередуясь, повторяются до тех пор, пока не будут построены координаты последнего заданного уступа. Алгоритм построения борта наклонными уступами оформлен отдельной подпрограммой ETAP2.

К подпрограмме ETAP2 обращаются столько раз, сколько этапов выделяется на данном разрезе или месторождении.

Рассмотренные алгоритмы позволяют получить координаты рабочего борта по этапам движения горных работ в одной технологической зоне.

Решение задачи построения координат борта по трем технологическим зонам рассмотрим на примере залежи, представленной двумя пологими пластами (рис. 4.5). Предполагается породы вскрыши над верхним пластом (зоны 1—2) отработать системой разработки с горизонтальными слоями. Междупластье (зоны 3—4) разрабатывается наклонными уступами. Мощности обоих пластов и углы их наклона таковы, что их можно вынимать одним наклонным уступом (зоны 2—3 и 4—5).

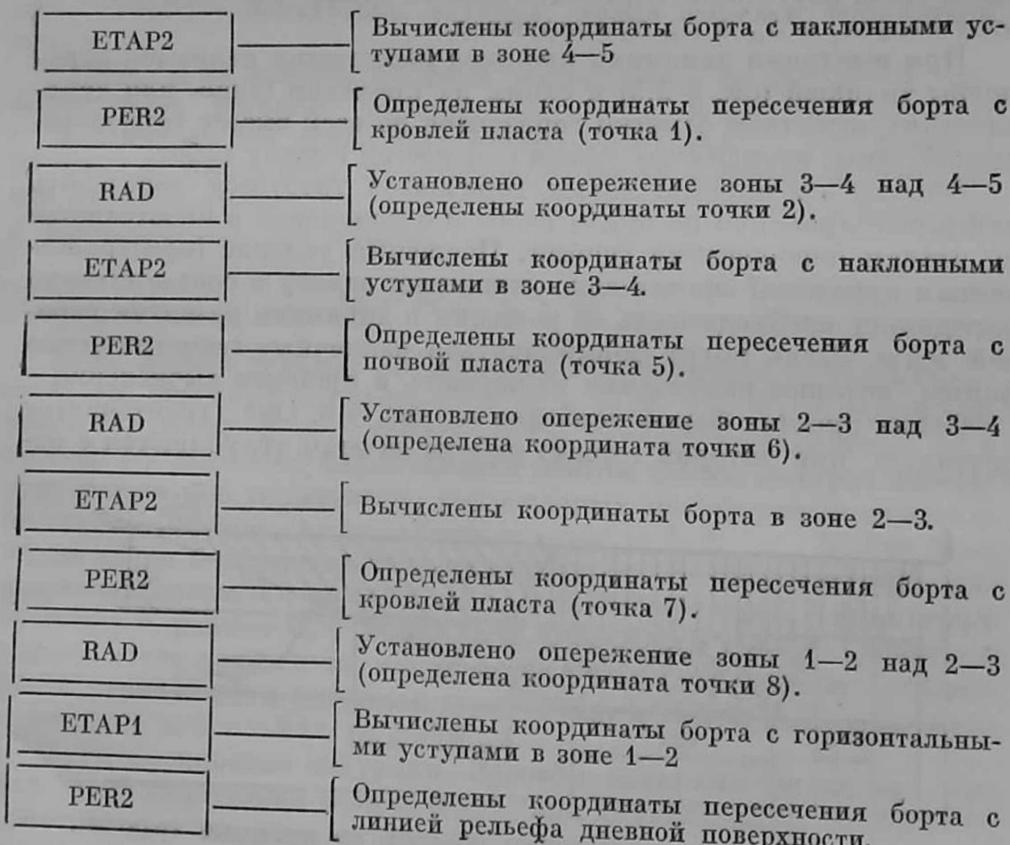
Построение координат борта начинается с нижнего пласта (зоны 4—5) от точек положения фронта работ на почве (y_0^3, y_1^3, \dots).

Поскольку зона 4—5 разрабатывается наклонным уступом (в данном случае один уступ, но их в общем случае могло быть и несколько), то для вычисления координат борта обращаемся к программе ETAP2.

Горные работы в зоне 3—4 должны опережать зону 4—5 на расстояние l_0 . Вычисляем координату точки 2, используя операцию 3.1.2 (RAD). Далее вычисляем координаты борта, формируемого наклонными уступами, используя подпрограмму ETAP2. В результате получим координаты точек борта 3, 4, 5. После этого горные работы переходят в зону 2—3, пласт в которой отрабатывается наклонным уступом. На границах двух зон должно соблюдаться опережение (l_1). Координата точки 6 вычисляется опять с помощью операции 3.1.2 (RAD), после чего для вычисления координат борта в зоне 2—3 снова обращаемся к подпрограмме ETAP2. В результате определяется координата точки 7. Поскольку горные работы переходят в зону 1—2, для вычисления координат точки 8 опять используем операцию RAD.

В зоне 1—2 горные работы ведутся горизонтальными слоями, поэтому для вычисления координат используется подпрограмма ETAP1. В результате будут вычислены координаты точек 9—14.

Таким образом, при вычислении координат борта для принятого варианта систем разработки использовались подпрограммы и операции в следующей последовательности:



В такой последовательности повторяются операции для каждого этапа отработки залежи. Порядок формирования последовательности повторения операции зависит от геологических условий и вариантов систем разработки в технологических зонах. Весь процесс формирования последовательности операций возлагается на организующую программу (см. § 5.4).

§ 4.3. МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ НОВЫХ ГОРИЗОНТОВ

Выше (§ 2.5) были представлены основные схемы подготовки новых горизонтов. Задача моделирования процесса в динамике отработки поля карьера заключается в определении объемов горных работ, выполняемых при проходке траншей в каждом этапе отработки. Необходимость дифференциации объемов по нарезке траншей связана, во-первых, с определением сроков подготовки новых горизонтов, во-вторых, со значительным удорожанием работ в траншеях по сравнению с работами на уступах.

В плоскости профиля (рис. 4.6) объемы по нарезке в общем случае выражаются следующими площадями: S_B , S_o , S_n — соответственно работы на верхнем слое, его отгон и нарезка нижнего слоя. Если подготовка горизонта ведется одним слоем, площадь S_o отсутствует, а S_B и S_n суммируются.

При имитации динамики процесса известными являются параметры траншей (см. § 2.5) и схемы их проходки (одно- или двухслойная), высотные отметки горизонтов по всей высоте технологической зоны, координаты этапов положений горных работ.

Объемы по нарезке новых горизонтов требуется определить дифференцированно по видам работ и с привязкой в пространстве по этапам перемещения фронта. Последнее условие (пространственная привязка) значительно усложняет задачу и соответственно определяет необходимость ее решения в динамике развития рабочей зоны. Здесь могут формироваться различные геометрические формы, которые необходимо распознать в процессе вычислений.

Самая простая форма показана на рис. 4.6. Она характеризует ситуацию, при которой горные работы за этап углубляются с от-

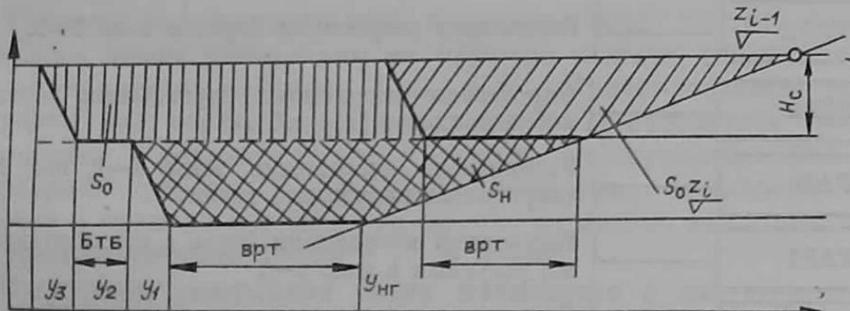


Рис. 4.6. Схема к определению объемов по проходке траншей.

метки z_{i-1} до отметки z_i , причем точки с этими отметками горизонтов совпадают с точками, фиксирующими горные работы на этапах $j-1$ и j . В таком случае площадь траншеи достигает конечного развития, а ее составляющие могут легко определиться, так как границы их известны.

Совершенно иначе стоит вопрос в тех многочисленных случаях, когда точки, характеризующие положение этапа, не совпадают с отметками горизонтов.

Анализ позволил систематизировать множество возможных ситуаций семью основными. Шесть из них показаны в табл. 4.1. Седьмая ситуация характеризует момент, когда траншейные работы вообще отсутствуют, что наблюдается на горизонтальных участках или в тех случаях, когда пласт на некотором участке имеет обратное падение (например, замок складки).

В плане, как и на профиле, траншейные работы в этапе могут выполняться на одном или нескольких горизонтах, т. е. представленные в табл. 4.1 ситуации правомерны и по простиранию фронта.

Полученные семь основных схем охватывают возможное множество ситуаций и положены в алгоритм моделирования процесса подготовки горизонта. Алгоритм описывает только геометрическую сторону задачи, заключающуюся в том, что здесь вычисляются данные по видам работ. Используя их в технико-экономических задачах, можно определить производительность оборудования, скорости подвигания уступов, время нарезки горизонтов и т. д.

Площади на каждом профиле вычисляются по алгоритму, рабочая часть которого формируется тремя основными шагами:

1. Определение положения горных работ любого j -го этапа и количества горизонтов, находящихся между смежными этапами. Это производится путем сравнения высотных отметок горизонтов и высотных отметок этапов

$$z_h > z_j \wedge z_h < z_{j-1}.$$

Если данное условие не выполняется, значение k увеличивается. Эта операция продолжается до $k = N$, где N_k — конечный номер горизонта. В тех случаях, когда условие выполняется, то в счетчик (c) заносится нарастающим итогом число, которое фиксирует количество горизонтов, заключенных между двумя отметками этапов. Значение c может быть равным: $0, 1, 2, \dots, N$, где N — общее число горизонтов. В зависимости от значения счетчика управление передается на соответствующие операторы. Характерны значения c , равные $0, 1$ или $c \geq 2$. При $c = 0$ горные работы в данном этапе ведутся на одном горизонте. Если $c = 1$, производится нарезка двух смежных горизонтов, а при $c \geq 2$ — процесс ведется на нескольких горизонтах.

2. Распознавание ситуации. Здесь, в зависимости от того, какая схема подготовки задана (одно- или двухслойная), выбирается соответствующее управление для расчета.

Операц. рода	Возможные положения горных работ в этапе	Схема
1	Траншейные работы в этапе ведутся на одном гори- зонте в верхнем слое	
2	$z_{i-1} \geq z_{\vartheta j-1} \wedge (z_{i-1} - H_C) \leq z_{\vartheta j}$	
3	Траншейные работы в этапе ведутся на одном гори- зонте, но в двух слоях $z_{\vartheta j-1} \leq z_{i-1} \wedge z_{\vartheta j} \leq z_i$	
4	Траншейные работы в этапе одновременно ведут- ся на двух смежных гори- зонтах	
5	$z_{\vartheta j} \leq z_i \wedge z_{\vartheta j-1} \leq z_{i-2}$	

Примечание. Типичные ситуации, возникающие при моделировании подго-

3. Вычисление пределов и площадей. Под пределами понимаются пределы интегрирования. Они образуются в данной задаче в результате пересечения горизонтальных линий с кровлей пласта, а также в результате пересечения ряда прямых.

Пределы первого типа вычисляются в окрестности заданных координат этапов. Например, заданы координаты положения этапов z_j и z_{j-1} (рис. 4.7). Требуется вычислить координаты точки пересечения первого ближайшего горизонта, расположенного выше ($y_{\text{в.г}}$) или ниже ($y_{\text{н.г}}$) границ этапов, а также координаты пересечения линии (y_c), разделяющей горизонт на слои, с кровлей пласта. Операция выполняется по описанной выше подпрограмме (см. 3.1.8).

Таблица 4.1

Операция	Возможные положения горных работ в этапе	Схема
7с	Подготовка траншей одним слоем. Работы в этапе ведутся на одном горизонте $z_{\partial j} > z_i \wedge z_{\partial j-1} \leq z_{i-1}$	
7с	Подготовка траншей одним слоем. Работы в этапе ведутся одновременно на двух и более горизонтах	
6	Траншейные работы в этапе одновременно ведутся более чем на двух горизонтах	

При подготовке горизонтов: с — двумя слоями; 0 — одним слоем.

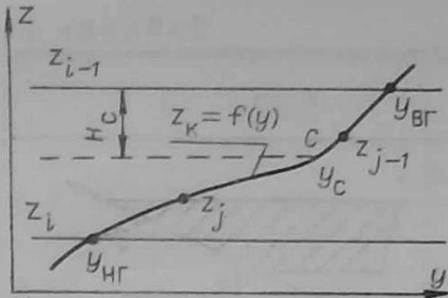
Пределы второго типа вычисляются аналитическим путем. Сюда относится, например, операция вычисления координат конечного контура траншееи в нижнем и верхнем слоях (см. рис. 4.6):

$$y_1 = y_{\text{н.г}} - b_{\text{р.т}} - (z_{i-1} - H_{\text{c}} - z_i) \cdot \text{ctg}(\beta);$$

$$y_3 = y_1 - B_{\text{т.в}} - H_{\text{c}} \cdot \text{ctg}(\beta).$$

Аналогичные операции возникают и в верхнем слое траншееи, а также при проходке траншееи одним слоем. Это простые операции и расчетные выражения для них зависят от ситуационных моментов, в которых оказался процесс подготовки траншееи в конкретном этапе развития горных работ.

Рис. 4.7. Схема к вычислению координат точек пересечения линии горизонта с кровлей пласта.



ми. В этой связи вычисление площадей указанных форм в общем случае необходимо выполнять путем интегрирования, так как кровля пласта в пределах траншеи может иметь криволинейную поверхность, что при использовании упрощенных формул может привести к ошибкам.

Интегрируемая область имеет трапецидальную форму и ограничена в любой части траншеи сверху и снизу горизонтальными линиями. Тогда ее площадь вычисляется по выражению

$$S = z_{\text{B}}(y_3 - y_1) - \int_{y_1}^{y_3} F_{\text{H}}(y) dy,$$

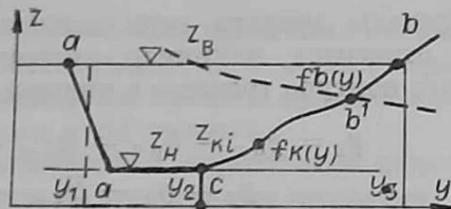
где z_{B} — высотная отметка верхней горизонтальной линии; y_1, y_3 — пределы интегрирования (рис. 4.8) по оси ОY; F_{H} — функция нижней ограничивающей линии. Формируется из отрезка прямой и линии кровли

$$F_{\text{H}} = \begin{cases} z_{\text{H}}, & \text{если } z_{\text{H}} > z_{ki}; \\ f_{\text{H}}(y), & \text{если } z_{\text{H}} \leq z_{ki}, \end{cases}$$

где z_{ki} — высотная отметка в кровле пласта в любой i -й точке; z_{H} — высотная отметка нижней горизонтальной линии.

Однако в общем случае полагаем, что верхняя горизонтальная линия может (особенно на верхних горизонтах) рассекаться поверхностью рельефа (например, линия $fb(y)$ на рис. 4.8). Тогда в

Рис. 4.8. Схема к вычислению площадей в контурах проходки траншей.



общем виде имеем фигуру, ограниченную у нижнего предела вертикальной прямой (прямая проводится через середину линии откоса), а сверху и снизу — произвольными кривыми, пересекающиеся в одной точке (координаты точки пересечения известны).

Для этих условий общее расчетное выражение площади

$$S = \int_{v_1}^{v_3} F_{\text{в}}(y) dy - \int_{v_1}^{v_3} F_{\text{п}}(y) dy.$$

Здесь

$$F_{\text{в}} = \begin{cases} z_{\text{в}}, & \text{если } zR_i > z_{\text{в}}; \\ fb(y), & \text{если } zR_i < z_{\text{в}}, \end{cases}$$

где zR_i — высотная отметка по линии рельефа в любой ее точке.

Алгоритм программы отражает изложенную систематизацию возможных ситуаций, возникающих при подготовке новых горизонтов.

§ 4.4. ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ТОРЦАХ КАРЬЕРА

В специальной литературе вопросы моделирования горных работ в торцевых зонах карьеров часто вообще опускаются в предположении, что влияние их на общие результаты незначительно, либо учитываются весьма приближенно. Особенно это касается публикаций, в которых освещается моделирование на пластовых месторождениях [15, 17, 26, 27]. Предлагаемые здесь методические, разработки реализованы в программном обеспечении. Они не претендуют на строгое решение, но с достаточной для практики точностью позволяют учесть особенности развития горных работ в торцах карьеров на пластовых месторождениях.

Выделение горно-геометрических расчетов в торцевых зонах в отдельную задачу обусловлено тем, что угольные месторождения, ввиду их больших размеров, необходимо делить на карьерные поля или обосновывать их размеры (длины) для удовлетворения заданной производственной мощности.

Формирование торцевых контуров. Заданы углы наклона торцов и известны границы расположения средней части карьера по флангам на вытянутом месторождении. Границы указываются номерами профилей (УГП), вблизи которых или через которые предполагается ограничить размер средней части карьера по длиной его оси.

Введем условные понятия «левый» и «правый» фланги карьера. Тогда средняя часть карьера располагается между профилями $v_{\text{л}}$ и $v_{\text{п}}$, где v — номера профилей, через которые проходит граница карьера с левого и правого его флангов. При этом примем $v_{\text{л}} \ll v_{\text{п}}$.

Под торцевым контуром будем понимать проекцию торцевого борта на горизонтальную плоскость. Часто такая проекция отображается в виде криволинейного контура. Однако в данной задаче важен участок месторождения, в который вписывается граница контура (рис. 4.9).

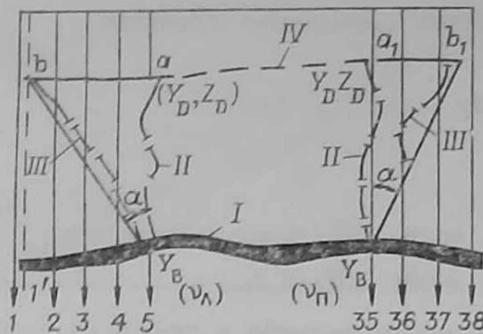


Рис. 4.9. Схема к определению границ торцевых зон карьера:
 I — выход пласта под илоны; II — граница средней части в торцах по дну карьера; III — граница торцевых зон по дневной поверхности; IV — граница дна карьера со стороны погашения горных работ; 1, 2, ..., 38 — номера УГП.

Задача заключается в определении номеров УГП с левого и правого флангов, в пределах которых расположатся контуры торцов (рис. 4.9), и решается она следующим образом.

Определяются максимальные заложения торцевых бортов с левого и правого флангов по общей схеме

$$ab = (z_{\max} - z_D) \operatorname{ctg}(\gamma_t),$$

где ab — максимальное заложение торцевого борта; z_{\max} — максимальная отметка рельефа в пределах контура торца; z_D — отметка дна разреза на граничных УГП (т. на v_L и v_R); γ_t — угол откоса торцевого борта.

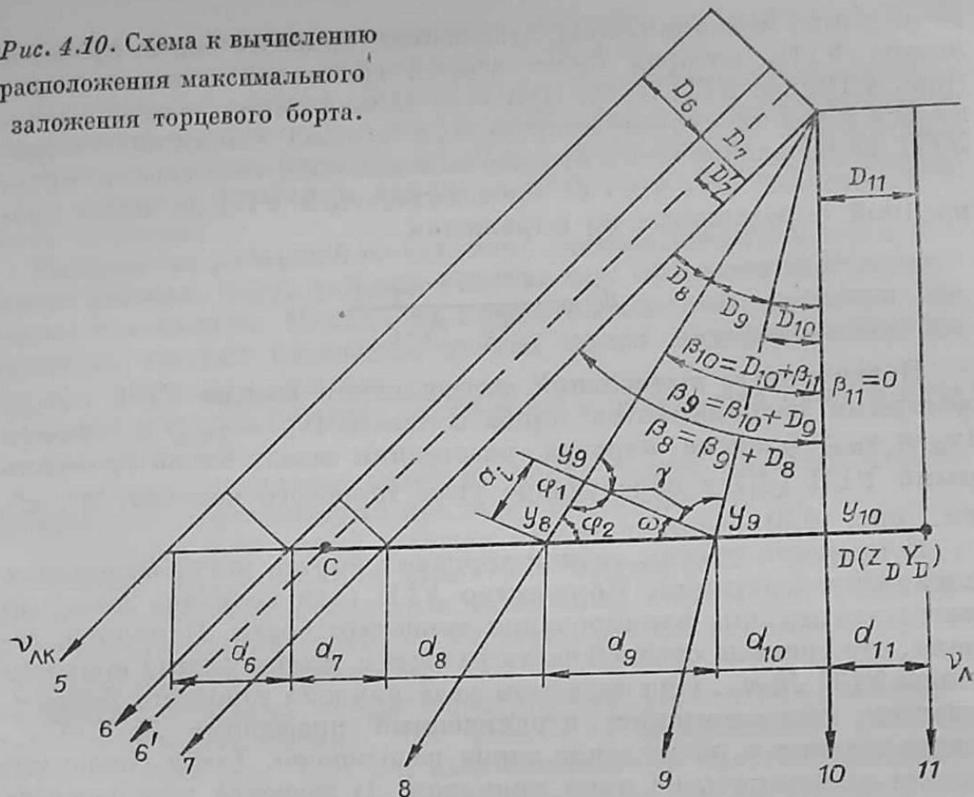
Величины z_{\max} и z_D определяются в ЭВМ по информации о модели месторождения. Максимальное заложение торцевого борта в геометрическом представлении изобразится отрезком на линии, перпендикулярной граничному профилю и проходящей через точку дна разреза (см. линии ab , a_1b на рис. 4.9).

Дискретность данных обусловила итерационный метод поиска номеров УГП, между которыми заключается конец отрезка длиной, равной максимальному заложению (ab). На каждом шаге итерации определяется величина Σd_i , представляющая расстояние от профиля, ограничивающего среднюю часть карьера, до очередного i -го профиля. Расстояние измеряется по линии максимального заложения торца, и на каждом шаге добавляется либо расстояние между очередным профилем (если он параллелен предыдущему), либо значение отрезка, вычисленное с учетом угла между профилями (если они заданы в полярной системе координат). Накопленное расстояние сравнивается с максимальным заложением $\Sigma d_i \geq ab$. При невыполнении условия добавляется еще площадь, ограниченная очередным профилем $i = 1$, если контур определяется у левого фланга, или $i + 1$, если у правого фланга.

Выполнение условия означает завершение вычисления площади, в пределах которой разместится торцевой борт.

Нарастающая сумма Σd_i при параллельных профилях определяется просто. Но задача состоит в получении расчетных выражений общего плана. Имеется в виду, что профили могут быть не только параллельными, но и радиальными, а также одновременно и параллельными, и радиальными в пределах одного участка.

Рис. 4.10. Схема к вычислению расположения максимального заложения торцевого борта.



На рис. 4.10 представлена общая схема возможного расположения профилей. При этих условиях на каждом шаге значение искомого расстояния вычисляется из следующих отношений:

$$\Sigma d_i = \begin{cases} \Sigma d_{i-1} + d_i, & \text{если } \beta_i = 0 \\ \Sigma d_i + d_i / \cos(\beta_i), & \text{если } \beta_i \neq 0 \end{cases} \quad \text{если } \varepsilon(d_i) > 1;$$

$$\Sigma d_i = 1,41 \cdot y_D \cdot \cos(d_i/2) / \cos(\beta_i) \cdot \sqrt{1 - \cos(d_i)} \quad \text{если } \varepsilon(d_i) < 1;$$

$$\beta_i = \begin{cases} \beta_i + 0, & \text{если } d_i > 1, \\ \beta_{i+1} + d_i, & \text{если } d_i < 1, \end{cases}$$

где d_i — значение расстояния ($d > 1$) или угла ($d < 1$) между парой смежных УГП; $\varepsilon(d_i)$ — целая часть от числа, заключенного в скобки; β_i , y_i — промежуточные накапливающиеся величины; y_D — y -ковая координата точки дна карьера на граничном УГП (т. е. $v_{л}$ или $v_{п}$).

Ввиду дискретного наращивания величины Σd_i выполнение равенства в условии $\Sigma d_i \geq [ab]$ может наступить лишь в частном случае. Это означает, что через конец отрезка, равного максимальному заложению, проходит линия УГП, номер которой соответствует шагу итерации. В общем же случае строгое равенство может не выполняться. Поэтому необходимо через конец отрезка, равно-

го по длине максимальному заложению торцевого борта, провести линию УГП, которая будет второй граничной линией торца (рис. 4.10, см. УГП № 6). При этом данная линия должна выполняться в той же системе координат, в которой находятся смежные УГП, включающие конец отрезка максимального заложения торца.

Расстояние или угол от предшествующей УГП до вновь проводимой определяется из выражения

$$d'_i = \frac{d_i([ab] - d_{i-1})}{d_i - d_{i-1}}.$$

В результате вычислений определяются номера УГП, между которыми располагаются торцы с левого (v_l и $v_{p,k}$) и правого (v_l и $v_{p,k}$) флангов карьера, расстояния между вновь проведенными УГП (d'_i) и образующие углы торцевого контура (α^b , α^n , см. рис. 4.9).

В процессе поиска границ торцевых бортов могут возникнуть следующие ситуации. Количество УГП (или величина площади) недостаточно для формирования торцевого борта. Например, задано, что граница средней части разреза с левого фланга проходит через УГП № v_l . При заданном угле наклона торцевого борта γ_t участок месторождения, ограниченный профилями № 1 ÷ v_l , оказался мал и размещение торца невозможно. Такое положение может возникнуть по двум причинам: 1) значение угла наклона торца задано неверно; 2) неверно задана граница средней части разреза. Первая ошибка, очевидно, может быть исправлена только инженером. Что касается второй (при условии, что задано верно), то здесь возможна алгоритмическая процедура исправления, например путем корректировки номера профиля (v_l), т. е. увеличение его на единицу: $v_l = v_l + 1$ (тем самым увеличивается площадь под торец). После этого производится процедура счета.

Следует особо акцентировать внимание на данном процессе исправления. Теоретически процесс осуществим в любом случае, практически же он верен лишь тогда, когда положение профиля № 1 верно определено при построении плана УГП.

Совершенно аналогичные ситуации могут возникнуть при формировании торца в правом фланге разреза.

Другая ситуация заключается в том, что исходные параметры заданы верно, но ввиду дискретного счета в общем случае невозможно ожидать, что границы торцов будут заключены именно между намеченными линиями УГП. Следовательно, целесообразно говорить о точности вычислений. Тогда выполнение условия $|\delta| \leq \Delta$ будет означать, что граничный контур торцевого борта установлен. Здесь принято: δ — относительное расхождение между максимальным заложением торцевого борта и вычисленным на

$$\text{текущем шаге } \delta = \frac{|ab| - \sum d_i}{100} (\%); \Delta \text{ — заданная точность вычислений.}$$

Задача формирования торцевого контура выполнена в виде отдельной программы под именем FORTOR.

В результате работы программы формируется массив данных, содержащий информацию о координатах контура (y_D на рис. 4.9) на левом и правом флангах, об углах, образующих контур (α_L , α_R), о номерах профилей, ограничивающих среднюю и торцевые части карьера.

Вычисление площадей по уступам, расположенным в торцевых бортах разреза. Часть рабочих уступов при оформлении торцевых бортов погашается. Исходя из принятой системы расчетов по профилям процесс погашения уступа может моделироваться на основе следующих данных:

- массива информации, полученной в результате работы программы FORTOR;
- массива координат точек по почве самого нижнего пласта по профилю, через который проходит основание торца;
- массива расстояний и углов между линиями УГП.

Процесс моделирования развития горных работ в торцевых бортах заключается в фиксации возможных положений борта рабочей зоны по этапам отработки карьера с учетом динамики формирования торцевой поверхности.

Процесс фиксации торцевой поверхности рассмотрим, воспользовавшись иллюстрацией. На рис. 4.11 представлен участок месторождения (рис. 4.11, а), включающий три пласта. Положим, что через УГП № 5 проходит основание торца. Выполним разрезы по этому и смежному с ним профилям (по $A-A$ и по $B-B$).

Рассечем участок месторождения серией секущих I—I, II—II и т. д. (рис. 4.11, б). Из точек, расположенных на почве нижнего пласта на торцевом профиле (точки 1, 2, ..., 5), проведем прямые под углом откоса торцевого борта (γ_t) до пересечения с плоскостью смежного профиля. Получим точки a_1, a_2, \dots, a_5 (рис. 4.11, б), которые перенесем на смежный профиль (сечение $B-B$). В результате на нем определится след пересечения поверхности торцевого борта с профилем (ломаная через точки $a_1, a_2, a_3, \dots, a_5$). Записав зафиксированные точки упорядоченно относительно возрастания аргумента, имеем уравнение следа пересечения торцевой поверхности с профилем $v + 1$:

$$z_i = f(y_i); \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Данное уравнение является границей рабочей зоны в торце, и, следовательно, любые конструктивные элементы борта, расположенные ниже этой граничной линии, не входят в рабочую зону. Любой уступ, элементы которого расположены ниже граничной линии, считается погашенным. Если такие элементы прослеживаются на смежном профиле, то место погашения уступа определяется дополнительно путем вычисления длины части уступа при подсчете объемов.

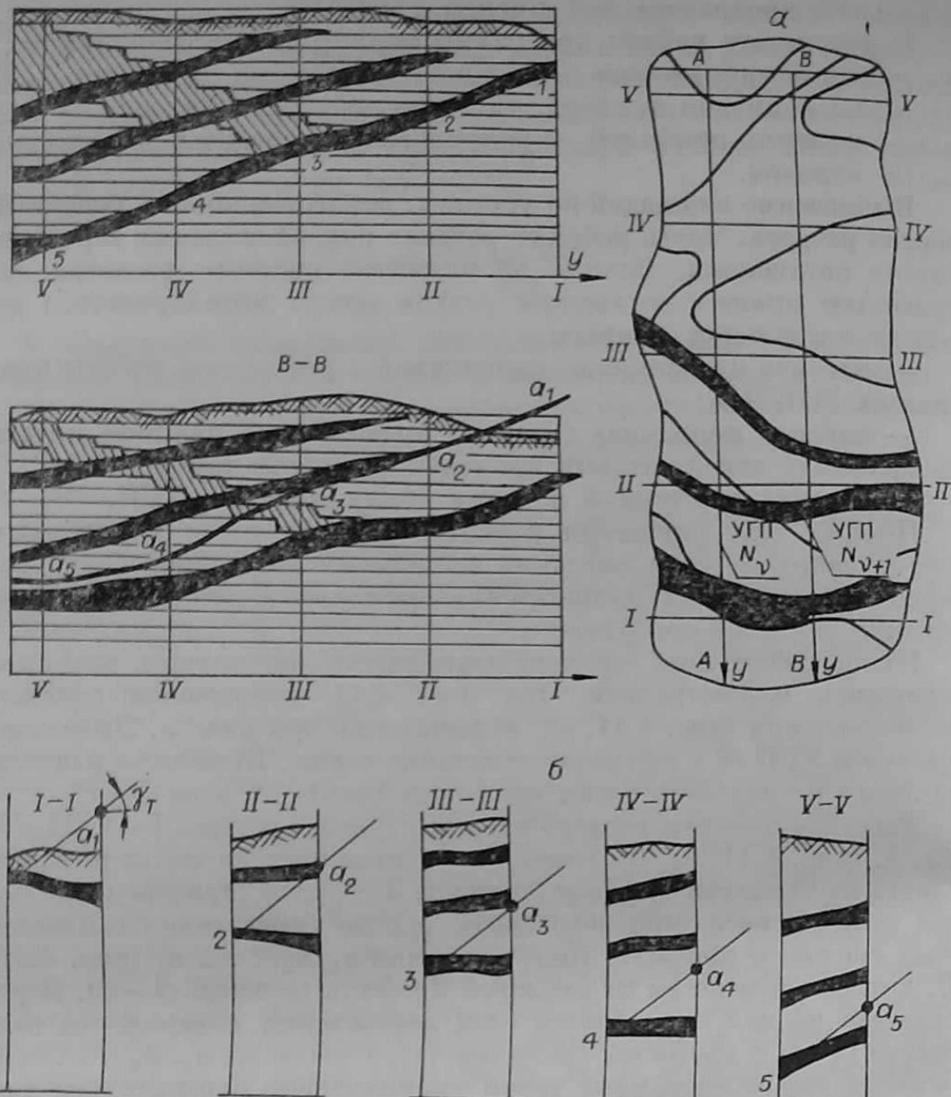


Рис. 4.11. Схема к построению следа пересечения плоскости торца с профилем.

Таким образом можно найти след пересечения поверхности торцевого борта с любым профилем, расположенным в зоне торца карьера.

Вычислению площадей уступов в плоскости каждого профиля предшествует построение координат положений рабочего борта по этапам отработки (BORT, § 4.2). При этом координаты положений бортов определяются без учета границ расположения торцов.

Предложенный метод построения линии следа пересечения торцевого борта с вертикальными профилями значительно упрощает процесс вычисления площадей на уступах рабочей зоны.

В этом случае используется описанная выше операция 3.2.3, по вводится дополнительное условие проверки попадания элементов конструкции уступа за пределы границы следа торцевого борта на профиле.

На рис. 4.11 показаны два положения рабочего борта, между которыми требуется найти площади по уступам. На всех уступах, расположенных выше следа торцевого борта (заштрихованная область), вычисляется площадь, а на уступах, расположенных ниже, — условно зануляется.

Таким образом, определению площадей в торцевом борту карьера (использование подпрограммы PLOT) предшествуют построение положений борта по этапам отработки и формирование границ торцевого борта.

§ 4.5. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ И ЗАСОРЕНИЯ УГЛЯ

Здесь решается плоская задача, т. е. на профиле определяются площади теряемого угля и площади породных прослоев, а также привмешиваемых вмещающих пород. Задача вычисления объемов при известных площадях решается в § 4.6.

В § 2.4 изложены расчетные схемы и методика подготовки информации для определения потерь и засорения угля при отработке пластов в диапазоне углов падения от горизонтального до наклонного.

Вычислительный процесс строится исходя из следующего:

— потери угля происходят на контактах кровли и почвы пласта;

— засорение угля возникает в приконтактных слоях за счет привмешивания боковых пород и засорения от внутренних прослоев породы;

— потери и засорение угля при моделировании динамики развития горных работ вычисляются на основе принятых в отрасли нормативов [82, 83], которыми устанавливается толщина слоев зачистки и оставленного угля, размеры выработок («треугольники») в пластах или приконтактных зонах. Наряду с нормативными данными потери и засорение зависят еще от геологических и технологических условий;

— засорение от внутренних прослоев определяется только при условии полного их привмешивания;

— расчетные технологические схемы для вычисления потерь угля зависят от угла падения пласта, поэтому алгоритм вычисления должен иметь развитую логику для выбора соответствующей расчетной схемы.

Исходя из характера задачи, технических требований и способа представления информации о модели месторождения в ЭВМ определены расчетные выражения для учета потерь и засорения угля.

Горизонтальные пласти. Расчетные схемы для вычисления потерь и засорения угля приведены в табл. 2.10. Из этих схем видно, что любая технология отработки пластов позволяет учесть потери и засорение по следующим расчетным выражениям:

$$\begin{aligned} S_{\text{п.к}} &= h_{\text{у.к}} \cdot L_{\text{з.к}}; \\ S_{\text{п.п}} &= h_{\text{у.п}} \cdot L_{\text{з.п}}; \\ S_{\text{з.к}} &= h_{\text{п.к}} \cdot L_{\text{з.к}}; \\ S_{\text{з.п}} &= h_{\text{п.п}} \cdot L_{\text{з.п}}; \\ S_{\text{в.п}} &= m_{\text{п.п}} \cdot L_{\text{з.с}}; \end{aligned} \quad (4.5.1)$$

где $S_{\text{п.к}}$, $S_{\text{п.п}}$ — потери угля в кровле и почве пласта; $S_{\text{з.к}}$, $S_{\text{з.п}}$ — засорение от боковых пород в кровле и почве пласта; $S_{\text{в.п}}$ — засорение от внутренних прослоев; $h_{\text{у.к}}$, $h_{\text{у.п}}$ — толщина слоя зачистки в кровле и оставляемого в почве пласта; $h_{\text{п.к}}$, $h_{\text{п.п}}$ — толщина слоя привмешиваемых боковых пород в приконтактной зоне кровли и почвы пласта; $m_{\text{п.п}}$ — мощность породных прослоев, средняя за этап; $L_{\text{з.к}}$, $L_{\text{з.п}}$, $L_{\text{з.с}}$ — протяженность участка пласта на профиле на границах двух смежных этапов.

Пологие и слабонаклонные пласти. Здесь потери и засорение в приконтактных зонах могут возникнуть за счет зачистки в кровле пласта или привмешивания пород кровли; оставления слоя угля в почве или привмешиваемых приконтактных пород почвы; выемки «треугольников» угля или оставления «треугольников» из породы; оставления опорных целиков угля, зачистки в торцевой части угля; потеря угля от развала его на породы отвала (см. табл. 2.8).

Потери угля в результате зачистки или оставления слоя определяются по выражениям (4.5.1), но из величины $L_{\text{з.к}}$ и $L_{\text{з.п}}$ вычитается длина, занятая «треугольниками» в кровле и почве.

Площадь теряемого угля в «треугольнике» кровли

$$S_{\text{тр}} = 0,5(B_{\text{к}})^2 / (\text{ctg}(\alpha_{\text{к}}) - 1,428), \quad (4.5.2)$$

где $B_{\text{к}}$ — размер горизонтальной площадки (длина) «треугольника»; $\alpha_{\text{к}}$ — угол падения пласта в кровле на участке, где выполняется «треугольник»; 1,428 — котангенс угла откоса «треугольника» (35°).

Количество заходок в этапе зависит от ширины заходки

$$N_{\text{т}} = \varepsilon ((y_{j-1}^{\text{з}} - y_j^{\text{з}}) \cdot \cos(\alpha_{\text{к}}) / A), \quad (4.5.3)$$

где $y_{j-1}^{\text{з}}$, $y_j^{\text{з}}$ — ординаты точек начала и конца этапов; A — ширина заходки.

Выражение (4.5.3) применяется также и при определении количества «треугольников» в кровле и почве пласта.

Площадь «треугольника» угля, оставляемого в опорных целиках, исчисляется на основе его заданных исходных параметров: $B_{\text{ц}}$ — ширина основания целика; $k_{\text{ц}}$ — высота целика, выраженная

ная через доли от нормальной мощности пласта ($k_{\text{п}} \leq 1$); $l_{\text{o.п}}$ — шаг между опорными целиками в плоскости профиля. Тогда

$$S_{\text{п}} = 0,5 \cdot k_{\text{п}} \cdot m_{\text{п}} \cdot B_{\text{п}}, \quad (4.5.4)$$

где $m_{\text{п}}$ — нормальная мощность пласта, определяемая в точке, где оставляется целик.

Количество целиков (целое) в этапе

$$N_{\text{п}} = (y_{j-1}^{\text{п}} - y_j^{\text{п}}) \cos(\alpha_{\text{п}}) / l_{\text{o.п.}} \quad (4.5.5)$$

Площадь теряемого угля в торце уступа (пласта)

$$S_{\text{топ}} = m_{\text{п}} \cdot h_{\text{т}} / 0,906, \quad (4.5.6)$$

где $h_{\text{т}}$ — толщина слоя зачистки в торце уступа.

Потери угля, возникающие в результате раз渲а на внутренние отвалы, зависят от мощности пласта и ширины взрывной заходки. Нормативы на их определение отсутствуют, и поэтому в методику нами заложены рекомендации из практики института Сибгипрошахт:

$$S_{\text{от}} = 0,65 \cdot l_{\text{o.п.}} \cdot h_{\text{от}}, \quad (4.5.7)$$

где $h_{\text{от}}$ — толщина слоя теряемого угля на отвалах.

Теряемый уголь от просыпов на отвалах условно отнесем к потерям в почве пласта.

При известных (4.5.2) \div (4.5.7) потери угля у контакта с кровлей пласта в общем случае определяются по выражению

$$S_{\text{т.у.к}} = N_{\text{т}} \left(S_{\text{тр}} + L_{\text{э.к}} - h_{\text{у.к}} - \frac{0,544 |B_{\text{к}}| \cdot h_{\text{у.к}}}{\sin(35 - \alpha_{\text{к}})} + \frac{m_{\text{п}} h_{\text{т}}}{0,906} \right). \quad (4.5.8)$$

В случае, если не предусматривается выемка «треугольников», то $S_{\text{тр}} = 0$, так как $B_{\text{к}} = 0$ и (4.5.8) примет вид

$$S_{\text{т.у.к}} = N_{\text{т}} \left(L_{\text{э.к}} \cdot h_{\text{у.к}} - \frac{m_{\text{п}} \cdot h_{\text{т}}}{0,906} \right). \quad (4.5.9)$$

Если $h_{\text{т}} = 0$, то имеем

$$S_{\text{т.у.к}} = N_{\text{т}} \cdot L_{\text{э.к}} \cdot h_{\text{у.к}}. \quad (4.5.10)$$

Что касается потерь угля на контакте у почвы пласта, то в общем случае они определяются по выражению

$$S_{\text{т.у.п}} = S_{\text{тр}} \cdot N_{\text{тр}} + \left(L_{\text{э.п}} - \frac{0,544 |B_{\text{п}}|}{\sin(35 - \alpha_{\text{п}})} \right) \cdot h_{\text{у.п}} \cdot N_{\text{т}} + \\ + 0,5 (\text{III}_{\text{п}} - h_{\text{п.п}}) |B_{\text{п}}| \cdot k_{\text{п}} \cdot N_{\text{п}} \cdot 0,65 (L_{\text{э.п}} - |B_{\text{п}}|) \cdot h_{\text{п.п}}. \quad (4.5.11)$$

Как и в (4.5.8), в выражении (4.5.11) отдельные составляющие могут принимать нулевые значения, что обусловливается набором расчетных параметров в схемах.

По аналогии с (4.5.8) и (4.5.11) формируются в общем виде выражения для учета засорения угля в приконтактном слое кровли

$$S_{3.y.k} = \left(L_{3.k} - \frac{0,544 |B_k|}{\sin(35^\circ - \alpha_k)} \right) N_t + h_{p.k} + 0,5 h_{p.k}^2 \times \\ \times (\operatorname{ctg}(\alpha_k) + 1,428) \cdot N_t + N_t + L_{3.k} \cdot h_{p.k} + N_t \cdot S_{tp}. \quad (4.5.12)$$

По аналогии у почвы

$$S_{3.y.p} = N_t (L_{3.p} - |B_p|) \cdot h_{p.p} + N_t \cdot L_{3.p} \cdot h_{p.p} + \\ + (L_{3.p} - (0,544 \cdot B_p / \sin(35^\circ - \alpha_p)) \cdot h_{p.p}) \cdot N_t. \quad (4.5.13)$$

Засорение от внутренних прослоев

$$S_{3.v} = m_{p.p} \cdot L_{3.c}. \quad (4.5.14)$$

В (4.5.14) полагаем, что породный пропласток в этапе может иметь разрывы сплошности.

Наклонные пласти. Схемы потери и засорения для этих пластов показаны в табл. 2.9.

Потери угля для этих схем определяются по выражениям

$$S_{t.y.k} = N_{\text{под}} \cdot 0,5 (y_{aj}^k - y_{aj}^p + y_{aj-1}^k - y_{aj-1}^p) \cdot h_{y.k} + \\ + (|z_{aj}^k - z_{aj-1}^k|) / (\sin(\alpha_k) \cdot h_{kp}); \quad (4.5.15)$$

$$S_{t.y.p} = (|z_{aj}^p - z_{aj-1}^p|) / (\sin(\alpha_p) \cdot h_{yp}), \quad (4.5.16)$$

где $N_{\text{под}}$ — количество подступов. Соотношение (4.5.15) оценивает потери в кровле пласта и в кровле уступа, а (4.5.16) — в почве пласта. Засорение от внутренних пропластков определяется по (4.5.14). В целом алгоритм вычисления потерь и засорения в общей сложности представлен двумя шагами:

а) вычисление угла падения приконтактной поверхности в этапе и выбор расчетной схемы в зависимости от исходной информации, представленной в макете, и исчисленного угла падения;

б) непосредственное вычисление потерь и засорения у границ одной из приконтактных зон по приведенным выражениям.

Оба шага в каждом этапе выполняются два раза, т. е. для кровли и почвы пластов.

Таким образом, потери и засорение угля определяются только в приконтактных слоях и в целом за этап.

При делении пласта на уступы засорение от внутренних прослоев не определяется для каждого уступа, так как при валовой выемке прослоя отсутствует информация о пространственной ориентации прослоя. Если пропласток породы разрабатывается селективно, необходима информация об его пространственном расположении.

§ 4.6. ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ И ДЛИН ФРОНТА ПО ЭТАПАМ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Назначение задачи — вычисление следующих объемов:

- угля по пластам, уступам, слоям в каждом этапе;
- теряемого угля по пластам и этапам;
- пород, засоряющих уголь, по пластам и этапам;
- угля по маркам, пластам и этапам;
- промышленных запасов по пластам и этапам;
- подготовки новых горизонтов.

Кроме объемов вычисляются коэффициенты вскрыши по этапам отработки пластов.

Для вычисления объемов должны быть известны площади в элементарных контурах на одноименных горизонтах в этапах и координаты центров тяжести контуров при радиальных профилях.

В основу алгоритма вычисления объемов положен широко применяемый способ подсчета запасов по вертикальным секущим плоскостям. Но так как объемы вычисляются дифференцированно, возникают некоторые особенности, связанные с их пространственным расположением. В частности, определение объемов в торцах карьера в отличие от его средней части характеризуется некоторыми дополнительными элементами (отличительными) в алгоритмах. Имеются также отличительные элементы в вычислениях объемов верхней зоны и глубинной части карьера.

Основа алгоритма составлена для средней части карьера и слагается из следующих элементарных операций:

- вычисление значения площади (S_v) i -го единичного контура в j -й этап на v -м УГП;
- то же, но выделение площади (S_{v-1}) на $(v-1)$ -м УГП;
- вычисление координат центров тяжести этих площадей;
- определение кратчайшего расстояния между центрами тяжести;
- непосредственное вычисление объема на i -м горизонте в j -й этап.

Ввиду того что площади S_v и S_{v-1} единичных контуров могут значительно отличаться по абсолютной величине, для вычисления объемов используем формулу

$$V_{ij} = \frac{D_{i,j}}{3} [(S_{i,j})_v + (S_{i,j})_{v-1} + \sqrt{(S_{i,j})_v \cdot (S_{i,j})_{v-1}}], \quad (4.6.1)$$

где $D_{i,j}$ — кратчайшее расстояние между центрами тяжести единичных контуров на смежных УГП; $(S_{i,j})_v$, $(S_{i,j})_{v-1}$ — площади единичных контуров, расположенные по нормали к кратчайшему расстоянию.

Расстояние $D_{i,j}$ определяется в зависимости от расположения смежных УГП. Если объемы вычисляются между параллельными УГП, то $D_{i,j} = d_v + v - 1$, т. е. расстояние постоянно для каждого горизонтального слоя и всех этапов и равно расстоянию между смежными v -м и $(v-1)$ -м УГП. Если объемы вычисляются между

парой радиальных профилей, то в (4.6.1) на место $D_{i,j}$ подставляется расстояние между центрами элементарных контуров, расположенных на двух смежных профилях при одинаковых i и j ,

$$D_{i,j} = \sqrt{(y_{i,j})_v^2 + (y_{i,j})_{v-1}^2 - 2(y_{i,j})_v \cdot (y_{i,j})_{v-1} \cdot \cos(\omega)}, \quad (4.6.2)$$

где $(y_{i,j})_v$, $(y_{i,j})_{v-1}$ — y -вые координаты центров единичных контуров на v -м и $(v-1)$ -м УГП в j -й этап i -го горизонта (слоя); ω — угол между радиальными УГП.

Значения единичных площадей в (4.6.1) при сходящихся профилях необходимо корректировать, так как объемы в этом случае вычисляются по формуле усеченной пирамиды с параллельными основаниями. Поэтому площади необходимо «развернуть» перпендикулярно линиям между центрами единичных контуров.

Для этой цели определяются поправки по следующим выражениям:

$$k_{\pi} = (y_{i,j})_v \cdot \sin(\omega) / D_{i,j}; \quad (4.6.3)$$

$$k_{\pi} = (y_{i,j})_{v-1} \cdot \sin(\omega) / D_{i,j}. \quad (4.6.4)$$

При известных k_{π} и k_{π} искомые площади, расположенные нормально к кратчайшему расстоянию между центрами единичных контуров, определяются так:

$$(S_{i,j})'_v = k_{\pi} \cdot (S_{i,j})_v; \\ (S_{i,j})'_{v-1} = k_{\pi} \cdot (S_{i,j})_{v-1}. \quad (4.6.5)$$

Таким образом, все составляющие формулы вычисления объемов (4.6.1) найдены.

Длина фронта работ на уступах (слоях) вычисляется в конце каждого этапа разработки при известных координатах центра тяжести площадей $(y_{i,j})_v$ и $(y_{i,j})_{v-1}$ i -уступов на v -м и $(v-1)$ -м профилях в j -й этап. Тогда длина фронта между двумя профилями определится по выражениям

$$d_{i,j} = \sqrt{(y_{i,j})_v^2 + (y_{i,j})_{v-1}^2 + d^2}; \quad (4.6.6)$$

$$d_{i,j} = \sqrt{(y_{i,j})_v^2 + (y_{i,j})_{v-1}^2 - 2(y_{i,j})_v \cdot (y_{i,j})_{v-1} \cdot \cos(\omega)}, \quad (4.6.7)$$

где d — расстояние между двумя смежными профилями при параллельном расположении; ω — угол между двумя смежными профилями при радиальном расположении.

Выражение (4.6.6) используется для вычисления длины фронта уступа (слоя) между парой смежных, параллельно расположенных профилей, а (4.6.7) — между радиальными.

Как (4.6.1), так и (4.6.6), (4.6.7) используются при вычислении в средней части карьера, т. е. тогда на обоих смежных профилях i -го уступа в j -й этап его развития в сечении имеются площади.

В общем случае надо полагать, что уступы могут прерываться по длине фронта из-за пересеченности рельефа, выклинивания

пластов, изменения мощности между пластами, различия в высотных отметках у дна карьера, погашения уступов в торцевом борту.

Погашение уступов в торцевом борту карьера может происходить по причине косогорного строения рельефа или из-за «встречи» уступов с торцевой поверхностью. Обе ситуации неравнозначны с точки зрения моделирования. Для проведения вычислений их необходимо распознавать.

С этой целью воспользуемся методом вертикальных сечений, ориентированных по линии фронта уступа между парой смежных профилей. Известны следующие элементы:

— высотные отметки рельефа и координаты борта на v -м и $(v-1)$ -м профилях;

— координаты следа пересечения торцевой поверхности с v -м и $(v-1)$ -м профилями (см. § 4.4).

Каждый i -й уступ на v -профиле в j -й этап разработки фиксируется координатами $[(y_{i,j})_v, (y_{i,j-1})_v]$. По аналогии на профиле $v-1$ его границы заключены в пределах $[(y_{i,j})_{v-1}, (y_{i,j-1})_{v-1}]$. На основании этих данных получим координаты центров уступов на v -м и $(v-1)$ -м профилях

$$\begin{aligned} y_{\text{пп}} &= 0,5((y_{i,j})_v + (y_{i,j})_v); \\ y_{\text{л}} &= 0,5((y_{i,j})_{v-1} + (y_{i,j-1})_{v-1}). \end{aligned} \quad (4.6.8)$$

Проведем через $y_{\text{пп}}$ и $y_{\text{л}}$ вертикальную плоскость D и вычислим значение высотных отметок на рельефе и следе торцевого борта ($zR_v, zR_{v-1}, zT_v, zT_{v-1}$), расположенных на пересечении профилей $v, v-1$ в плоскости P (см. рис. 4.11).

Определим значение разности

$$\delta = zR_v - zT_v. \quad (4.6.9)$$

В зависимости от знака δ возможны такие случаи: 1) $\delta \geq 0$; 2) $\delta < 0$.

Если $\delta \geq 0$, то уступ погашается торцевым бортом, а при $\delta < 0$ он выклинивается из-за косогорного рельефа.

Формулу вычисления объемов (4.6.1) представим двумя членами:

$$A = S_{i,v-1} + S_{i,v} + \sqrt{S_{i,v} \cdot S_{i,v-1}}, \quad (4.6.10)$$

$$V = \frac{D}{3} A. \quad (4.6.11)$$

В том случае, если погашение уступа в торцевом борту не происходит, т. е.

$$S_{i,v-1} > 0 \wedge S_{i,v} > 0, \quad (4.6.12)$$

то объемы вычисляются по формуле (4.6.1).

Если происходит погашение уступа, то проверяется условие

$$S_{i,v-1} = 0 \vee S_{i,v} = 0. \quad (4.6.13)$$

Тогда выражение (4.6.10) в зависимости от того, какая часть условия (4.6.13) выполняется, запишется как

$$A = \begin{cases} 3 \cdot S_{i,v-1}, & \text{если } S_{i,v} = 0; \\ 3 \cdot S_{i,v}, & \text{если } S_{i,v-1} = 0. \end{cases} \quad (4.6.14)$$

При получении (4.6.14) из (4.6.10) с учетом (4.6.13) принято условие: если уступ погашается, то на одном из профилей его площадь равна нулю. Однако для вычисления объемов принимается, что площадь уступа в обоих сечениях одинакова, но распространяется по длине, не равной расстоянию между смежными профилями.

Примем обозначения:

$$\begin{aligned} z_2 &= zT_{v-1}; z_1 = zT_v, \text{ если } \delta \geq 0; \\ z_1 &= zR_v; z_2 = zR_{v-1}, \text{ если } \delta < 0. \end{aligned} \quad (4.6.15)$$

Тогда для вычисления объемов в торцевом борту по (4.6.11) с учетом (4.6.14) величина D определится как

$$D = \begin{cases} d \left[1 - \frac{|z_1 - 0,5(z_{i,v} - z_{i-1,v})|}{|z_1 - z_2|} \right], & \text{если } \varepsilon(d) > 1; \\ \sqrt{y_{\pi}^2 + y_{\Pi}^2} \left[1 - \frac{|z_1 - 0,5(z_{i,v} - z_{i-1,v})|}{|z_1 - z_2|} \right], & \text{если } \varepsilon(d) < 1, \end{cases} \quad (4.6.16)$$

где $\varepsilon(d)$ — целое от числа в скобках расстояние или угол между парой смежных профилей; $z_{i,v}$; $z_{i-1,v}$ — высотные отметки уступа, для которого вычисляются объемы.

Таким образом на основе (4.6.9), (4.6.15) определяется причина погашения уступа в торцевом борту карьера, после чего с учетом (4.6.15) делаются вычисления по (4.6.16), т. е. находится расстояние между крайними сечениями погашаемой части уступа, расположенным между парой смежных профилей. Далее, с учетом (4.6.15) и (4.6.11), вычисляются объемы по каждому уступу вскрыши, угля, а также потери угля, засорение от внутренних и внешних пород в торцевом борту карьера.

Длина фронта уступа в торцевом борту при условии, что

$$S_{i,v} = 0 \vee S_{i,v-1} = 0,$$

определяется следующим расчетным выражением:

$$l_{i,j} = \sqrt{(y_{i,j})_{v-1}^2 + (y_{i,j})_v^2} \left[1 - \frac{|0,5(z_{i,v} - z_{i-1,v}) - z_1|}{z_1 - z_2} \right]. \quad (4.6.17)$$

По (4.6.17) вычисляется также длина фронта уступа, расположенного в центральной части разреза (вне торца) при условии, что произошло его выклинивание в косогорной зоне рельефа, т. е. при

$$S_{i,v} = 0 \wedge S_{i,v-1} = 0.$$

Объем выклинившейся части уступа находится по (4.6.11) с учетом (4.6.14) и (4.6.17) при условии $z_1 = zR_v$; $z_2 = zR_{v-1}$.

Таким образом, указанные выражения позволяют вычислять объемы и длины фронта в любой зоне разреза (как торцевой, так и средней). Необходимо отметить, что приведенные здесь расчетные выражения используются для определения объемов любых показателей, будь то вскрыша или уголь, потери и засорение.

§ 4.7. ЗАДАЧИ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ЗОНЕ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ

Горно-геометрические расчеты в любой зоне карьера представляют собой расчет емкости и длины фронта работ уступов или ярусов в динамике развития этой зоны. Автоматизированные расчеты указанных параметров предполагают наличие в памяти машины модели рассматриваемой зоны. Так, расчетам в забойной и вскрышной зонах предшествовало создание математических моделей месторождения и технологических зон в динамике их обработки. Исходя из требований единства информационной базы САПР модель внутреннего отвала должна базироваться на той же модели месторождения, что и модели вскрышной и добычной зон.

В § 2.6 при формализации задачи расчета горно-геометрических параметров внутреннего отвала последний был представлен как некоторая пространственная фигура, образованная в результате пересечения следующих поверхностей: $S_{\text{под}}$ — подотвальная поверхность; S_0 — поверхность борта отвала в начальном положении (исходный борт); S_p — поверхность рабочего борта отвала; $S_{\text{т.л.}}, S_{\text{т.п.}}$ — поверхности торцевого борта отвала на левом и правом флангах разреза; $S_{\text{я}}$ — поверхность последнего яруса отвала.

Динамика отвала определяется динамикой развития рабочей зоны карьера, описываемой множеством $\{f_i(x, y, z), i = 1, \dots, k\}$ дискретных кривых, заданных характерными точками на профилях модели месторождения, и, следовательно, может быть оценена при помощи множества $\{S_{pi}(x, y, z), i = 1, \dots, k\}$ поверхностей рабочего борта отвала. Каждая из поверхностей S_{pi} описывает рабочий борт отвала в момент времени t , которому соответствует положение рабочей зоны карьера $f(x, y, z)$.

Таким образом, моделирование внутреннего отвала сводится к построению поверхностей $S_0, S_{\text{т.л.}}, S_{\text{т.п.}}, S_{pi}, S_{\text{я}}$, а расчет его горно-геометрических параметров — к расчету объема пространственной фигуры, образованной в результате соответствующего пересечения этих поверхностей.

Дискретность исходной информации и класс математической модели месторождения предопределили структуру модели внутреннего отвала и характер решаемых задач. Невозможность точного отображения фланговых границ отвала на вертикальных профилях привела к необходимости разделения тела отвала на

Моделирование развития отвальной зоны разреза на профиях модели месторождения



Расчет площадей, формируемых на профилях в процессе перемещения борта S_{pi}^h по этапам и ярусам отвала



Расчет емкостей и длин фронта работ по ярусам и этапам развития отвала между смежными профилями модели



Моделирование торцевых поверхностей отвала $S_{т. л}(x, y, z)$, $S_{т. п}(x, y, z)$ на левом и правом флангах соответственно



Расчет емкостей, длин фронта работ и номеров базовых профилей ярусов отвала по этапам его развития в торцах



Расчет горно-геометрических параметров отвала и формирование информации для последующих задач САПР

Рис. 4.12. Схема расчета горно-геометрических параметров отвала.

центральную и торцевые зоны и, как следствие, к разработке вычислительного аппарата для каждой из этих зон. На рис. 4.12 приведена общая схема расчета параметров внутреннего отвала автоматизированным путем. Ниже приводятся методы решения каждой из перечисленных задач, ориентированные только на использование ЭВМ.

§ 4.8. АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В § 2.6 и 4.7 отмечалось, что пространственное моделирование динамики развития внутренних отвалов (построение поверхностей $\{S_{pi}(x, y, z)\}$) может быть сведено к определению следов этих поверхностей $\{S_{pi}^h(y, z)\}$ на профилях. Затем плоское решение при помощи специальных методов расчета разворачивается в пространственное и рассчитываются горно-геометрические параметры отвала в торцах.

Для получения плоского решения на профиле необходима следующая информация.

1. Данные о гипсометрии пласта, на почве которого возводятся внутренние отвалы, заданные в виде множеств

$$\mathcal{F}_{\text{пв}}(y, z) = \{(y_i^v, z_i^v), i = 1, \dots, i_v\}; \quad \mathcal{F}_{\text{кв}}(y, z) = \{(y_j^v, z_j^v), j = 1, \dots, j_v\}$$

характерных точек почвы и кровли пласта на профилях $v = 1, \dots, k$.

2. Данные о топографии рельефа, на котором возводятся приконтурные отвалы

$$\mathcal{F}_{\text{рв}}(y, z) = \{(y_k^v, z_k^v), k = 1, \dots, k_v\}, \quad v = 1, \dots, v_k.$$

3. Данные, характеризующие физико-механические свойства подотвальной поверхности, выраженные в виде зависимости устойчивых углов отвала γ_y от высоты H , угла наклона подотвальной поверхности γ и типа основания μ

$$\gamma_y = f(\gamma, H, \mu); \quad \gamma = 0 \div 15^\circ; \quad H = H_{\min} \div H_{\max}; \quad \mu = 1 \div 2.$$

Информация 1—3 характеризует геологию месторождения на профиле. Кроме нее, для моделирования отвала необходима горно-техническая информация. Ее представляют следующие данные.

1. Параметры конструкции наклонных ярусов

$$\Pi_{\text{п}} = \{\Pi_{\text{п},i}, \beta_i, H_i, N\}; \quad i = 1, \dots, N; \quad N = 1, \dots, 10;$$

где $\Pi_{\text{п},i}$ — ширина рабочей площадки на ярусе i ; β_i — угол откоса яруса; H_i — высота яруса; N — количество заданных ярусов.

2. Параметры конструкции горизонтальных ярусов

$$\Pi_{\text{г}} = \{\Pi_{\text{г},j}, \beta_j, z_j^0, N_2\},$$

где $\Pi_{\text{г},j}$ — ширина рабочей площадки яруса j ; β_j — угол откоса яруса; z_j^0 — высотная отметка яруса; N_2 — количество горизонтальных ярусов.

3. Координаты начала отсыпки приконтурного отвала (если он есть) $y_{\text{кв}}$.

4. Координаты $(y_{\text{исв}}, z_{\text{исв}})$ исходного положения фронта работ.

5. Координаты этапов (точек пересечения кривых $f(x, y, z)$, характеризующих положения фронта горных работ) и их количество

$$\Theta v = \{(y_{\text{этк}}^v, z_{\text{этк}}^v), k = 1, \dots, k\}.$$

6. Граница дна разреза на почве пласта $Y_{\text{дн}}$.

7. Дополнительные данные об элементах конструкции рабочего борта отвала на профиле

$$L = \{l_0^{\text{п}}, l_0^{\text{г}}, l_i^{\text{п}}, l_j^{\text{г}}\},$$

где l_0^h — отставание наклонных ярусов от фронта работ по добыче; l_0^r — отставание горизонтальных ярусов от верхней бровки наклонных; l_i^h, l_j^r — возможное отставание между наклонными ($i = 1, i$) и горизонтальными ($j = 1, j$) ярусами отвала.

8. Угол наклона нерабочего борта карьера α .

9. Наименьшая допустимая высота отсыпки яруса HH .

10. Наибольшая допустимая высота развития отвала H_{\max} .

Алгоритм моделирования развития внутреннего отвала на профиле предполагает создание моделей следов двух поверхностей: $S_{n_i}^v$ — след пересечения поверхности наклонного яруса с плоскостью профиля v ; S_0^v — след пересечения поверхности исходного борта внутреннего отвала с профилем v и расчет координат появления горизонтальных ярусов, если $\Pi_r \neq 0$.

Расчет координат характерных точек $S_{n_i}^v$ производится на основании информации о \mathcal{F}_{nv} , \mathcal{F}_{kv} и Π_n . При формировании поверхностей $S_{n_i}^v$ учитываются следующие исходные посылки:

— поверхность яруса формируется согласно заданной высоте и повторяет подотвальный поверхность F_{nv} ;

— поверхность яруса формируется как и в первом случае, но с учетом превышения поверхности кровли пласта.

Геометрический смысл задачи сводится к вычислению координат линий, расположенных на заданном расстоянии от почвы пласта. Первая (снизу) линия от почвы пласта (верхняя граница первого яруса) определяется на основе заданных координат почвы и высот (по нормали) с помощью процедуры PARL (см. 3.1.10). Далее для всех других ярусов вычисления повторяются, причем в качестве исходных координат используются координаты линии почвы пласта, а в качестве высоты — суммарная высота ярусов от почвы до данного яруса. В результате получим разграничительные линии для каждого яруса (штриховые линии на рис. 4.13).

Для второго случая определения границ наклонных ярусов используется тот же принцип, но найденные высотные отметки (\bar{z}_i) сравниваются с высотной отметкой кровли (z_i^k) в точке \bar{y}_i . При условии $\bar{z}_i^k < \bar{z}_i$ высотная отметка яруса принимает значение высотной отметки кровли.

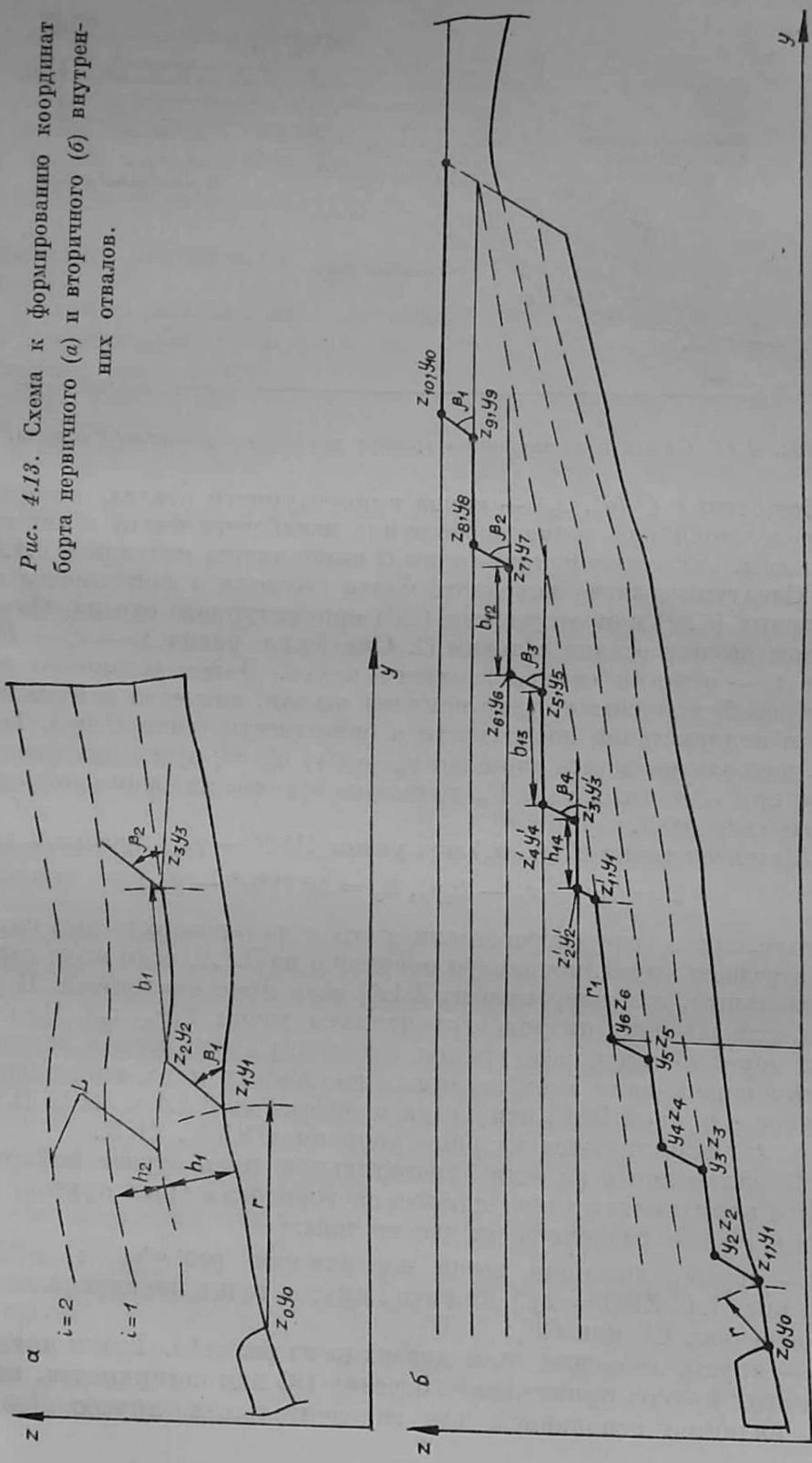
В результате вычислений формируются одномерные матрицы координат ярусов отвала

$$YRO = \{\bar{y}_{i,ii}, i = 1, \dots, ik; ii = 1, \dots, i_{1,h}\};$$

$$ZRO = \{\bar{z}_{i,ii}, i = 1, \dots, ik; ii = 1, \dots, i_{1,h}\}.$$

Вычисление координат исходного борта внутреннего отвала. Исходный борт отвала (рис. 4.14) представляет собой ломаную линию BCF_1 (при наличии приконтурного отвала) или BCF (при отсутствии приконтурного отвала). Отрезок BC — нерабочий борт карьера, точка B (y_b, z_b) — исходное положение фронта

Рис. 4.13. Схема к формированию координат борта первичного (а) и вторичного (б) внутренних отвалов.



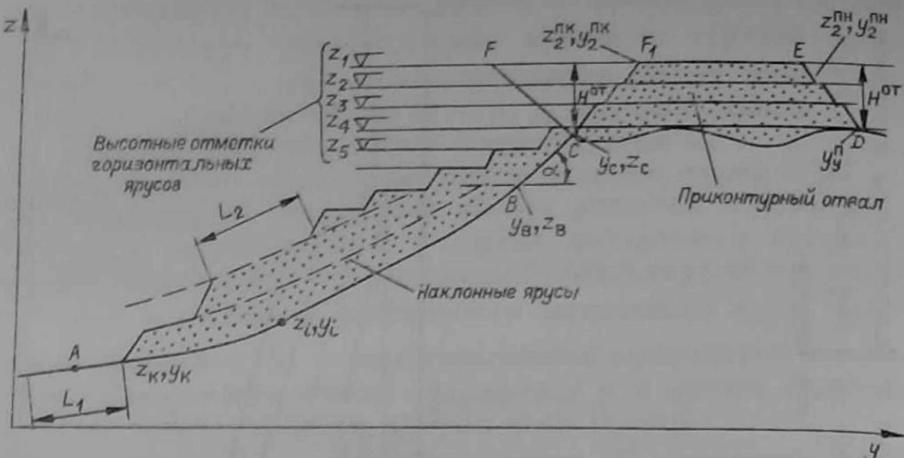


Рис. 4.14. Схема к вычислению границ исходного положения отвала.

работ, точка $C (y_c, z_c)$ — конец приконтурного отвала, которая определяется как точка пересечения нерабочего борта с линией рельефа. Расчет координат точки C выполняется операцией 3.1.6.

Следующее звено исходного борта строится в зависимости от наличия (CF_1) или отсутствия (CF) приконтурного отвала. Определим высоту отвала в точке C . Она будет равна $z_1 - z_c = H_0$, где z_1 — отметка самого верхнего яруса. Далее установим допустимый устойчивый угол наклона отвала, для чего найдем наклон подотвальной поверхности в окрестности точки $C (\gamma_c)$. Тогда, воспользовавшись данными $\gamma_y = f(\gamma, H, \mu)$, путем интерполяции при известных γ_c и H_0 вычислим искомое значение допустимого угла (γ_{yc}).

Затем из точки $C (y_c, z_c)$ под углом $(180^\circ - \gamma_{yc})$ проводим луч

$$z = k_2 y + z_c - k_2 y_c, k_2 = \operatorname{tg} (180^\circ - \gamma_{yc})$$

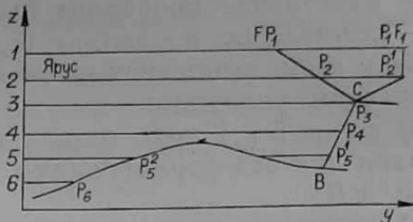
и определяем точку пересечения этого луча с поверхностью самого верхнего яруса, используя операцию из 3.1.1, если ярус горизонтальный, или операцию из 3.1.6, если ярус наклонный. В результате решения получаем координаты точки $F(y_F, z_F)$. На стадии определения конфигурации исходного борта отвала находим точки пересечения всех заданных наклонных и горизонтальных ярусов с кривой BCF , используя операции из 3.1.1 и 3.1.6. В результате формируются матрицы координат УКК, ЗКК.

В дальнейших расчетах значительную роль играет информация о координатах точек появления горизонтальных ярусов, которые можно разделить на две группы:

— ярусы, лежащие выше поверхности рельефа $z_i^0 \geq ZPO$. (На рис. 4.14 $ZPO = z_4$.) Для этих ярусов точки появления лежат на отрезках CF или CF_1 ;

— ярусы, лежащие ниже поверхности рельефа. Точки появления этих ярусов принадлежат отрезку BC или поверхности, которая является основанием для горизонтальных ярусов (почва

Рис. 4.15. Схема к вычислению координат точек начала строительства горизонтальных ярусов внутреннего отвала.



пласта или поверхность последнего отстроенного наклонного яруса).

В случае, если подотвальная поверхность горизонтальных ярусов представляет собой монотонно убывающую (возрастающую) функцию, точка появления будет одна, в противном случае — несколько. Показанные на рис. 4.15 возможные случаи возникновения горизонтальных ярусов хорошо иллюстрируют одно- ($P_1 \div P_4, P_6$) и двухразовое (P_5^1, P_5^2) появление горизонтальных ярусов.

Расчет координат точек появления горизонтальных ярусов выполняется на стадии формирования исходного борта внутреннего отвала. После нахождения уравнения отрезка BC для каждого из горизонтальных ярусов i определяется уравнение прямой яруса $z = z_i^0$ по заданным отметкам z_i^0 . Используя операцию из 3.1.1, вычисляем координаты (yp, zp) точки пересечения следа поверхности яруса с прямой BC . Если $(YP, ZP) \in [BC]$, то ее координаты запоминаются в Y_{\max}, Z_{\max} , если нет, то ищем точку пересечения прямой $z = z_i^0$ с подотвальной поверхностью горизонтальных ярусов. Расчет производится операцией из 3.1.6. В случае отсутствия приконтурных отвалов точки появления ярусов определяются как точки пересечения прямых $z = z_i^0$ и CF с применением операции из 3.1.1. По мере удаления рабочего борта внутреннего отвала от исходного положения производится корректировка матриц Y_{\max}, Z_{\max} для тех ярусов, которые имеют несколько точек появления.

Конструирование рабочего борта внутреннего отвала в плоскости профиля. Как отмечалось выше, основой модели пространственного положения отвала в динамике его развития являются поверхности рабочего борта $S_{pi}(x, y, z)$. В модели они описываются в виде множества $\{S_{pi}^k(y, z), k = K(x)\}$ следов пересечения с профилями. В плоскости профиля $S_{pi}^k(y, z)$ представляют собой ломаные кривые, состоящие из чередующихся отрезков: откос яруса, рабочая площадка. Таким образом, для дискретного описания кривой $S_{pi}^k(y, z)$ достаточно найти координаты граничных точек отрезков, технологическое содержание которых — верхние и нижние бровки ярусов отвала на профилях.

Следовательно, процесс построения борта отвала в каждом этапе (году) ($i = 1, \dots, k$) включает следующие чередующиеся основные процедуры:

- вычисление координат (y_1, z_1) нижней бровки яруса j ;
- вычисление координат (y_2, z_2) верхней бровки яруса j .

При этом вычисляемые координаты должны удовлетворять следующим условиям:

- каждый (j) ярус отвала должен начинаться при наличии условия для его формирования, характеризуемого начальной высотой H ;
- формирование яруса j не должно производиться, если высота отвала превысит максимально заданную H_{\max} ;
- борт отвала (координаты бровок яруса j в этапе i) должен опережать борт, отстроенный в предыдущем этапе ($i - 1$);
- средний угол откоса рабочего борта отвала должен быть устойчив.

Каждый из ярусов отвала формируется на некоторой подстилающей поверхности, которая может быть почвой пласта или поверхностью предыдущего яруса. В любой заданный момент времени ярус занимает вполне определенное положение на этой поверхности, диктуемое комплексом условий, накладываемых на конструкцию отвала:

— в случае формирования яруса на поверхности почвы пласта положение его основания определяется расположением рабочей зоны в данный момент времени и величиной отставания отвала от рабочей зоны, призванной обеспечить безопасность ведения работ;

— при формировании яруса на поверхности предыдущего его положение определяется верхней бровкой предыдущего яруса и размерами площадки, которую необходимо оставить, чтобы обеспечить предусмотренную технологию отсыпки яруса, возможность транспортирования породы и устойчивость борта.

Таким образом, задачу расчета координат нижней бровки яруса можно сформулировать следующим образом. На некоторой линии, характеризующей след на профиле подстилающей поверхности яруса j , представленной в табулированном виде, имеются точки (y_0, z_0) . Необходимо получить на этой линии другую точку (y_1, z_1) , находящуюся на расстоянии r от заданной, при этом вектор y_0, y_1 должен быть направлен в сторону, противоположную перемещению фронта работ (см. рис. 4.13).

Процедура расчета координат (y_1, z_1) нижней бровки яруса состоит из следующих шагов.

1. Выбор исходных точек. Если ярус $j = 1$, то в качестве точки (y_0, z_0) берутся координаты точки этапа (года).

Если $j \neq 1$, в качестве (y_0, z_0) берутся координаты верхней бровки предыдущего отстроенного яруса.

2. Определение величины r — отставания нижней бровки яруса j от (y_0, z_0) . Если $j = 1$, то r равно величине отставания отвальной зоны от добычной $r = l_0^n$. Если $j \neq 1$, r вычисляется по одной из нижеприведенных формул в зависимости от вида формируемого яруса j и яруса, лежащего в его основании ($j - 1$):

$\max \{\Pi_{p, p, j-1}, l_i^H\}$ — ярус j — наклонный, $(j-1)$ — наклонный;

$\max \{\Pi_{p, p, j-1}, l_i^H\}$ — ярус j — горизонтальный,
 $(j-1)$ — горизонтальный;

$\max \{\Pi_{p, p, j-1}, l_0^H, l_i^H\}$ — ярус j — горизонтальный,
 $(j-1)$ — наклонный.

3. Координаты (y_1, z_1) нижней бровки яруса j определяются путем совместного решения уравнений

$$\begin{cases} z = k_i y + c_i; \\ (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = r^2. \end{cases}$$

Уравнение $z = k_i y + c_i$ является приближением i -го звена табулированной кривой следа подъярусной поверхности на профиле в области ее узловых точек $(y_{i-1}, z_{i-1}), (y_i, z_i)$, и, следовательно, $k_i = (z_i - z_{i-1})/(y_i - y_{i-1})$, $c_i = z_{i-1} - k_i y_{i-1}$. Решая систему уравнений, получим

$$y_{1,2} = \frac{a \cdot [a \cdot y_0 + b \cdot z_0] - b \cdot (y_i z_{i-1} - z_i y_{i-1})}{a^2 + b^2} \pm \pm a \sqrt{R^2 - \left[\frac{a(z_{i-1} - z_0) - b(y_{i-1} - y_0)}{a^2 + b^2} \right]^2};$$

$$z_{1,2} = k_i y_{1,2} + c_i; a = y_i - y_{i-1}; b = z_i - z_{i-1}.$$

При выполнении соотношений

$$((y_{1(2)} - y_i)(y_{1(2)} - y_{i-1}) < 0) \wedge ((z_{1(2)} - z_i)(z_{1(2)} - z_{i-1}) < 0) \wedge ((y_0 - y_{1(2)})) > 0)$$

для одного из корней $(y_1, z_1), (y_2, z_2)$ системы нижняя бровка яруса j считается найденной.

Прежде чем перейти к расчету координат верхней бровки яруса j , необходимо проверить выполнение условий в) и г) конструирования борта отвала.

Проверка условия в) базируется на вычислении ориентированного расстояния от точки до кривой, отображающей рабочий борт отвала в предыдущем этапе $(j-1)$. Воспользуемся известным свойством ориентированного расстояния δ от точки до прямой $Ay + Bz + C = 0$. Если $C = 0 \wedge \text{sign } C = \text{sign } \delta$, то точка и начало координат лежат по одну сторону от прямой; если $C \neq 0 \wedge \text{sign } C = \text{sign } \delta$, то точка и начало координат лежат по разные стороны от прямой. Введем аналогичное определение для точки и табулированной ломаной $\{(y_i, z_i), i = 1, \dots, N\}$. Будем понимать под расстоянием от точки до кривой кратчайшее из расстояний от точки до отрезков данной кривой. При этом присвоим расстоянию знак минус, если при обходе кривой от $i = 1$ до $i = N$ начало координат и точка лежат по одну сторону кривой, плюс — в противном случае. Такой принцип реализован в про-

цедуре 3.1.2, воспользовавшись которой, вычислим расстояние δ от (y_1, z_1) до рабочего борта отвала в этапе $(j-1)$. Если $\delta < 0$ (поскольку фронт работ отвала движется в сторону начала координат), условие в) выполнено. В противном случае ярус $(j-1)$ не может формироваться. Конструирование борта в этапе i прекращается.

Если (y_1, z_1) — нижняя бровка первого отстраиваемого от почвы пласта яруса, то проверяется условие возможности возведения отвала на подотвальной поверхности. Вычисляется угол наклона поверхности между точкой (y_1, z_1) этапа i и соответствующей точкой этапа $(i-1)$

$$\gamma = \arctg \frac{z_{1,i-1} - z_{1,i}}{y_{1,i-1} - y_{1,i}}$$

и проверяется условие $\gamma < 15^\circ$. Если условие выполнено — конструирование продолжается, нет — переходим к расчету следующего этапа.

Выполнение условия г) проверяется после расчета координат верхней бровки яруса j , так как средний угол наклона рабочего борта отвала представляет собой угол наклона прямой, соединяющей верхнюю бровку яруса j с основанием самого нижнего яруса. Для удовлетворения условия устойчивости положение нижней бровки яруса j претерпевает изменение — смещается в сторону предыдущего борта отвала. В результате может возникнуть ситуация неудовлетворения условия в) и расчет в этапе i прекращается. Последним сформированным ярусом в этапе i будет ярус $(j-1)$.

Следующий элемент конструкции яруса — верхняя бровка — представляет собой точку последнего (в этапе i) положения поверхности яруса j . Эта точка принадлежит поверхности яруса, и угол наклона прямой, проведенной через верхнюю и нижнюю бровки яруса j , должен быть равен углу откоса j . Кроме того, формируемый ярус должен удовлетворять условиям а), б) и положение его верхней бровки должно быть таким, чтобы удовлетворялось условие г).

Процедура расчета координат верхней бровки яруса $j(y_2, z_2)$ состоит из следующих шагов (см. рис. 4.13, а).

1. Из точки (y_1, z_1) под углом β_j , равным углу откоса яруса j , проводится прямая

$$z = ky + z_1 - ky_1. \quad (4.8.1)$$

В зависимости от типа (наклонный, горизонтальный) яруса j выполняется шаг 2 или 3.

2. Ярус j — наклонный. Уравнение следа поверхности яруса на профиле представляет собой табулированную кривую L . Точка (y_2, z_2) определяется как точка пересечения прямой (4.8.1) с кривой L с помощью процедуры из 3.1.6.

3. Ярус j — горизонтальный. Горизонтальные ярусы заданы высотными отметками в одномерной матрице ZO . Уравнение по-

Рис. 4.16. Схема к расчету устойчивого угла наклона борта отвала.

верхности яруса j имеет вид $z = ZO_j$. Точка (y_2, z_2) определяется как точка пересечения прямых (4.8.1) и $z = ZO_j$ с использованием процедуры из 3.1.1.

4. Для найденной точки (y_2, z_2) проверяется удовлетворение условия а), т. е. достиг ли ярус j заданной минимальной высоты HH . Рассмотрим прямоугольный треугольник, две вершины которого есть точки (y_1, z_1) , (y_2, z_2) , а отрезок прямой, проходящей через эти вершины, — гипотенуза. Очевидно, что в качестве высоты яруса j в точке (y_2, z_2) можно принять величину катета, лежащего против угла β_j откоса яруса (для горизонтальных ярусов это точная высота, для наклонных может быть небольшое отклонение). Высоту яруса j вычисляем по формуле $H = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$. Проверяем условие $H > HH$. Если условие выполняется, переходим к выполнению шага 5, если нет — переходим к шагу 1 для яруса $(j + 1)$.

5. Необходимо установить: не станет ли высота отвала с отстроенным ярусом j выше заданной максимальной высоты. Высота отвала H в точке (y_2, z_2) рассчитывается как длина перпендикуляра, опущенного из точки (y_2, z_2) на почву пласта (рис. 4.16). Поскольку линия почвы пласта представлена табулированной функцией в матрицах YOO , ZOO , среди всех отрезков этой линии определяем тот, для которого выполняется условие $YOO(l) \leq y_2 \leq YOO(l + 1)$. Уравнение прямой, которой принадлежит отрезок, можно представить в виде

$$z = ky + ZOO(l) - k \cdot YOO(l); k = \frac{ZOO(l + 1) - ZOO(l)}{YOO(l + 1) - YOO(l)}. \quad (4.8.2)$$

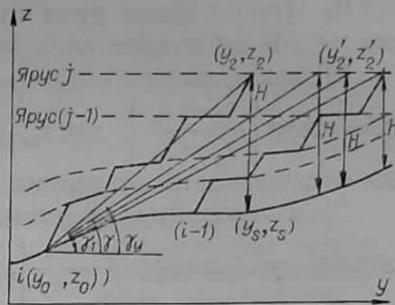
Уравнение перпендикуляра, опущенного из (y_2, z_2) на (4.8.2),

$$z = \frac{1}{k} y + z_2 - \frac{1}{k} y_2. \quad (4.8.3)$$

Точка пересечения (y_s, z_s) прямых (4.8.2) и (4.8.3) определяется с использованием процедуры 3.1.1. Высота отвала в точке (y_2, z_2) рассчитывается по формуле

$$H = \sqrt{(y_2 - y_s)^2 + (z_2 - z_s)^2}. \quad (4.8.4)$$

Если условие $H \leq H_{\max}$ не выполняется, расчет для этапа i прекращается. В противном случае переходим к шагу 6.



6. Проверяется угол отвала на устойчивость (рис. 4.16). Эта операция включает следующие моменты:

а) вычисление среднего угла наклона конструкции отвала

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left| \frac{z_2 - z_0}{y_2 - y_0} \right|, \text{ где } z_0, y_0 \text{ — координаты нижней бровки первого отстроенного от почвы пласта яруса;}$$

б) вычисление среднего угла наклона подотвальной поверхности $\gamma = \operatorname{arctg} \left| \frac{z_0 - z_s}{y_0 - y_s} \right|$, где z_s — высотная отметка подотвальной поверхности в точке y_s ;

в) вычисление вертикальной высоты отвала в точке (y_2, z_2) .

Рассчитав данные о высоте отвала H , угле наклона основания γ , методом линейной интерполяции табулированной функции $f(\gamma, H)$ определим устойчивый угол γ_d . Проверяем, является ли рассчитанный угол наклона борта γ_1 устойчивым ($\gamma_1 \leq \gamma_d$). Если γ_1 обеспечивает устойчивость отвала, расчет элементов яруса окончен; переходим к расчету параметров яруса $(j+1)$. Если устойчивость не обеспечена, переходим к шагу 7.

7. Очевидно, что построить борт отвала устойчивым можно только за счет расширения рабочей площадки на ярусе $(j-1)$, т. е. за счет корректировки координат нижней, а следовательно, и верхней бровки яруса j .

Для сокращения времени расчета, прежде чем перейти к расширению площадки, проверяем, может ли такое расширение привести к желаемому результату. Проверяем, будет ли устойчив борт отвала, если в результате расширения площадки точка (y_2, z_2) займет крайнее возможное положение, т. е. если точка (y_2, z_2) займет положение точки (y'_2, z'_2) . Повторив расчеты а, б, в из шага 6, проверяем на устойчивость новое положение борта. Цикл расчетов повторяется до выполнения условий устойчивости борта, после чего определяются координаты бровок ярусов с допустимыми размерами площадок и максимально допустимой высотой отвала.

В результате расчета формируются матрицы координат бровок ярусов, которые в дальнейшем используются при вычислении емкостей отвала, длин фронта на каждом ярусе, расчетах в торцевых зонах отвала, выполнении чертежей.

Расчет площадей и координат центров тяжести ярусов по этапам (годам) развития внутреннего отвала. Исходными данными для расчета площадей и координат центров тяжести ярусов служит информация о положении рабочего борта отвала в плоскости профиля v , зафиксированная координатами (y_j, z_j) узловых точек ступенчатой кривой (рис. 4.17)

$$S_i^v = \{(y_{j,i}^v, z_{j,i}^v), j = 1, \dots, jk\}.$$

Геометрическая сущность задачи заключается в определении площадей, занимаемых ярусами отвала в каждом этапе, т. е.

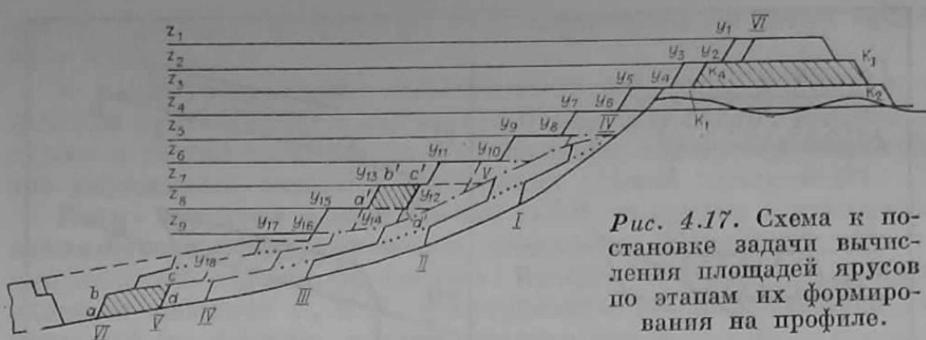


Рис. 4.17. Схема к постановке задачи вычисления площадей ярусов по этапам их формирования на профиле.

между двумя положениями борта. Например, площадь, занимаемая первым наклонным ярусом в этапе VI (рис. 4.17), ограничивается фигурой $abcd$. Площадь, занимаемая горизонтальным ярусом на отметке z_8 , ограничивается фигурой $a'b'c'd'$.

В динамике развития борт отвала взаимодействует с подотвальной поверхностью, рельефом, нерабочим бортом лежачего бока пласта, поверхностью первичных отвалов. В результате каждый ярус в зонах взаимодействия образует контуры самой различной конфигурации или вообще их не образует из-за невозможности развития отвала. Например, на рис. 4.17 представлена ситуация, при которой горизонтальные ярусы впервые и частично появляются только в этапе IV. По первым (наклонным) отвалам третий ярус (отсчет снизу) появляется только в этапе V.

Из приведенных примеров следует, что задача вычисления поярусных площадей слагается из двух частей:

- выделения контуров, занимаемых площадью каждого яруса по этапам его развития;
- непосредственного вычисления площадей в выделенных контурах.

Задача выделения контуров отдельных ярусов решается на основе данных построения координат борта (упорядоченное множество S_i^v) и данных о координатах почвы и кровли пласта (упорядоченные множества \mathcal{F}_{pv} , \mathcal{F}_{kv}).

Для решения задачи проведем анализ множества различных ситуаций, которые возникают в процессе развития отдельного яруса (рис. 4.18). Форма контура яруса зависит от его вида (наклонного, горизонтального), заданной схемы отсыпки наклонных ярусов (в пределах мощности пласта или по высоте), вида подстилающей поверхности яруса (прямая и кривая), конструкции борта отвала в предыдущем этапе (исходный или промежуточный борт). В общем случае контур яруса в i -м этапе определяется четырьмя базовыми точками — нижней и верхней бровками яруса в i -м и $(i-1)$ -м этапах. Однако, как видно из рис. 4.18, конфигурация яруса может быть весьма разнообразной.

Все приведенные случаи нашли отражение в алгоритме построения контура, ограничивающего площадь яруса в i -м этапе.

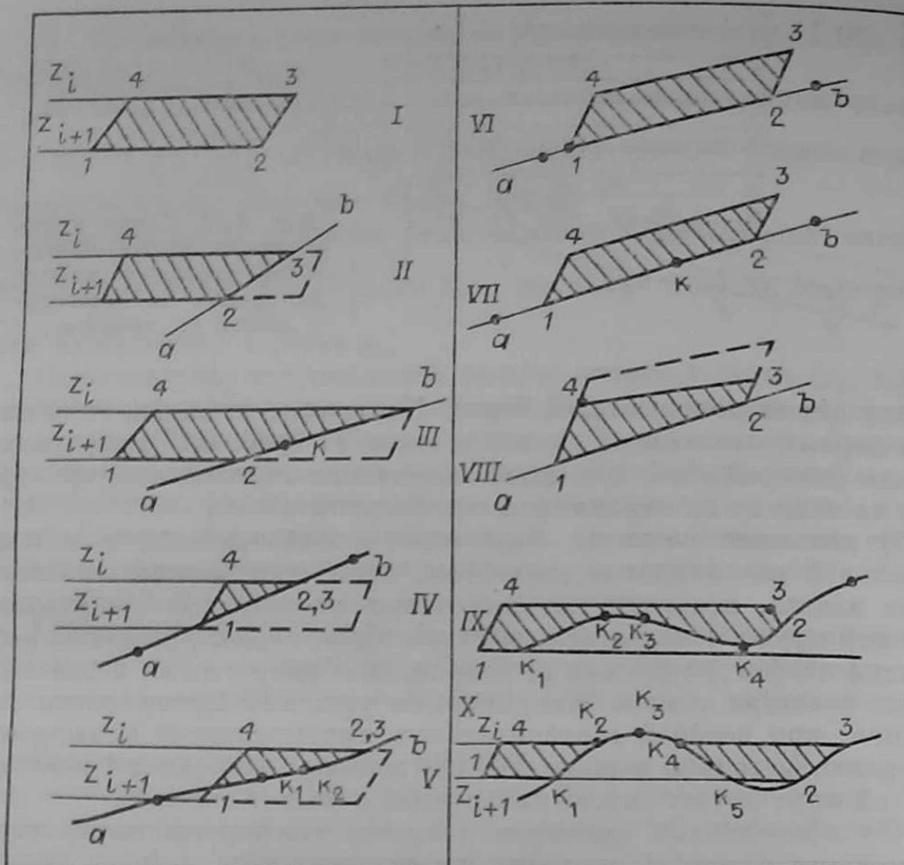


Рис. 4.18. Возможные конфигурации горизонтальных (I—V), наклонных (VI—VIII) и приконтурных (IX—X) ярусов отвалов.

Площадь яруса j этапа i вычисляется методом обхода по контуру каждого яруса

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=2}^n (y_{i-1} - y_i)(z_{i-1} + z_i) + (y_n - y_1)(z_n + z_1),$$

где $(y_1, z_1), (z_2, y_2), \dots, (y_n, z_n)$ — координаты точек контура.

Координаты центра тяжести контура определим как центр тяжести фигуры, ограниченной замкнутой ломаной линией. Пусть эта ломаная содержит n точек, причем $y_n = y_1$; $z_n = z_1$, тогда имеем следующие уравнения для центра тяжести:

$$y_{\text{ц}} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{1}{6} (z_{i+1} - z_i) (y_i^2 - 5y_i - y_{i+1} - 2y_{i+1}^2) - \frac{1}{2} z_i (y_i^2 - y_{i+1}^2) \right];$$

$$z_{\text{ц}} = \frac{1}{6S} \sum_{i=1}^{n-1} [(y_i - y_{i+1}) (z_{i+1}^2 + z_1 \cdot z_{i+1} + z_i^2)],$$

где S — площадь фигуры; y_i, z_i — координаты i -й точки замкнутого контура.

В целях сокращения времени счета алгоритм формирования контура яруса j этапа i , расчет его площади и центра тяжести построен в тесной взаимосвязи с алгоритмом конструирования бортов внутреннего отвала и реализован единой программой.

Расчет емкостей и длин фронта работ по ярусам и этапам развития отвала между смежными профилями. К моменту вычисления емкостей отвалов на смежных профилях v и $v+1$ известны площади контуров S_1 и S_2 и координаты центров тяжести этих площадей (y_1, z_1) и (y_2, z_2) для каждого яруса.

Рассмотрим площадь отдельного контура на УГП как некоторый вектор, точка приложения которого является центром тяжести этого контура, а направление совпадает с направлением оси OY на профиле. При условии, что прямая, соединяющая центры двух контуров, перпендикулярна векторам площади, получим расчетную формулу для вычисления емкости

$$V = \frac{1}{2 \cdot k_p} (S_1 + S_2) \cdot d_{1+2},$$

где k_p — коэффициент разрыхления породы в ярусе отвала; d_{1+2} — расстояние между центрами тяжести площадей.

В общем случае расстояние между центрами тяжести площадей ($d \div 2$) не перпендикулярно профилям. Подобная ситуация требует ввода корректирующих коэффициентов, с учетом которых расчетная формула представляется в следующем виде:

$$V = \frac{1}{2 \cdot k_p} [S_1 (R \cdot \cos \alpha + y_2 \sin \alpha) + S_2 (R \cos \alpha + y_1 \sin \alpha)],$$

где R — расстояние между параллельными профилями; α — угол между радиальными профилями (если $R = 0$, то $\alpha \neq 0$, и если $R \neq 0$, то $\alpha = 0$).

Формула справедлива, когда $S_1 \neq 0 \wedge S_2 \neq 0$.

По различным причинам возможны ситуации неразвития яруса на одном из профилей ($S_v = 0; S_{v+1} = 0$). В данном случае предварительно выполняется анализ причины неразвития яруса (нет условий для развития этапа отвалообразования, невыполнение требований устойчивости отвала и т. д.). После этого определяется зона влияния развившегося яруса на одном из профилей и вычисляются емкости в пределах рассматриваемой зоны.

Длина фронта работ для каждого яруса, получившего развитие на обоих профилях, вычисляется как расстояние между точками верхних бровок ярусов:

$$L_\Phi = \sqrt{(x_{i,v} - x_{i,v+1})^2 + (y_{i,v} - y_{i,v+1})^2 + (z_{i,v} - z_{i,v+1})^2},$$

где $x_{i,v}, y_{i,v}$ — координаты верхней бровки яруса (i) на профиле v ; $x_{i,v+1}, y_{i,v+1}, z_{i,v+1}$ — координаты верхней бровки яруса (i) на профиле $v+1$.

Моделирование торцевых поверхностей отвала $S_{\text{т.п.}}(x, y, z)$, $S_{\text{т.п.}}(x, y, z)$. В результате моделирования поверхностей исходного и рабочего борта отвала и расчета емкостей и длии фронта работ ярусов между смежными профилями сформирована модель внутреннего отвала, ограниченного на флангах вертикальными плоскостями профилей P_1 и P_k . В действительности поле карьера, а, следовательно, и подотвальная поверхность, может иметь на фланге границу, которая не только не совпадает с линией профиля, но и криволинейна. Кроме того, торцевой борт отвала представляет собой ступенчатую поверхность, образованную пересечением плоскостей площадок ярусов и откосов ярусов. Учет особенностей торцевого борта в модели отвала позволяет существенно повысить точность расчета его горно-геометрических параметров.

Для моделирования торцевого борта задается следующая информация: $A_i(x_i, y_i, z_i)$ — координаты точек кривой, описывающей границу подотвальной поверхности ($i = 1, k$) в торцах в пространственной системе координат; α — технологический угол наклона торца отвала; k_{ri} — признак фланга (левый, правый).

Метод моделирования рабочего борта отвала нельзя применить при моделировании его торцевого борта, так как количество элементов множества профилей модели месторождения, попадающее в область определения фланговой границы отвала, мало или равно нулю. Следовательно, для торцевого борта отвала возможно только пространственное моделирование. Пространственная модель ступенчатого торцевого борта, повторяющего кривизну фланговой границы, громоздка и неудобна в использовании. С целью упрощения модели и сокращения времени горно-геометрических расчетов заменим ступенчатый борт плоскостью, проходящей через нижнюю и верхнюю бровки отвала, под углом, меньшим или равным углу устойчивости откоса торцевого борта отвала. При этом учитываем кривизну фланговой границы отвала, заменяя ступенчатый борт не одной, а несколькими плоскостями, проходящими через узловые точки A_i граничной кривой.

Таким образом, модель торцевого борта отвала представляет собой поверхность, образованную в результате пересечения плоскостей, каждая из которых:

а) проходит через две соседние точки $[A_i, A_{i+1}]$ границы отвала;

б) имеет угол наклона, равный углу откоса торцевого борта отвала α , не превышающий устойчивого в окрестности $[A_i, A_{i+1}]$;

в) наклонена в сторону центра отвала ($\alpha \geq 0$) или в сторону фланга отвала ($\alpha \leq 0$) (если торцевой борт отвала совпадает с торцом карьера).

Задача моделирования торцевого борта отвала сводится к заполнению матрицы $\|a_{j,i}\|$, $j = 1, \dots, 4$; $i = 2, \dots, k$, коэффициентов образующих его плоскостей

$$a_{1,i}x + a_{2,i}y + a_{3,i}z + a_{4,i} = 0.$$

Для расчета коэффициентов плоскости i используется операция из 3.3.4, при этом в качестве первых двух точек берутся точки A_i, A_{i+1} кривой границы подотвальной поверхности. Координаты третьей точки определяются из условия удовлетворения (б), (в).

Через точки A_i, A_{i+1} проведем плоскость, параллельную оси OZ :

$$x(y_{i+1} - y_i) + y(x_{i+1} - x_i) + (x_i y_{i+1} - y_i x_{i+1}) = 0. \quad (4.8.5)$$

Восстановив к построенной плоскости в точке $C(0,5(x_{i+1} + x_i), 0,5(y_{i+1} + y_i), 0,5(z_{i+1} + z_i))$ перпендикуляр

$$\begin{cases} x(x_{i+1} - x_i) + y(y_{i+1} - y_i) - 0,5[(x_{i+1}^2 - x_i^2) + (y_{i+1}^2 - y_i^2)], \\ z = 0,5(z_{i+1} + z_i), \end{cases} \quad (4.8.6)$$

отложим на нем отрезок CB длиной L . Координаты точки $B(x_b, y_b, z_b)$ определяются из совместного решения уравнений прямой (4.8.6) и сферы с центром в точке C и радиусом L

$$\begin{aligned} x_b &= 0,5(x_i + x_{i+1}) \pm L(y_{i+1} - y_i)/D; \\ y_b &= 0,5(y_i + y_{i+1}) \pm L(x_{i+1} - x_i)/D, \end{aligned} \quad (4.8.7)$$

где $z_b = 0,5(z_i - z_{i+1})$; $D = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$. Знак перед вторым членом в выражениях для x_b, y_b определяется из условия равнона правленности ($\lambda > 0$) или разнонаправленности ($\lambda < 0$) коллинеарных векторов CB и CM .

$$\lambda = \frac{x_b - x_l}{x_m - x_l} = \frac{y_b - y_c}{y_m - y_c}. \quad (4.8.8)$$

При этом координаты (x_m, y_m, z_m) точки M рассчитываются как координаты точки пересечения прямой CB с плоскостью $x = 0$ профиля v

$$\begin{aligned} x_m &= 0; \\ y_m &= 0,5(x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2 - x_i^2 - y_i^2)/(y_{i+1} - y_i); \\ z_m &= 0,5(z_{i+1} + z_i). \end{aligned} \quad (4.8.9)$$

С учетом (4.8.7)–(4.8.9) и местоположения точки C выражение для λ примет вид

$$\lambda = \pm L(y_{i+1} - y_i)/(x_{i+1} + x_i) \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}. \quad (4.8.10)$$

В зависимости от заданных направления наклона торца ($\pm\alpha$) и ориентации профилей ($\pi_1 = 0,1$) и торца отвала ($\pi_2 = 0,1$) знак λ выбирается из выражений

$$((\pi_1 = \pi_2) \wedge (\alpha \geq 0)) \vee ((\pi_1 \neq \pi_2) \wedge (\alpha < 0)) \rightarrow \lambda < 0;$$

$$((\pi_1 = \pi_2) \wedge (\alpha < 0)) \vee ((\pi_1 \neq \pi_2) \wedge (\alpha \geq 0)) \rightarrow \lambda > 0.$$

Через точку $A(x_3, y_3, z_3)$ перпендикулярно плоскости $z = 0,5(z_{i+1} + z_i)$ проведем прямую $BD(x = x_B, y = y_B)$. Искомая третья точка $A(x_3, y_3, z_3)$, принадлежащая плоскости i торцевого борта отвала, лежит на прямой BD и координаты ее определяются из условия обеспечения необходимого угла наклона (α):

$$x_3 = x_b, y_3 = y_b, z_3 = z_b + L \cdot \operatorname{tg}(\alpha).$$

Очевидно, что коэффициенты плоскости i не зависят от L , однако для проверки устойчивости торцевого борта отвала необходимо, чтобы точка B находилась в достаточно малой окрестности отрезка $[A_i, A_{i+1}]$. Положим $L = 0,1 \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2(z_{i+1} + z_i)^2}$.

Сформированный с учетом угла наклона α торцевой борт отвала должен быть устойчив. Определим средний угол наклона подотвальной поверхности $\gamma = \operatorname{arccos} [L/(z_b - z_h)]$. На перпендикуляре BD выберем точку $(x_b, y_b, z_b + H)$, при этом величина H выбирается настолько большой, чтобы $\gamma_1 = \operatorname{arctg}(H/L)$ был неустойчив. В этом случае на отрезке $[(x_b, y_b, z_b), (x_b, y_b, z_b + H)]$ существует угол γ_1 , обеспечивающий устойчивость торцевому борту, т. е. удовлетворяющий уравнению $\gamma_1 = \varphi(\gamma, h)$. Методом половинного деления этот угол может быть найден с заданной точностью. Если в результате расчета окажется, что $\gamma_1 < \alpha \neq 0$ или $\gamma_1 > \alpha = 0$, угол наклона плоскости торцевого борта принимается равным γ_1 .

Для расчета координат верхних и нижних бровок ярусов в торце необходимо описать контуры K_i . Поскольку торец отвала опирается на подотвальную поверхность и пересекается с ней по ломаной, проходящей через точки $A_i (i = 1, \dots, k)$, естественно ограничить Ω_i отрезком $[A_i, A_{i+1}] \subseteq K_i$ и описать эту границу уравнением

$$\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y - y_i}{y_{i+1} - y_i} = \frac{z - z_i}{z_{i+1} - z_i}. \quad (4.8.11)$$

Через концы отрезка $[A_i, A_{i+1}]$ проходят прямые, разделяющие две соседние торцевые плоскости. Очевидно, уравнения этих прямых опишут границу Ω_i , а лучи $[A_i, \infty] \wedge [A_{i+1}, \infty] \subseteq K_i$. Уравнение прямой, проходящей через A_i ($i = 2, \dots, k - 1$):

$$a_{1,i}x + a_{2,i}y + a_{3,i}z + a_{4,i} = 0; \quad (4.8.12)$$

$$a_{1,i+1}x + a_{2,i+1}y + a_{3,i+1}z + a_{4,i+1} = 0.$$

В случае $i = 1, i = k$ уравнения граничных прямых имеют вид

$$\begin{aligned} \frac{x - x_i}{l} &= \frac{y - y_i}{m} = \frac{z - z_i}{n}; \\ l &= a_{2,i} \cdot a_{3,i+1} - a_{3,i}a_{2,i+1}; \\ m &= a_{3,i} \cdot a_{1,i+1} - a_{1,i+1}; \\ n &= a_{1,i}a_{2,i+1} - a_{2,i} \cdot a_{1,i+1}. \end{aligned} \quad (4.8.13)$$

Описание K_i в виде (4.8.12), (4.8.13) достаточно для использования модели торца в горно-геометрических расчетах.

Расчет емкостей, длии фронта работ и номеров базовых профилей ярусов отвала по этапам его развития в торцах. Метод расчета горно-геометрических параметров ярусов отвала с учетом торцов предполагает условное разделение тела яруса на центральную и торцевые части. При этом под центральной частью подразумевается часть яруса, ограниченная слева и справа профилями модели месторождения n_L и n_R . Горно-геометрические параметры этой части могут быть получены суммированием соответствующих параметров между смежными профилями, принадлежащими области $[n_L, n_R]$. Назовем n_L и n_R базовыми профилями яруса. Результаты исследований показали, что для каждого яруса в каждом году (этапе) развития отвала номера базовых профилей могут быть различными.

Расчет горно-геометрических параметров яруса в торце — это расчет между базовым профилем и торцевой поверхностью. Как показано выше, для расчета горно-геометрических параметров яруса необходима информация о координатах его верхних и нижних бровок в текущем и предыдущем годах (этапах). На профилях n_L и n_R эта информация имеется. Задача состоит в том, чтобы получить соответствующую информацию на торцевой поверхности, а также информацию о n_L и n_R для рассматриваемого яруса.

В результате моделирования отвала на профилях модели месторождения имеется информация об исходном и промежуточном положениях рабочего борта отвала в виде координат (y, z) верхних и нижних бровок ярусов. Последовательность пересчитанных в пространственную систему координат $(x_{i,j,k}, y_{i,j,k}, z_{i,j,k})$ верхних (нижних) бровок яруса ($j = 1, \dots, jk$) в этапе k ($k = 0, \dots, kk$), упорядоченная по номерам профилей i ($i = n_L, \dots, n_R$), представляет собой табулированную функцию верхней (нижней) бровки яруса j в этапе k . Очевидно, что пересечение линий бровок яруса с торцевой поверхностью дает искомые точки верхних (нижних) бровок яруса в торце, а отрезок ломаной $[(x_{i-1,j,k}, y_{i-1,j,k}, z_{i-1,j,k}), (x_{i,j,k}, y_{i,j,k}, z_{i,j,k})]$, пересекающейся с торцевой поверхностью, определит $(i-1)$ -й или i -й номер базового профиля. Поскольку для верхней и нижней бровок одного и того же яруса могут оказаться разные номера базовых профилей, выбирается ближний к центру отвала.

В зависимости от поведения подотвальной поверхности линия бровок горизонтальных ярусов может определяться не на всем множестве профилей, а лишь на одном или нескольких его подмножествах. При этом возможны ситуации, когда на торцевом борту (или на обоих бортах) информация о локально развившемся ярусе в отдельные этапы будет отсутствовать.

Расчет координат (x_t, y_t, z_t) точки Т пересечения i -го отрезка линии бровки яруса j в k -м этапе n -й плоскостью торца производится с помощью операции 3.3.6, параметры которой принимают

значения

$$T_1(x_1 = x_{i,j,h}; y_1 = y_{i,j,h}; z_1 = z_{i,j,h});$$

$$A = a_{1,n}; B = a_{2,n}; C = a_{3,n}; D = a_{4,n};$$

$$T_2(x_2 = x_{i+1,j,h}; y_2 = y_{i+1,j,h}; z_2 = z_{i+1,j,h}).$$

Если прямая и плоскость не параллельны, то точка пересечения существует всегда. Однако, чтобы полученная точка была бровкой яруса в торце, достаточно выполнения следующих условий:

$$(x_t, y_t, z_t) \in [(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)]; \quad (4.8.14)$$

$$(x_t, y_t, z_t) \in \Omega_n. \quad (4.8.15)$$

Принадлежность точки Т отрезку $[T_1, T_2]$, т. е. выполнение условия (4.8.14), вытекает из равенства

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = \sqrt{(x_t - x_1)^2 + (y_t - y_1)^2 + (z_t - z_1)^2} + \sqrt{(x_t - x_2)^2 + (y_t - y_2)^2 + (z_t - z_2)^2}.$$

Для проверки выполнения (4.8.15) через точку (x_t, y_t, z_t) параллельно отрезку $[A_n, A_{n+1}]$ проводится прямая

$$\frac{x - x_t}{x_{n+1} - x_n} = \frac{y - y_t}{y_{n+1} - y_n} = \frac{z - z_t}{z_{n+1} - z_n}. \quad (4.8.16)$$

Рассчитываются координаты $(x_{p1}, y_{p1}, z_{p1})(x_{p2}, y_{p2}, z_{p2})$ точек пересечения прямой с контуром K_1 операцией 3.3.7. Поскольку прямая и контур K_n лежат в одной плоскости, точки пересечения всегда существуют. Очевидно, отрезок $[(x_{p1}, y_{p1}, z_{p1}), (x_{p2}, y_{p2}, z_{p2})] \in \Omega_n$, если точка (x_t, y_t, z_t) принадлежит отрезку, т. е. выполняется равенство

$$\begin{aligned} & \sqrt{(x_{p1} - x_{p2})^2 + (y_{p1} - y_{p2})^2 + (z_{p1} - z_{p2})^2} = \\ & = \sqrt{(x_{p1} - x_t)^2 + (y_{p1} - y_t)^2 + (z_{p1} - z_t)^2} + \sqrt{(x_{p2} - x_t)^2 + (y_{p2} - y_t)^2 + (z_{p2} - z_t)^2}. \end{aligned} \quad (4.8.17)$$

Выполнение условий (4.8.16) и (4.8.17) для (x_t, y_t, z_t) означает, что точка Т есть бровка яруса j в торце. Из условия ориентации векторов TT_1 или TT_2 к центру отвала

$$((\pi_1 = \pi_2) \wedge (\lambda < 0)) \vee ((\pi_1 \neq \pi_2) \wedge (\lambda > 0)) \quad (4.8.18)$$

определяется номер базового профиля точки Т, т. е. из двух номеров профилей $i, i + 1$, определяющих векторы TT_1 и TT_2 соответственно, выбирается тот, для которого коэффициент пропорциональности λ удовлетворяет условию (4.8.18)

$$\lambda = \frac{x_t - x_l}{x_t - x_p} = \frac{y_t - y_l}{y_t - y_p} = \frac{z_t - z_l}{z_t - z_p}; \quad l = 1, 2,$$

где x_p, y_p, z_p — координаты точки пересечения прямой с плоскостью профиля.

К расчету емкости яруса в торце применим метод расчета, использованный для центральной части. Допустим, что точки бровок яруса в смежных этапах в торце лежат в одной плоскости P_1 . Будем рассматривать P_1 как некоторый наклонный профиль, уравнение которого

$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$$

может быть получено в виде уравнения плоскости, проходящей через три точки (бровки яруса в смежных этапах).

Предположим, что в плоскости P_1 известны площадь яруса в этапе k и координаты (x_{c1}, y_{c1}, z_{c1}) ее центра тяжести c_1 . На профиле P_2 площадь яруса обозначим через S_2 , а пространственные координаты (x_{c2}, y_{c2}, z_{c2}) ее центра тяжести c_2 можно получить из плоскостных координат, используя операцию 3.3.1.

Площади яруса в плоскостях P_1 и P_2 будем рассматривать как векторы, начальные точки которых совпадают с c_1 и c_2 , а модули равны S_1 и S_2 . Чтобы иметь возможность применить формулу усеченной пирамиды для расчета емкости яруса в торце, через c_1 и c_2 проведем плоскости P_3 и P_4 , перпендикулярные прямой c_1c_2 . Уравнения плоскостей соответственно имеют вид

$$lx + my + nz - (lx_{c1} + my_{c1} + nz_{c1}) = 0;$$

$$lx + my + nz - (lx_{c2} + my_{c2} + nz_{c2}) = 0,$$

где $l = x_{c2} - x_{c1}$; $m = y_{c2} - y_{c1}$; $n = z_{c2} - z_{c1}$.

Проекции векторов площади S_1 и S_2 на плоскости P_3 и P_4 равны

$$S_{\text{п1}} = S_1 \cdot (l \cdot A_1 + m \cdot B_1 + n \cdot C_1) / (\sqrt{l^2 + m^2 + n^2} \cdot \sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2});$$

$$S_{\text{п2}} = S_2 \cdot (l \cdot A_2 + m \cdot B_2 + n \cdot C_2) / (\sqrt{l^2 + m^2 + n^2} \cdot \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2});$$

здесь A_2 , B_2 , C_2 — коэффициенты уравнения плоскости P_2 .

В таком положении фигура яруса представляет собой усеченную пирамиду и для расчета ее объема применима формула

$$V = \frac{1}{3} (S_{\text{п1}} + S_{\text{п2}} + \sqrt{S_{\text{п1}} \cdot S_{\text{п2}}}) \sqrt{(x_{c1} + x_{c2})^2 + (y_{c1} - y_{c2})^2 + (z_{c1} - z_{c2})^2}.$$

Величины S_1 и (x_{c1}, y_{c1}, z_{c1}) , характеризующие ярус в плоскости P_1 , определяются на основе информации о координатах верхних и нижних бровок яруса в смежных этапах. Соединив точки прямыми линиями, получим замкнутый контур, ограничивающий область, площадь которой равна S_1 . В общем случае контур состоит из четырех точек, однако в начале развития яруса или его погашения точек может быть меньше.

Координаты центра тяжести на торцевой поверхности вычисляются по формулам

$$x_{c1} = 0,25 \sum_{j=1}^{h-1} x_{1,j}; \quad y_{c1} = 0,25 \sum_{j=1}^{j_{h-1}} x_{2,j}; \quad z_{c1} = 0,25 \sum_{j=1}^{j_{h-1}} x_{3,j}.$$

Длина фронта работ яруса в торце определяется как расстояние между его верхними бровками на базовом профиле и на торцевой поверхности

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2},$$

где (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) — координаты верхних бровок яруса в торце и на P_2 .

При разработке модели внутреннего отвала за основу взята модель месторождения. Она представляет собой некоторое множество профилей, адекватно отображающих реальные геологические условия месторождения или его части и разделяющих пространство, предназначенное для строительства отвала, на конечное число полос.

Динамика отвала представлена в модели конечным числом положений его рабочего борта, построенного с учетом подвигания рабочей зоны карьера, технологии отсыпки ярусов отвала, геологии и физико-механических свойств подстилающих пород. В результате ряда преобразований и расчетов, описанных выше, получена блочная модель отвала, отражающая его динамику определенным набором блоков.

Каждый из блоков модели характеризуется объемом V , длиной фронта работ L и адресом блока. При этом адрес состоит как из безусловных атрибутов (номер яруса N_j , номер этапа N_3), так и из условных (номер профиля N_p , к которому условились отнести этот блок). Примем, что блок имеет номер N_p , если его емкость рассчитана между профилями N_p и N_{p+1} .

Таким образом, адрес блока в модели формируется из трех величин: N_j , N_3 , N_p . Очевидно, что для получения информации о емкости и длине фронта работ яруса N_j в этапе N_3 необходимо просуммировать соответствующие параметры всех блоков модели с номерами N_j , N_3 по N_p , т. е.

$$V_{N_j, N_3} = \sum_{N_p=N_h}^{N_{h-1}} V_{N_j, N_3, N_p};$$

$$L_{N_j, N_3} = \sum_{N_p=N_h}^{N_{h+1}} V_{N_j, N_3, N_p},$$

где N_h , N_h — первый и последний номера профилей множества \mathcal{P} .

В заключение отметим, что на основе предложенного метода моделирования внутреннего отвала и расчета его горно-геометрических параметров разработан пакет программы «Отвал-1», успешно функционирующий в подсистеме САПР-разрез, сданной в промышленную эксплуатацию в 1984 г.

Глава 5

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

§ 5.1. СТРУКТУРА САПР УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРОВ

Рядом организаций разработана и внедрена в практику первая очередь САПР угольных карьеров на месторождениях Канско-Ачинского и Кузнецкого бассейнов [81, 89, 90].

Система ориентирована на существующие в проектных институтах Минуглепрома СССР схемы проектирования. С их учетом создана логико-информационная модель САПР, включающая комплексы формализованных инженерных экономических и оптимизационных задач, творческих и графических процедур, согласований и т. д.

Первая очередь методического и программного обеспечения САПР выполнена для пологих и наклонных месторождений, разрабатываемых однобортовыми системами разработки с учетом динамики развития горных работ для обоснования следующих проектных решений:

- расчета объемов угля и вскрыши по этапам отработки поля карьера с заданными параметрами систем разработки;
- выбора производственной мощности карьера;
- выбора направлений развития горных работ;
- расчета параметров карьерного поля (включая границы), схем вскрытия и элементов систем разработки;
- выбора внутрикарьерного транспорта;
- обоснования типоразмеров и расчета производительности и потребности в горном и транспортном оборудовании;
- расчета календарных объемов добычи, вскрышных работ и отсыпки отвалов;
- расчета положений горных работ по этапам (годам) отработки поля карьера и графическое их построение.

Функциональная часть программного обеспечения представлена отдельными блоками, построенными по модульному принципу. Организация работы всех блоков осуществляется единой управляющей программой. Основные блоки системы (табл. 5.1) взаимосвязаны логикой процесса проектирования и информационно. Каждый блок состоит из необходимого числа модулей, реализующих логически завершенные процедуры проектирования.

Идеология процесса проектирования базируется на системно-целевом подходе учета взаимосвязи геологических, геомеханиче-

Таблица 5.1

№ п/п	Наименование блока	Функциональное назначение блока	Разработчик (организация)	Примечание
1	2	3	4	5
1	Буровзрывные работы	Расчет параметров буровзрывных работ: сетки скважин, величины заряда, раз渲ла взорванной массы и др.	Сибгипрошахт	
2	Ширина рабочей площадки	Определение ширины рабочей площадки в зависимости от ширины заходки и раз渲ла взорванной массы	»	При использовании железнодорожного транспорта
3	Горно-геометрические расчеты во вскрышной и добычной зонах карьера	Расчет объемов угля и вскрыши, длии фронта (по этапам отработки поля карьера по всем уступам рабочей зоны), координат положений борта по этапам	ИГД СО АН СССР	Блок применим на месторождениях с количеством пластов не более 11
4	Горно-геометрические расчеты в зоне отвалов	Расчет емкостей, длии фронта, координат борта по ярусам отвала в этапах (годах) его развития	»	Блок применим при сооружении внутренних и приокрестных отвалов транспортным способом
5	Тяговые расчеты	Расчет веса поезда, длины состава, уточнение руководящего уклона путей	Центрогипрошахт	
6	Интенсивность	Расчет производительности карьера, календарных объемов и длии фронта по вскрышным и добычным уступам, координат положений по годам работы	»	Блок применим при использовании железнодорожного транспорта на вскрыше и на месторождениях, представленных одним пластом

7	Вскрытие	Расчет числа и номеров уступов, вскрываемых системой внешних и внутренних вскрывающих выработок, положений трасс железнодорожных коммуникаций	Центрогипрошахт	Вскрытие при железнодорожном транспорте
8	Вскрыша	Расчет производительности и потребного числа карьерных одноковшовых экскаваторов, думпкаров, локомотивов по уступам (маршрутам) и в целом по карьеру. Расчет протяженности передвижных и постоянных путей	Центрогипрошахт, УкрНИИпроект	Блок используется только при железнодорожном транспорте
9	Добыча	Расчет производительности и потребного числа роторных экскаваторов, числа и протяженности забойных и магистральных конвейерных линий	УкрНИИпроект	
10	Экономика вскрыши	Расчет капитальных и эксплуатационных затрат по технологическим процессам во вскрышной зоне	Центрогипрошахт, Сибгипрошахт	
11	Экономика добычи	Расчет капитальных и эксплуатационных затрат по технологическим процессам в добычной зоне	Центрогипрошахт	
12	Синтез	Расчет капитальных и эксплуатационных затрат в целом по карьеру с учетом фактора времени. Выбор группы наиболее рациональных вариантов	Центрогипрошахт, Сибгипрошахт	
13	Управление	Управление вычислительными процессами. Организация работы всех блоков согласно заданиям	ИГД СО АН СССР	

№ п/п	Наименование блока	Функциональное назначение блока	Разработчик (организация)	Примечание
1	2	3	4	5
1	Буровзрывные работы	Расчет параметров буровзрывных работ: сетки скважин, величины заряда, раз渲а взорванной массы и др.	Сибгипрошахт	
2	Ширина рабочей площадки	Определение ширины рабочей площадки в зависимости от ширины заходки и раз渲а взорванной массы	»	При использовании железнодорожного транспорта
3	Горно-геометрические расчеты во вскрышной и добычной зонах карьера	Расчет объемов угля и вскрыши, длины фронта (по этапам отработки поля карьера по всем уступам рабочей зоны), координат положений борта по этапам	ИГД СО АН СССР	Блок применим на месторождениях с количеством пластов не более 11
4	Горно-геометрические расчеты в зоне отвалов	Расчет емкостей, длины фронта, координат борта по ярусам отвала в этапах (годах) его развития	»	Блок применим при сооружении внутренних и приконтурных отвалов транспортным способом
5	Тяговые расчеты	Расчет веса поезда, длины состава, уточнение руководящего уклона путей	Центрогипрошахт	
6	Интенсивность	Расчет производительности карьера, календарных объемов и длины фронта по вскрышным и добычным уступам, координат положений по годам работы	»	Блок применим при использовании железнодорожного транспорта на вскрыше и на месторождениях, представленных одним пластом

7	Вскрытие	Расчет числа и номеров уступов, вскрываемых системой внешних и внутренних вскрывающих выработок, положений трасс железнодорожных коммуникаций	Центрогипрошахт	Вскрытие при железнодорожном транспорте
8	Вскрыша	Расчет производительности и потребного числа карьерных одноковшовых экскаваторов, думпкаров, локомотивов по уступам (маршрутам) и в целом по карьеру. Расчет протяженности передвижных и постоянных путей	Центрогипрошахт, УкрНИИпроект	Блок используется только при железнодорожном транспорте
9	Добыча	Расчет производительности и потребного числа роторных экскаваторов, числа и протяженности забойных и магистральных конвейерных линий	УкрНИИпроект	
10	Экономика вскрыши	Расчет капитальных и эксплуатационных затрат по технологическим процессам во вскрышной зоне	Центрогипрошахт, Сибгипрошахт	
11	Экономика добычи	Расчет капитальных и эксплуатационных затрат по технологическим процессам в добычной зоне	Центрогипрошахт	
12	Синтез	Расчет капитальных и эксплуатационных затрат в целом по карьеру с учетом фактора времени. Выбор группы наиболее рациональных вариантов	Центрогипрошахт, Сибгипрошахт	
13	Управление	Управление вычислительными процессами. Организация работы всех блоков согласно заданиям	ИГД СО АН СССР	

ских и технологических условий месторождения в динамике отработки поля карьера. Весь процесс проектных расчетов осуществляется на модели конкретного месторождения, построенной по плоскостно-координатному методу (см. § 1.4).

Варианты систем разработки и схем отвалообразования (способ подготовки данных изложен в главе 2) моделируются блоками 3, 4 в конкретных геологических условиях. В результате подготавливается информация для блоков 5—12, и в конечном итоге по количественным критериям оценивается степень адаптации технологической схемы существующим геологическим условиям. После этого выбираются наиболее рациональные варианты технических решений.

Программное обеспечение системы представлено в виде пакетов прикладных программ (ППП), что позволяет использовать все преимущества модульного принципа построения (увеличение числа модулей, замена устаревших и т. д.).

Предусмотрено два режима использования ППП — автоматический и автоматизированный. Последний рассматривается как вариант автоматического. Он предполагает диалоговый режим с остановом в заданных контрольных точках (КТ) после окончания работы процедуры. В этот момент выдается затребованная информация для контроля, после ее анализа расчеты либо продолжаются, либо останавливаются. В автоматическом режиме контрольные точки не учитываются.

Предусмотрена возможность автономного использования некоторых блоков системы. В частности, блоки 3 и 4, выполняющие горно-геометрические расчеты, могут применяться независимо от других.

§ 5.2. ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ГР-1¹

Пакет предназначен для автоматизации горно-геометрических расчетов при проектировании угольных карьеров и обеспечивает информацией САПР в целом. Применим для условий пластовых горизонтальных, пологих и наклонных месторождений при ведении работ однобортовой системой разработки. Вынимаемые слои могут быть горизонтальными и наклонными. Количество разрабатываемых пластов от 1 до 11. Расчеты ведутся по этапам отработки карьера, количество которых допустимо до 49.

Вычислительная среда: ДОС, ОС любых версий. Технические средства: ЭВМ класса ЕС-1033 и более с объемом памяти не менее 512 К; пакеты на МД — два комплекта емкостью по 29 Мб; АЦПУ, перфокарточный ввод; перфоратор; графопостроитель (планшетный, рулонный).

Рабочая программа пакета представлена 8 книгами общим объемом \approx 1000 с. сдана в ОФАП Минуглепрома СССР и находит-

¹ Программы для ЕС ЭВМ разработаны В. А. Красовским.

ся в промышленной эксплуатации [81]. 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-доминатором программ пакета ГГР-1.

Информационное обеспечение пакета включает:

— геолого-геометрическую информацию, отражающую пространственное расположение формообразующих элементов и качественных компонент полезного ископаемого и вмещающих пород (см. § 1.4);

— информацию о технологических параметрах различных систем разработки, граничных и промежуточных контурах карьера (см. § 2.1—2.5).

Структурно-информационное обеспечение имеет два информационно-независимых раздела — геолого-геометрический и горнотехнический. Первый содержит плоскостно-координатную модель месторождения, второй — информацию, отражающую варианты технических проектных решений, и в процессе проектирования часто реорганизуется. Назначение второго 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.

Основные модули пакета и некоторые их характеристики представлены в табл. 5.2.

По каждому варианту расчета пользователь в зависимости от назначения данных для процесса проектирования может требовать вывод различных результатов. Все они выдаются в соответствующих формах входных документов. Основной перечень заданий на расчет и содержание вычисляемых показателей приведены в табл. 5.3.

Разработана специальная блок-форма, которая заполняется лицом, принимающим решение. Она однотипна для всех заданий, за исключением задания 10. Для заполнения блок-формы необходимо указать наименование месторождения, по которому выполняются расчеты и границы вычислений. Например, по месторождению Скалистому, вмещающему свиту из 5 пластов, требуется выполнить расчеты по заданию 01 для зоны пластов 1, 2, 3 на участке поля карьера, расположенным между профилями 11—43. При этом результаты расчетов требуется выдать в виде сумм по участкам между профилями 11—17; 17—25; 25—43. Кроме того, в пределах первого участка надо выдать данные между каждой парой смежных профилей, т. е. между 11—12; 12—13; 13—14 и т. д.

Это задание компактно записывается в специальный бланк. В табл. 5.4 показаны форма бланка и запись затребованного в примере задания.

Таблица 5.2

№ п/п	Имя программы (модуля)	Наименование программы (модуля)	Входные данные	Выходные данные	Длина программы*
1	GGRZ1	Ввод, контроль и формирование модели месторождения на МД	Информация по УГП на перфокартах (R_1)	Модель месторождения (R_2) на МД, диспетчерский массив (R_3)	93 1118
2	GGRZ2	Ввод, контроль и запись горнотехнической информации (ГТИ)	Информация по массивам ГТИ на перфокартах (R_4)	Массивы на МД (R_5), диспетчерский массив (R_3)	128 1092
3	GGRZ3	Формирование границ карьера по флангам	Данные на перфокартах (R_6)	Массив на МД (R_7)	28 284
4	GGRZ4	Вычисление координат рабочих бортов по технологическим зонам и этапам на вертикальных разрезах	R_2, R_5, R_3	Координаты рабочего борта на каждом УГП (R_8)	83 1029
5	GGRZ5	Программа вычислений площадей на УГП между смежными положениями рабочих бортов по этапам на каждом уступе и во всех технологических зонах	R_8, R_2, R_3, R_7, R_5	Площади (R_9), координаты центра тяжести площадей (R_{10})	81 896
6	GGRZ6	Программа вычисления длины фронта	R_9, R_{10}, R_5	Длины фронта по уступам и всем этапам (R_{11})	56 250
7	GGRZ7	Программа расчета потерь и разубоживания	R_9, R_{10}	Теряемые объемы (R_{12}). Объем породы в угле (R_{13})	47 463
8	GGRZ8	Программа вычисления объемов вскрыши и угля между смежными УГП по всем уступам, каждой технологической зоне по этапам отработки карьера	$R_9, R_{10}, R_{12}, R_{13}, R_3$	Объемы вскрыши (R_{14}) и объемы полезного ископаемого (R_{15})	54 403

9	GGRZ01	Компоновка данных для анализа режима горных работ (задание 04) в заданных границах карьерного поля	R_{14}, R_{15}	Печать таблиц	22 177
10	GGRZ02	Расчет геологических запасов в заданных границах карьерного поля (задание 02)	$R_{14}, R_{15}, R_{12}, R_{13}$	»	—
11	GGRZ03	Расчет промышленных запасов в заданных границах карьерного поля (задание 03)	$R_{14}, R_{15}, R_{12}, R_{13}$	»	—
12	GGRZ12	Печать таблиц длии фронта работ по уступам, этапам и технологическим зонам (задание 04)	R_{10}, R_9, R_3	»	7 57
13	GGRZ05	Вычисление поуступного распределения вскрыши и полезного ископаемого, объемы по горизонтам, слоям (задание 05)	R_{14}, R_{15}	»	28 183
14	GGRZ10	Подготовка информации для других ППП подсистемы (задание 10) САПР-разрез	$R_2, R_3, R_8, R_{14}, R_{15}$	Запись на МД 30 массивов	222 1487
15	GGRZ	Управляющая программа	R_0 , информация по заданию	Сообщение оператору (диалог)	57 1094

* В числителе указан объем программы в Кб, в знаменателе — количество операторов.

Таблица 5.3

Код задания	Назначение задания	Перечень показателей, определяемых заданием
01	Вычисление данных для анализа режима горных работ	Вычисляются в заданных границах по простиранию поля карьера и по его глубине следующие показатели: геологические запасы угля по этапам разработки каждого пласта и суммарные для всех; объемы вскрыши по этапам над каждым пластом и суммарные по всей рабочей зоне; текущие коэффициенты вскрыши над каждым пластом по этапам и в целом над всеми между-пластьями; геологические запасы нарастающим итогом от этапа к этапу по каждому пласту и в целом по всем пластам; вскрыша нарастающим итогом от этапа к этапу по каждому между-пластью (и над верхним пластом) и суммарным итогом по высоте рабочей зоны; средний коэффициент вскрыши на момент отработки каждого этапа карьера в целом по всей рабочей зоне и по каждому между-пластью
02	Вычисление геологических запасов	Вычисляются в заданных границах по полю карьера геологические запасы каждого пласта по этапам его разработки
04	Вычисление длин фронта работ	Вычисляются длины фронта горных работ по этапам разработки поля карьера (на любом задании участке) по каждому вскрышному и добычному уступу
05	Распределение объемов вскрыши и угля по уступам (слоям)	Выполняются в заданных границах по полю карьера и по глубине: объемы вскрыши по этапам для каждого вскрышного уступа; объемы угля по уступам для каждого пласта по всем этапам разработки карьера; суммарные объемы вскрыши по горизонтам (слоям) от этапа к этапу
10	Подготовка данных для блока «ИНТЕНСИВНОСТЬ»	Формируется файл, в котором содержатся: объемы вскрыши и угля в целом по карьеру и по всем вскрышным уступам; длины фронта работ по добычным и вскрышным уступам; координаты бортов по этапам и т. д. (всего 25 наименований данных)
11	Вычисление контрольных данных	Для контроля на заданном профиле выдаются координаты положений рабочего борта в каждом этапе и площади по уступам
	Графики	На графопостройке выполняются профили с нанесением на них положений горных работ, графики объемов для анализа режима горных работ (разработка ин-та Сибгипрошахт)

Таблица 5.4

Любое задание выполняется только один раз. Поэтому если пользователь требует выполнить одно и то же задание несколько раз, то вычисления повторяются сначала. Организация функционирования программы пакета осуществляется управляющей программой, принцип работы которой рассмотрен в § 5.4.

§ 5.3. ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ГР-3²

Пакет предназначен для автоматизации горно-геометрических расчетов при проектировании внутренних отвалов на месторождениях пологого и горизонтального типов. Программы пакета позволяют вычислять необходимые показатели для анализа режима отвалообразования при различных конструктивных параметрах схем размещения и формирования отвалов в конкретных геологических условиях.

Технические средства и вычислительная среда в точности соответствуют требованиям пакета ГР-1.

Информационное обеспечение пакета включает:

- геолого-геометрическую информацию о топографии подотвальной поверхности и об устойчивых параметрах отвалов, сооружаемых на конкретном месторождении;
- технические конструктивные параметры внутренних и приконтурных отвалов (см. § 2.6—2.8).

Основные модули пакета с функциональным их назначением представлены в табл. 5.5.

ППП ГР-3 может функционировать в трех режимах (рис. 5.1). Режим (a) предусмотрен для функционирования ППП ГР-3 в рамках системы САПР-разрез. В этом случае используется информация, не только заданная проектировщиком, но генерируемая в задачах: моделирования развития рабочей зоны карьера (ППП ГР-1); календарного планирования (ППП-интенсивность); определения основных параметров вскрытия (ППП-вскрытие).

Как видно из рис. 5.1, в режиме (b) ППП-вскрытие не задействован. Этот режим предполагает задание информации по параметрам схемы вскрытия инженером, а расчеты по моделированию развития отвалов будут вестись согласно координатам

Имя месторождения		
СКАЛИСТОЕ		
Код задания	Выполнить вычисления для группы пластов	
	сверху	снизу
01	1	3
Вычисления выполнить на участках, заключенных между УГП		
слева		справа
	11	43
	11	17
	17	25
	25	43
	11	12
	12	13
	13	14
	14	15
	15	16
	16	17

² Все программы пакета разработаны А. А. Зайцевой.

Таблица 5.5

№ п/п	Название модуля	Функциональное назначение	Входные данные		Выходные данные	Длина программ *
			Входные данные	Выходные данные		
1	ZAP	Формирование данных по горнотехническим параметрам отвала				
2	BORTOT	Вычисление координат борта и площадей по ярусам внутреннего отвала				
3	PKO	Вычисление координат борта и площадей по приконтурному отвалу	R_2, Q_1, Q_3			
4	OBDL	Вычисление емкостей отвалов и длины фронта по ярусам и этапам	R_2, Q_1, Q_3, Q_4			
5	TOREC	Формирование границ торцевых зон по флангам и в центре поля	R_2, Q_1			
6	OFOR	Формирование уравнений поверхностей, ограничивающих поверхности отвалов	R_2, Q_1, Q_6			
7	OTTOR	Формирование координат ярусов в торцевых зонах на плоскостях УГП и вычисление площадей и емкостей в торцах	Q_3, Q_6			
8	CGSH + RASPEC	Подготовка данных для ПШП — вскрытие и печать данных для контроля по требованию	Q_2, Q_4, Q_5, Q_6, Q_1			
9	RESULT	Подготовка и печать данных для анализа режима процесса отвалообразования	Q_2, Q_4, Q_5, Q_1, Q_6			

Таблица

* В числителе указано общее количество операторов в программе, в знаменателе — длина всех подпрограмм, используемых в данной программе.

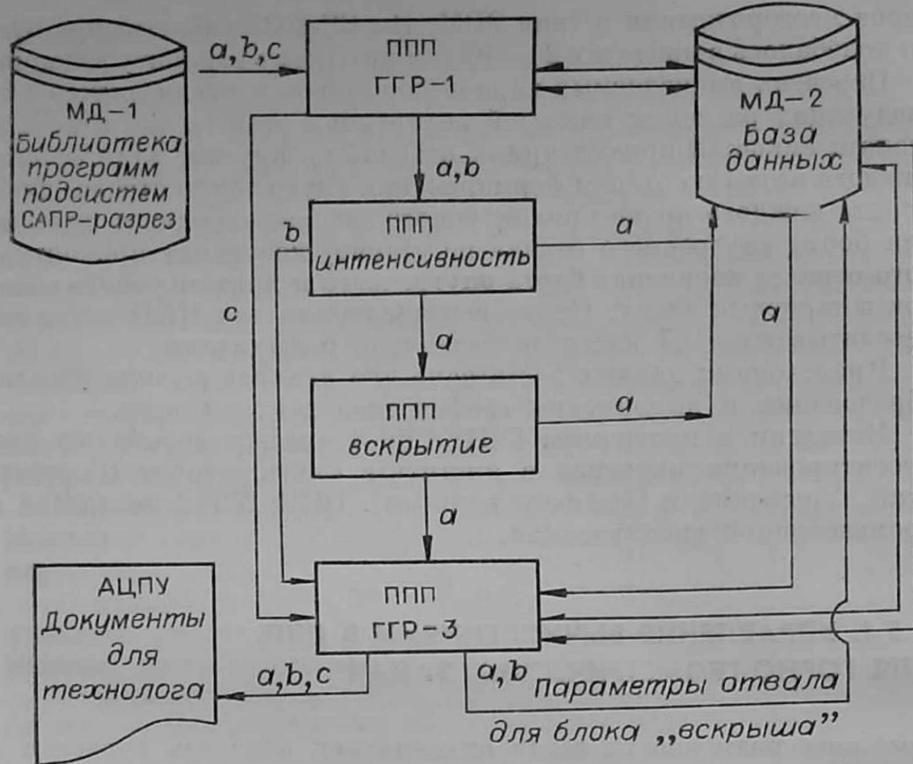


Рис. 5.1. Место ППП ГГР-3 в системе САПР-разрез.

положения фронта работ по годам отработки разреза, определенные в блоке ППП-интенсивность.

Третий режим (c) использования ППП ГГР-3 возможен без работы блоков ППП-интенсивность и ППП-вскрытие. В этом режиме развитие внутренних отвалов моделируется по этапам отработки, не «привязанным» к годам. Режим (c) не предполагает обязательное проведение расчетов пакетом ГГР-1. В режиме (c) используются только исходные данные, вводимые средствами ППП ГГР-1 в базу данных.

Таким образом, пользователю предоставлена широкая возможность для решения задач расчета параметров внутренних и приконтурных отвалов благодаря многорежимному функционированию программ.

В целом пакет программ для расчета параметров внутренних отвалов написан на языке ФОРТРАН. Пакет состоит из 9 модулей предметной области, 25 модулей общего программного обеспечения по решению задач геометрического плана, 15 модулей сервисного характера. Работа пакета организуется управляющей программой, которая не только определяет очередность работы модулей согласно поступившему заданию, но организует контрольные точки и продолжение задания на расчет в случаях его прерывания (см. § 5.4). Время расчета зависит от режима использования, раз-

меров месторождения и типа ЭВМ. На ЕС-1033 наблюдаемое время колебалось в пределах 20—40 мин по одному варианту задания.

Перечень вычисляемых параметров широк и предназначен для следующих расчетов: емкостей внутренних отвалов по ярусам и этапам; емкостей приконтурных отвалов по ярусам: длии фронта каждого яруса по этапам формирования внутреннего отвала; длии фронта каждого яруса приконтурного отвала; координат положения борта внутреннего отвала по этапам; координат приконтурного отвала; координат борта внутреннего и приконтурного отвалов в торцевых зонах. Кроме перечисленных для ППП-вскрытия рассчитываются 27 массивов различной информации.

Приведенных данных достаточно для анализа режима отвалообразования и выполнения графической документации.

Методики и программы ППП ГГР-3 прошли апробацию при проектировании карьеров в институте Сибгипрошахт (Березовский, Урюпский и Итатский карьеры). ППП ГГР-3 находится в промышленной эксплуатации.

§ 5.4. УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ В ППП ДЛЯ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ³

Проблема размерности задач оптимизации проектов карьеров в некоторой степени решается путем декомпозиции общей задачи проектирования на отдельные информационно согласованные подзадачи. Каждая задача зачастую эквивалентна выполнению отдельного раздела проекта и имеет приемлемые размерности, допускающие законченное решение соответствующих частных задач.

Принцип построения любых ППП — модульность структуры пакета. Каждый ППП реализует некоторое множество возможностей по обработке данных, иначе говоря — выполнение заданий проектирования в задачах конкретной процедуры. Однако в момент обращения к пакету пользователя интересует лишь какая-либо одна его возможность, осуществляемая настройкой пакета на конкретный вариант использования.

ППП разделяются на пакеты простой и сложной структуры. В пакетах простой структуры все модули информационно независимы и равноправны. В пакетах сложной структуры модули, как правило, организуют иерархическую структуру и реализуют сложные информационные взаимосвязи. Именно последними отличаются описанные выше пакеты.

Кроме сложной иерархической системы информационных связей на структуру пакета в САПР значительное влияние оказывают принципы формирования данных для количественной оценки вариантов технических решений [91].

³ Управляющую программу для ППП ГГР-1 и ГГР-3 разработал А. М. Баландис.

Предположим, что при первом использовании ППП задается некоторое множество исходных данных $A_1 = \{a_1^i\}$, достаточное для решения задачи с результатирующим множеством $B_1 = \{B_1^i\}$. Для решения следующего варианта задачи задается новое множество исходных данных $A_2 = \{a_2^i\}$. При этом $A_2 = A_2' \cup A_2^2$ и, кроме того, выполняются соотношения $A_2^1 \cap A_1 = A_2$; $A_2^2 \cap A_1 = \emptyset$, которые показывают, что для решения нового варианта используется часть данных от предыдущего. При этом $A_2^1 \gg A_2^2$, так как данные о геологии месторождения могут не изменяться вообще при решении многих вариантов горно-геометрических расчетов. Подобные системы информационных связей относят к классу систем с многократными модификациями. Они характеризуются цикличностью вычислений при незначительных изменениях исходных данных [92, 93].

Изучение информационных связей между пакетами и внутрипакетных показало, что рациональное использование ППП организуется, если:

- каждый вариант расчета технического решения подготавливается инженером. Автоматический (циклический) перебор вариантов здесь нецелесообразен;
- вариант расчета организуется для одного набора данных по всем варьирующим факторам.

Эти отправные посылки для организации горно-геометрических расчетов отражают взаимосвязь информационных потоков, алгоритмов решения задач и оценку затрат машинного времени. Поясним на примере. Пусть при заданных границах карьерного поля требуется выполнить расчеты для варианта набора параметров систем разработки. Здесь очевидно, что каждый новый вариант требует повторения расчетов, как принято говорить, с самого начала. Но возможно, что вариант системы разработки претерпевает частичное изменение внутри отдельной технологической зоны. Анализ показал, что и в этом случае более рационально начать расчеты сначала, так как формализовать те или иные изменения технологических параметров если и возможно, то только для технологической зоны, расположенной в самой верхней части рабочей зоны.

Использовать корректировку вычислений с учетом частичного изменения исходных данных можно при актуализации данных по геологической информации: изменяется не вся информация, а только та ее часть, в которой обнаружены ошибки или есть необходимость внести дополнения. Могут быть частичные изменения данных по технологическим параметрам.

Иначе говоря, во многих горно-геометрических вычислениях иногда проще повторить расчеты снова, чем управлять процессом с учетом возникших изменений.

Сложная логико-информационная связь между факторами, параметрами, задачами обуславливает необходимость возложить управление расчетами на управляющую программу с выполнением 12*

следующих функций: контроля информации; организации вычислений в зависимости от поступившего задания на выполнение той или иной задачи из ряда обусловленных; проверки достаточности информации для реализации задания; организации продолжения задания с точки его прерывания; анализа поступивших данных с целью организации повторных расчетов; организации обусловленного диалога оператора с ЭВМ.

При использовании пакета сложной структуры взаимодействие пользователя с ЭВМ осуществляется либо в режиме пакетной обработки, либо в диалоговом режиме. Выбор того или иного типа взаимодействия обосновывается при создании проекта ППП, так как стоимости реализации режимов различны. За создание режима диалога пользователю приходится платить не только ресурсами ЭВМ, но и своим временем, поскольку на время диалога пользователь должен находиться у терминального устройства, что не всегда удобно. Однако и режим пакетной обработки не лишен достоинств. Здесь информация о варианте использования пакета включается во входной поток пакета в виде полностью завершенной программы на входном языке. Это влечет к тому, что возможное нарушение синтаксиса входного языка прекращает выполнение задания и требует повторного обращения к пакету. Важный недостаток пакетного режима — невозможность оперативного внесения изменений в заданный вариант использования пакета. В некоторой степени указанные недостатки исключаются при диалоговом режиме. Его реализация предполагает использование некоторого терминального устройства — обычно дисплея (реже — пишущей машинки) [94].

В методологическом плане известны два типа управляющих программ: компилирующие и интерпретирующие. В программах компилирующего типа компилятор создает рабочую программу из модулей пакета согласно алгоритму решения задачи. В программах интерпретирующего типа компилятор заменен интерпретатором. Последний управляет вычислительным процессом, определенным планировщиком, без создания рабочей программы [95, 96].

Исходя из анализа функций управления для пакетов ГГР-1 и ГГР-3 прията структура управляющей программы по типу интерпретирующей.

Любая управляющая программа высокого уровня оперирует таким понятием, как «язык пакета», под которым понимаются входной язык пакета и язык описания алгоритмов, реализуемых ППП. В закрытых системах пользователь имеет возможность не только формировать задачу, но и описывать алгоритм ее решения. В этом случае в распоряжение пользователя предоставляется язык описания алгоритма решения задачи [94].

Ввиду сложности логико-информационных связей при построении управляющей программы для ППП ГГР-1, ГГР-3 использован только входной язык пакета в виде графа информационных связей между модулями и данными.

Управляющая программа (любая) требует и особой структуры построения модулей, входящих в ППП, в связи с чем модули тела пакетов делятся на два уровня. К первому относятся модули, к которым обращение выполняется из блока управления управляющей программы, ко второму уровню — модули, к которым обращение возможно только из модулей тела пакета (как правило, это модули вспомогательные, служебные, сервисные). Каждый модуль организован так, что не зависит от варианта расчета, т. е. обрабатывает только ту часть информации, которая полностью изменяется при модификации исходных данных. Такой порцией информации в ППП является запись в файле. Каждый модуль модифицирует только одну запись в файле, оставляя другие не измененными, в связи с чем при создании базы данных использованы файлы прямого доступа.

Таким образом формируется структура управляющей программы для ППП ГГР-1 и ГГР-3. Она состоит из планировщика, блока формирования параметров и блока управления вычислительным процессом, информатора.

Используя таблицу связей модифицируемых данных с программными модулями, планировщик вычисляет имена модулей, требуемых для выполнения задания. При этом анализируются конечные и промежуточные результаты вычислений по предыдущему варианту. Вычисленная планировщиком информация сообщается блоку формирования параметров, который определяет их для вызываемого модуля. После этого блок управления вычислительным процессом (интерпретатор) организует загрузку в оперативную память требуемых модулей в требуемой последовательности. Параллельно передается необходимая для работы информация.

Функции блока информатора заключаются в распознавании стандартных ситуаций и организации выдачи сообщений.

Рассмотрим алгоритм работы управляющей программы для ППП ГГР-1 и ГГР-3.

После ввода задания управляющая программа анализирует достаточность исходной геологической и технологической информации для выполнения расчетов, требуемых технологом. Если информации недостаточно, то на печать выдается сообщение о том, какой именно информации нет, и оператору предоставляется возможность ввести недостающую информацию. После ввода недостающей информации выполняется повторный анализ на достаточность.

Если после повторного анализа устанавливается недостаточность исходной информации, задание снимается и программа переходит к анализу следующего задания, если таковое имеется.

Каждая программа пакета во время выполнения очередного этапа по заданию информирует диспетчерский массив о прохождении контрольной точки. Если в какой-то момент работы произошел машинный сбой, в системе остается информация о проделанной работе.

Перед тем как организовать вызов очередной программы, управляющая программа анализирует диспетчерский массив и определяет, с какой точки и с какими параметрами необходимо вызывать программы пакета. Если имеется возможность продолжить вычисления с какой-то точки, то управляющая программа всегда реализует такую возможность.

В первом блоке управляющей программы с перфокарты читается имя месторождения, для которого необходимо провести расчеты. Затем читается имя месторождения с диска, на котором хранится информация, и эти имена сравниваются. При несовпадении имен оператору об этом выдается сообщение. Такая ситуация возникает в следующих случаях:

- допущена ошибка при перфорации задания;
- ошибочно поставлен пакет дисков с иной информацией;
- информация, хранящаяся на диске, больше не потребуется, и на ее место можно записать новую.

В любом из перечисленных случаев управляющая программа переходит в режим диалога и выдает оператору запрос: «менять информацию на диске?» Если на этот вопрос оператор ответит «да», вызывается программа очистки файлов на МД и на диске записывается имя нового месторождения. В случае ответа «нет» оператору задается следующий вопрос: «будете менять диск?» Если поступает ответ «да», организуется пауза для смены диска, после чего программа считывает имя месторождения с нового диска и сравнивает его с именем в задании. Иначе задается вопрос: «будете менять перфокарту?» При удовлетворительном ответе («да») организуется пауза для замены карты, содержащей название месторождения. В случае отрицательного ответа («нет»), т. е. оператор не сменил диск и карту с названием месторождения, задание снимается и программа переходит к выполнению нового задания, если таковое имеется.

Если имена месторождения совпадают, оператору задается следующий вопрос: «будете вводить ГГИ?»⁴; при поступлении ответа «да» вызывается программа ввода геологической информации. В случае отрицательного ответа («нет») или завершения работы программы ввода геологической информации оператору задается вопрос: «будете вводить ГТИ?». При утвердительном ответе («да») вызывается программа ввода горно-технической информации. При отрицательном ответе («нет») на последний вопрос или после окончания работы программы ввода горно-технической информации управляющая программа производит анализ задания и информации на достаточность выполнения затребованного задания.

Если при анализе задания окажется, что код задания не число, число отрицательное, число, большее обусловленного, то оператору выдается об этом сообщение и предоставляется возможность ис-

⁴ Здесь и ниже сокращения: ГГИ — горно-геологическая, ГТИ — горно-техническая информация.

править код задания. Так же имеется возможность исправить всю информацию по заданию, если она содержит ошибки.

Далее управляющая программа анализирует, какие программы необходимы для выполнения задания, автоматически организует вызов программ с нужными параметрами и инициирует их выполнение.

По окончании выполнения задания управляющая программа выдает запрос: «будете вводить новое задание?» При утвердительном ответе («да») на запрос описанный алгоритм повторяется сначала. В противном случае («нет») работа управляющей программы заканчивается.

В зависимости от поступившей повторной или заново введенной информации управляющая программа выполняет анализ измененных (введенных) массивов ГГИ или ГТИ и на основе данных анализа организует выполнение задания.

Например, любые изменения в массиве ГТИ-3 (параметры технологических схем) при выполнении задания 01 вызывают необходимость повторной работы всех программ цепочки. Следовательно, после запроса «будете вводить ГТИ?» и утвердительного ответа вызывается программа ввода горно-технической информации, выполняется ее ввод, а затем в диспетчерском массиве управляющая программа делает соответствующие отметки, которые повлекут организацию работы необходимой цепочки программ.

Управляющая программа организует работу системы в следующих режимах:

- продолжения счета;
- повторного счета вариантов;
- начального счета.

Для каждого из названных режимов возможны различные компоновки исходных пакетов заданий.

В режиме начального счета для выполнения задания должна быть введена вся необходимая информация. В процессе выполнения задания могут возникнуть сбои в работе аппаратуры или завершиться выделенное время. Следовательно, если информация входная не изменяется, управляющая программа организует режим продолжения счета. На все запросы системы о вводе информации оператор отвечает «нет», после чего управляющая программа организует продолжение выполнения задания. В таком режиме программа может организовать работу системы многократно.

Несколько иная организация работы программных модулей при повторных вариантах расчетов. Пусть, например, пользователь, получив данные по одному из вариантов расчетов, затребовал выполнение этого же задания, но с другими данными по системе разработки, т. е. с измененными данными в массиве ГТИ-3. В данном случае для оператора необходимо подготовить пакеты перфокарт по заданию и пакет перфокарт с измененной информацией по массиву ГТИ-3.

В таком режиме на запрос системы о вводе геологической информации оператор отвечает «нет», на запрос «будете вводить

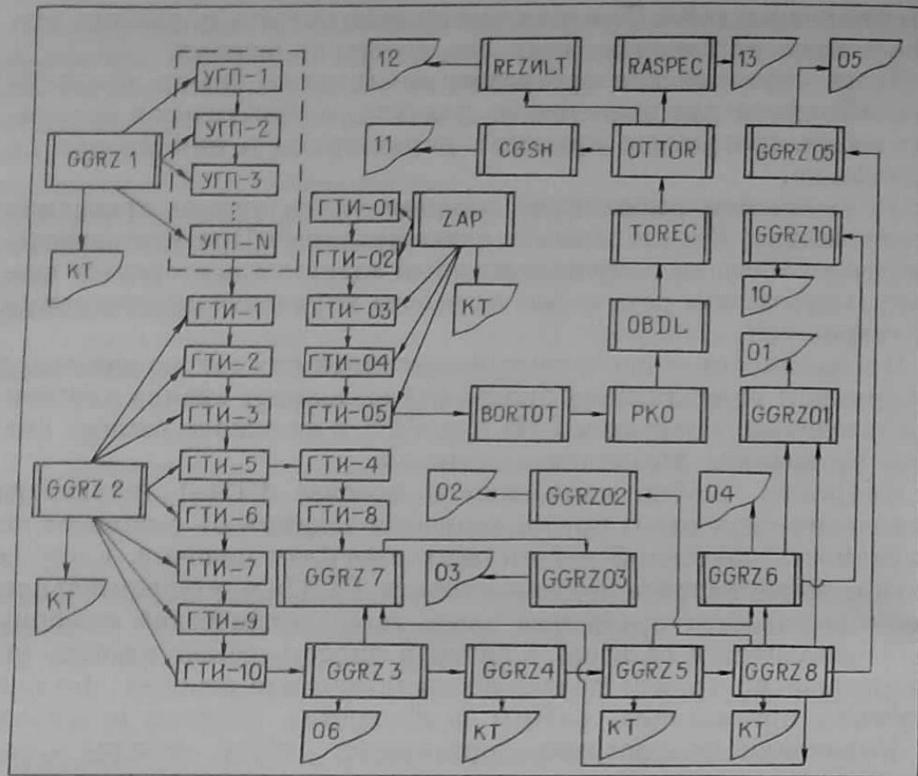


Рис. 5.2. Граф предметной области ППП ГГР-1 и ГГР-3.

ГТИ?» оператор отвечает «да». После этого вызывается программа ввода горно-технической информации и управляющая программа организует дальнейшую работу в режиме повторного счета.

В случае сбойной аварийной ситуации задание, во время расчета которого произошел сбой, необходимо представить на выполнение заново. Управляющая программа определит место сбоя и продолжит выполнение задания.

Работу управляющей программы пакетами ГГР-1 и ГГР-3 рассмотрим на графике предметной области (по терминологии [94]). Он представляет собой ориентированный график, включающий совокупность всех допустимых траекторий вычислительного процесса на множестве модулей пакета с учетом порядка обращений к ним и информационных связей между ними (рис. 5.2).

Возьмем для анализа одну из дуг графа. Пусть, например, пользователь затребовал выполнение задания 01 (вычисление данных по режиму горных работ). По схеме прослеживаем работу необходимых программ и требуемую при этом информацию. Из рис. 5.2 видно, что для выполнения задания необходимо наличие геологической информации, т. е. должна проработать программа ввода геологической информации (GGRZ1). Затем должна быть введена часть массивов ГТИ (работа программы ввода горно-технической информации GGRZ2). Далее необходима работа прог-

рамм: формирования границ торцов (GGRZ3), построения координат рабочих бортов (GGRZ4), вычисления площадей (GGRZ5), вычисления объемов (GGRZ8). После завершения указанных программ приступает к работе программы расчета данных для анализа режима горных работ.

Если после выполнения задания 01 пользователь затребовал выполнение 02 или 05, то вся необходимая информация для выполнения задания уже подготовлена и ЭВМ приступает непосредственно к выполнению 02 или 05.

Пользователь с самого начала может затребовать, например, выполнить только расчеты по потерям и засорениям угля, и тогда нет необходимости в работе перечисленных выше всех программ. Здесь достаточно информации по геологии и указанной на схеме горно-технической информации. После этого ЭВМ приступает к выполнению расчетов по заданию.

На графе предметной области ППП хорошо прослеживается и взаимосвязь информационного потока с вариантами расчетов. Например, если пользователь предлагает новый вариант технологических схем разработки, что соответствует новым данным в массиве ГТИ-3, то все предыдущие расчеты, следующие в логической цепочке после замены массива ГТИ-3, должны выполняться снова.

Как видно, логика связей на графе предметной области горно-геометрических расчетов достаточно сложна даже для ограниченного круга задач. Кроме того, необходимо учитывать, что в процессе выполнения задания возможны различные аварийные ситуации в работе оборудования, ограничения в регламенте распределения машинного времени. При такой сложной взаимосвязи всех факторов программист, ведущий работу с данным пакетом, практически не в состоянии выполнять контроль за процессом прохождения заданий.

Следовательно, управляющая программа является необходимым и важным элементом программного обеспечения пакетами. Предложенная структура управляющей программы оказалась достаточно эффективной, поэтому ее стали использовать в целом для системы автоматизированного проектирования угольных карьеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ржевский В. В., Школьников А. Д., Коробов С. Д. Использование электронных вычислительных машин для планирования и управления технологическими процессами на карьерах.— М.: Изд. ЦНИИТЭИ уголь, 1965.
2. Ржевский В. В., Коробов С. Д. Использование электронных вычислительных машин для подсчета объемов открытых горных работ.— Горн. журн., 1963, № 10, с. 20—27.
3. Проектирование, планирование и управление производством на карьерах посредством ЭВМ/Под редакцией В. В. Ржевского.— М.: Недра, 1966.
4. Ржевский В. В. Принципы классификации систем разработки и структур комплексной механизации на карьерах.— Горн. журн., 1968, № 2, с. 21—25.
5. Ржевский В. В., Ганицкий В. И., Коробов С. Д. Некоторые проблемы создания автоматизированной системы управления в горной промышленности.— Горн. журн., 1972, № 1, с. 20—23.
6. Табакман И. Б. Метод использования геологических разрезов при исследовании режима открытых горных работ с применением ЭВМ.— Изв. вузов. Горн. журн., 1965, № 2, с. 48—53.
7. Табакман И. Б. Календарное планирование горных работ на электронных вычислительных машинах.— Горн. журн., 1964, № 11.
8. Табакман И. Б. Исследование режима открытых горных работ на электронных вычислительных машинах.— Горн. журн., 1963, № 10, с. 9—12.
9. Табакман И. Б. Изыскание рационального порядка развития горных работ с применением электронно-вычислительных машин (на примере карьеров руд цветных металлов Средазсовнархоза): Автoref. ... канд. техн. наук.— М.: Моск. ин-т радиоэлектроники и горной электромеханики, 1964.— 17 с.
10. Коробов С. Д. Исследование динамики открытых горных работ на горизонтальных и пологих месторождениях посредством ЭЦВМ: Автoref.... канд. техн. наук.— М.: Моск. ин-т радиоэлектроники и горной электромеханики, 1965.— 18 с.
11. Коробов С. Д. Способ подсчета объемов открытых горных работ с помощью ЭЦВМ при использовании матричной модели месторождения.— Изв. вузов. Горн. журн., 1964, № 4, с. 43—50.
12. Коробов С. Д. Цифровая модель месторождения.— Тр. Моск. ин-та радиоэлектроники и горной электромеханики, 1964, № 5, с. 33—42.
13. Табакман И. Б. Принципы построения АСУ на карьерах.— Ташкент: ФАН, 1977.— 137 с.
14. Табакман И. Д., Мурадхаджаев Х. В. Принципы построения и опыт создания автоматизированных систем планирования и управления на карьерах.— В кн.: САПР горнодобывающих предприятий/Тез. докл.

15. Коробов С. Д., Косачева Л. Н. Геометрический анализ карьерных полей на ЭВМ.— В реф. сб.: Добыча угля открытым способом. М.: ЦНИЭИуголь, 1971, № 3, с. 15—16.
16. Коробов С. Д., Косачева Л. Н. Горно-геометрические расчеты при создании автоматизированной системы проектирования карьеров.— Горн. журн., 1972, № 9, с. 13—18.
17. Красильников В. Д. Исследование особенностей моделирования горно-геологических параметров пластовых месторождений и пространственных элементов карьеров с помощью ЭВМ: Автoref. ... канд. техн. наук. М.: Моск. ин-т радиоэлектроники и горной электромеханики, 1967.— 20 с.
18. Шухов А. Н., Рагозин С. Л. Построение модели для расчета объемов горных работ по углю и вскрыше на карьерах.— В реф. сб.: Добыча угля открытым способом.— М.: ЦНИЭИуголь, 1969, № 6, с. 34—38.
19. Васильев Е. И., Танайло А. С., Соколов Ю. В., Кортелев О. Б. Программа для вычисления текущих объемов горных работ на ЭВМ типа БЭСМ-4 (применительно к наклонным и пологопадающим месторождениям).— М., 1983, 36 с. (Рукопись деп. в ВИНИТИ, 1983—70Деп).
20. Васильев Е. И., Танайло А. С. Методика анализа режима горных работ с использованием ЭВМ на мульдообразных месторождениях.— Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1971, № 5, с. 76—83.
21. Васильев Е. И., Танайло А. С. Моделирование наклонных и пологих пластовых месторождений.— В реф. сб.: Добыча угля открытым способом.— М.: ЦНИЭИуголь, 1976, № 1, с. 14—16.
22. Горбачев Ю. Г., Васильев Е. И., Танайло А. С. К вопросу создания автоматизированных систем проектирования карьеров.— Уголь, 1976, № 8, с. 38—43.
23. Васильев Е. И., Танайло А. С. Использование ЭВМ для решения горно-геометрических задач открытых горных работ.— Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1977, № 3, с. 65—71.
24. Танайло А. С. Использование ЭВМ для вычисления емкостей внутренних отвалов.— В кн.: Вопросы вскрытия карьерных полей. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972, с. 250—257.
25. Танайло А. С., Красовский В. А., Баландис А. М., Зайцева А. А. Конструирование систем открытой разработки угольных месторождений.— Тр. II Всесоюз. конф. по автоматизации поискового конструирования, Новочеркасск, 1980, с. 122—123.
26. Денискин Б. А. Разработка методических основ выполнения на ЭВМ горно-геометрических расчетов при текущем планировании и проектировании открытых горных работ. Автoref. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кузбас. политехн. ин-т, 1975.— 24 с.
27. Левин В. Г. Исследование и моделирование на ЭВМ режима открытых горных работ на угольных месторождениях Центрального Кузбасса. Автореф. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кузбас, политехн. ин-т, 1976.— 25 с.
28. Лепилкин Т. М., Медовая С. М., Шарыкина Н. И. Автоматизация горно-геологических расчетов пластовых месторождений с применением ЭЦВМ.— Уголь Украины, 1967, № 8, с. 10—12.
29. Шкута Ю. К. Построение аналитических моделей месторождений.— Изв. АН КиргССР, 1969, № 3, с. 27—31.
30. Лепилкин Т. М., Медовая С. М. Аналитическая модель пластовых месторождений.— Уголь Украины, 1969, № 1, с. 13—16.
31. Симкин Б. А., Шкута Ю. К. Аналитическое моделирование месторождений и их открытой разработки.— М.: Наука, 1976.— 143 с.
32. Букейханов Д. Г., Султанов Р. М. Математическое моделирование сложноструктурных месторождений посредством сплайн-функций.— В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых/Тр. Казах. политехн. ин-та. Вып. 7. Алма-Ата, 1978, с. 84—88.

33. Аронов В. И. Методы математической обработки геологических данных на ЭВМ.— М.: Недра, 1977.— 168 с.
34. Хохряков В. С., Ткачев А. Ф. Аналитическое исследование режима горных работ карьера с применением вычислительных машин.— Изв. вузов. Горн. журн., 1964, № 1, с. 13—20.
35. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров/Хохряков В. С., Саканцев Г. Г., Яшкин А. З. и др.— М.: Недра, 1977.— 270 с.
36. Хохряков В. С., Яшкин А. З. Метод раздельного моделирования карьеров на месторождениях сложной формы при календарном планировании посредством ЭВМ.— Изв. вузов. Горн. журн., 1971, № 4, с. 13—20.
37. Хохряков В. С. Методы и критерии для решения горно-экономических задач на ЭВМ.— В кн.: Проблемы создания АСУ в горной промышленности. Ч. II. Свердловск, 1971, с. 10—13.
38. Хохряков В. С. Проектирование карьеров.— М.: Недра, 1980.— 336 с.
39. Яшкин А. З. Раздельное математическое моделирование геологических и технологических условий открытой разработки месторождений сложной формы.— Автореф. ... канд. техн. наук.— Свердловск: Свердл. горн. ин-т, 1972.— 18 с.
40. Квитка В. В., Левин Е. Л. Моделирование открытых горных работ в подсистеме выбора главных параметров полиметаллических карьеров.— Изв. вузов. Горн. журн., 1978, № 11, с. 3—7.
41. Квитка В. В., Левин Е. Л. Комплекс программ моделирования месторождений и карьеров на основе растровой модели.— В кн.: Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере. Л.: Наука, 1981, с. 56—61.
42. Букейханов Д. Г., Султанкулов Р. М. Структура пакета прикладных программ.— Там же, с. 51—52.
43. Букейханов Д. Г., Султанкулов Р. М. Объемное моделирование месторождений и технологических параметров посредством ЭВМ.— В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых/Тр. Казах. политехн. ин-та. Вып. 7. Алма-Ата, 1978, с. 100—107.
44. Съедин В. Ф. Подготовка исходной информации для блочной модели месторождения.— Там же, с. 107—111.
45. Васильев М. В., Аленичев В. М., Сивков М. Н. К вопросу представления горно-геометрической информации в ЭВМ.— Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1974, № 4, с. 81—87.
46. Аленичев В. М. Экономико-математическое моделирование горно-технических задач на рудных карьерах.— М.: Недра, 1983.— 134 с.
47. Аленичев В. М., Сивков М. Н., Старков А. А. Подготовка информационной базы для моделирования.— В кн.: Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере. Л.: Наука, 1981, с. 40—42.
48. Галайко В. В. Исследование направления развития горных работ на рудных месторождениях сложного строения. Автореф.... канд. техн. наук. Л.: Ленингр. горн. ин-т, 1982.— 22 с.
49. Ташайно А. С., Цильковский В. Н. Построение моделей рудных объектов по данным опробования на основе экономических критериев.— В кн.: САПР горнодобывающих предприятий/Тез. докл. Республиканской науч.-техн. конф. Ташкент, 1984, с. 118—119.
50. Астафьев Ю. И., Косенко В. И., Зеленский. Построение цифровой модели железорудного месторождения.— В кн.: 17 междунар. симпозиум по применению ЭВМ и математических методов в горных отраслях промышленности. М.: 1980, с. 228—235.
51. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики.— М.: Мир, 1968.— 408 с.
52. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд.— Л.: Недра, 1980.— 360 с.
53. Крамбейн У. К., Грейбиль Ф. Статистические модели в геологии.— М.: Мир, 1969.— 397 с.

54. Криге Д. Г. Роль математической статистики в методах уточненной оценки промышленного оруденения на рудниках Южной Африки.— В кн.: Вопросы математической геологии. Л.: Наука, 1968, с. 252—271.
55. Хохряков В. С. Проблемы создания систем автоматизированного проектирования горных предприятий.— В кн.: Совершенствование методов проектирования горных работ в карьере. Л.: Наука, 1981, с. 30—35.
56. Бирюков В. И. О сравнении данных разведки с результатами эксплуатации месторождений полезных ископаемых. (Обзор) — Препринт № 5. М.: ВИМС, 1967.— 48 с.
57. Цветков Н. И. Методы и модели экономической оценки месторождений минерального сырья в районах нового освоения.— М.: Наука, 1982.— 106 с.
58. Методы оптимального проектирования угольных шахт/Курносов А. М., Устинов М. И., Набродов И. П. и др.— М.: Наука, 1974.— 248 с.
59. Определение главных параметров карьера/Арсентьев А. И., Михайлов А. М., Шпанский О. В. и др.— М.: Недра, 1976.— 222 с.
60. Бриллантова Н. П., Осипова Т. В. Элементы оптимального комплексного проектирования развития угольных бассейнов.— М.: Наука, 1975.— 138 с.
61. Воронин Ю. А., Гольдина Н. А. Упрощенная схема математико-логического разбора геологических классификаций.— Геология и геофизика, 1965, № 2, с. 83—91.
62. Воронин Ю. А., Еганов Э. А. Методологические вопросы применения математических методов в геологии. Новосибирск.— Москва: Наука, 1974.— 85 с.
63. Немец В. В. Автоматизация геологических и эксплуатационных моделей месторождений полезных ископаемых.— В кн.: Механизация и автоматизация в геологических исследованиях. Л.: Недра, 1972, с. 81—86.
64. Еремеев А. Н. Системный подход при выделении и оценке геологических объектов.— Сов. геология, 1976, № 2, с. 53—60.
65. Смирнов А. С. Автоматизированные системы накопления, хранения, поиска и обработки информации по месторождениям полезных ископаемых.— В кн.: Итоги науки и техники. Общая геология. Т. 8: Математические методы в геологии. М., 1977, с. 59—112.
66. Чумаченко Б. А., Власов Е. П., Марченко В. В. и др. Опыт разработки банка данных для автоматизированных систем проектирования.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ в геологии. Алматы: КазИМС, 1974, с. 248—250.
67. Жарновский А. А. Исследование методов математического моделирования рельефа земной поверхности. Автореф.... канд. техн. наук.— М.: ЦНИИГАИК, 1973.— 24 с.
68. Лимонтов Л. Я. Разработка структурно-аналитической модели местности для решения топографических и инженерных задач. Автореф.... канд. техн. наук.— М.: ЦНИИГАИК, 1980.— 17 с.
69. Ягодина Л. Л. Математические модели рельефа. Автореф.... канд. техн. наук.— Л.: ЛГУ, 1973.— 26 с.
70. Неумывакин Ю. К. Обоснование точности топографических съемок для проектирования.— М.: Недра, 1976.— 158 с.
71. Безродный М. С., Фульмахт В. Я. Автоматизированная система строительного проектирования.— Киев: Будівельник, 1976.— 100 с.
72. Фролов С. А. Кибернетика и инженерная графика.— М.: Машиностроение, 1974.— 222 с.
73. Ширяев Е. Е. Новые методы картографического отображения и анализа геоинформации с применением ЭВМ.— М.: Недра, 1978.— 182 с.
74. Тапайно А. С. Исследование порядка открытой разработки месторождений при свитовом залегании наклонных и пологих пластов.— Автореф.... канд. техн. наук.— Кемерово: Кузбас. политехн. ин-т. 1973.— 24 с.

75. Гусев А. В., Танайно А. С. Алгоритм аппроксимации поверхности плоскими треугольниками и построение плана изотекущих коэффициентов вскрыши и профилей.— В кн.: Оптимизация параметров карьеров/Тр. ИГД СО АН СССР. Новосибирск, 1978, с. 159—168.
76. Коробов С. Д. Метод определения оптимальной конфигурации карьера на вертикальном разрезе.— В кн.: Проблемы создания САПР горнодобывающих предприятий/Тез. докл. II всесоюз. конф. Тула: Тульский политехн. ин-т, 1977, с. 38—40.
77. Васильев Е. И., Зиятинцев Ю. И., Танайно А. С. и др. Использование ЭВМ в практике проектирования разрезов Кузбасса.— В кн.: Открытая угледобыча в Кузбассе (опыт, проблемы, перспективы). Кемерово: кн. изд-во, 1976, с. 25—35.
78. Танайно А. С. Исследование очередности разработки свиты пластов.— В кн.: Вопросы вскрытия карьерных полей. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972, с. 20—30.
79. Танайно А. С., Красовский В. А., Шалагинова В. Н., Седов Г. П. Методика моделирования процесса перемещения фронта горных работ на математических моделях пластовых месторождений.— В кн.: Оптимизация параметров карьеров. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1978, с. 123—138.
80. Методические рекомендации к использованию ЭЦВМ при выборе направления развития горных работ на карьерах/Аленичев В. М., Сивков М. Н.— Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1973.— 37 с.
81. Васильев Е. И., Танайно А. С., Красовский В. А., Баландис А. М. Рабочая документация на пакет прикладных программ по горно-геометрическим расчетам при проектировании разрезов. ОФАП Мишуглепрома СССР, № 171, Москва — Ильинское, 1980.— 980 с.
82. Отраслевая инструкция по учету балансовых и расчету промышленных запасов, определению, нормированию, учету и экономической оценке потерь угля (сланца) при добыче.— М.: Мишуглепром, 1974.
83. Временные нормы эксплуатационных потерь угля в недрах для систем разработки, применяемых на разрезах комбината «Кемеровоуголь».— М.: Мишуглепром, 1974.
84. Васильев Е. И., Молотилов С. Г., Кортелев О. Б. Особенности подготовки горизонтов при открытой разработке пологих пластов.— В реф. сб.: Добыча угля открытым способом. М.: ЦНИЭИуголь, 1968, № 8, с. 15—20.
85. Танайно А. С., Зайцева А. А. Моделирование динамики развития внутренних отвалов.— В кн.: Оптимизация параметров карьеров. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1978, с. 139—159.
86. Системы разработки и транспорт на карьерах/Кузнецов К. К., Ястrebов А. И., Клепиков Л. Н. и др.— М.: Недра, 1974.— 424 с.
87. Дэвис Дж. Статистика и анализ геологических данных.— М.: Мир, 1977.— 480 с.
88. Зайцева А. А. Математические основы пространственного моделирования торцевых бортов карьеров.— В кн.: Теория проектирования открытых горных работ. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1982, с. 34—57.
89. Васильев Е. И., Слободчиков П. И., Танайно А. С., Хадов А. Г. Опыт разработки автоматизированной системы проектирования угольных разрезов.— Тр. 17-го междунар. симпозиума по применению ЭВМ и математических методов в горных отраслях промышленности. М.: Недра, 1980, с. 670—676.
90. Петров В. М., Иванов Е. А. Основные направления повышения технического уровня проектирования разрезов.— В кн.: Теория проектирования открытых горных работ. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1982, с. 3—9.
91. Танайно А. С., Баландис А. М. Управление вычислительными комплексами в автоматизированных системах проектирования угольных карьеров.— Там же, с. 22—34.

92. Жинтелис Г. Б., Карчаускас Э. К. К вопросу разработки структуры программного обеспечения автоматизированного проектирования с многогарнитурными модификациями.— Программирование, 1979, № 4, с. 15—18.
93. Тамм Б. Г., Тытугу Э. Х. Пакеты прикладных программ.— Техническая кибернетика, 1977, № 5, с. 23—29.
94. Гурова Л. И., Сахаров С. С. Прикладные программы.— М.: Статистика, 1980.— 280 с.
95. Бежанова М. М. Входные языки пакетов прикладных программ.— Препринт № 68. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1979.
96. Бежанова М. М. Встроенные проблемно-ориентированные системы.— Препринт № 205. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1979.
97. Грицай Л. А. Основы классификации моделей месторождений.— В кн.: Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере. Л.: Наука, 1981, с. 35—40.
98. Четвериков Л. И. Теоретические основы моделирования тел твердых полезных ископаемых.— Воронеж: Воронеж. ун-т, 1968.— 152 с.
99. Смирнов Б. В. Использование моделирования для прогноза инженерно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых.— М.: Недра, 1975.— 100 с.
100. Батороев К. Б. Аналогии и модели в познании.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981.— 317 с.
101. Четвериков Л. И. Теоретические основы разведки недр.— М.: Недра, 1958.— 158 с.
102. Гайдин А. М., Певзнер М. Е., Смирнов Б. В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых.— М.: Недра, 1983.— 310 с.
103. Карпачев Г. И. Опыт использования ИНЕС в системе информационного обеспечения ВЦКП.— Материалы семинара «Опыт использования баз данных ИНЕС», Московский дом НТЛ им. Ф. Э. Дзержинского. М., 1983.
104. Информационная система для ЕС ЭВМ ИНЕС. Документация на систему. Калинин: Центпрограммсистем, 1983, № 4718983. 00001—01 ЛУ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Геологическая информация в горно-геометрических задачах	6
§ 1.1. Развитие методов горно-геометрических расчетов с использованием ЭВМ	—
§ 1.2. Особенности информационной базы для горно-геометрических расчетов	—
§ 1.3. Принципы моделирования пластовых месторождений	12
§ 1.4. Построение модели месторождения по условным геологическим профилям на основе гипсометрических планов	16
§ 1.5. Построение модели месторождения по геологическим вертикальным разрезам	21
§ 1.6. Обобщенная информационная модель месторождения. Организация информационного обеспечения горно-геометрических расчетов	30
	35
Глава 2. Горно-техническая информация в горно-геометрических задачах	46
§ 2.1. Данные о границах карьера. Формирование данных для ввода в ЭВМ	47
§ 2.2. Информация об этапах горных работ в карьере. Формирование данных для моделирования динамики отработки месторождения	51
§ 2.3. Выделение технологических зон карьера. Формирование информации о системах разработки и их параметрах	55
§ 2.4. Информация об источниках потерь и засорения угля	65
§ 2.5. Информация о геометрии разрезных траншей при нарезке новых горизонтов	76
§ 2.6. Задача моделирования развития внутренних отвалов и ее информационное отображение	77
§ 2.7. Формирование общей информации о подотвальной поверхности	82
§ 2.8. Информация о конструктивных параметрах борта внутренних отвалов	84
Глава 3. Численные методы решения геометрических задач. Элементарные операции	89
§ 3.1. Геометрические операции с линиями	—
3.1.1. Вычисление координат точки пересечения двух прямых	—
3.1.2. Вычисление координат точки пересечения окружности с кривой	90
3.1.3. Определение расстояния от точки до кривой	92

3.1.4. Определение расстояния между двумя точками, принадлежащими разным прямым	92
3.1.5. Пересечение кривой с вертикалью	93
3.1.6. Пересечение прямой с произвольной кривой	94
3.1.7. Пересечение кривых	—
3.1.8. Пересечение горизонтальной прямой с произвольной кривой	95
3.1.9. Расстояние между кривыми	—
3.1.10. Построение кривой, отстоящей на заданном расстоянии от исходной кривой	96
§ 3.2. Операции с геометрическими объектами на плоскости	98
3.2.1. Определение угла встречи линии фронта горных работ с линией профиля	—
3.2.2. Определение угла падения пласта	100
3.2.3. Вычисление площади элементарного контура	—
3.2.4. Вычисление координат линии борта погашения карьера с разделительными линиями	103
3.2.5. Вычисление координат ломаного контура нерабочего борта	104
§ 3.3. Операции с геометрическими объектами в пространстве	105
3.3.1. Переход от плоскостно-координатной модели месторождения к пространственно-координатной	—
3.3.2. Уравнение плоскости профиля	107
3.3.3. Переход из одной плоскостной системы координат в другую	108
3.3.4. Расстояние от точки до плоскости	109
3.3.5. Расчет координат точки пересечения прямой и плоскости	—
3.3.6. Вычисление координат точки пересечения двух пространственных прямых	110
3.3.7. Вычисление координат проекции точки на произвольную плоскость	113
Глава 4. Методики и алгоритмы решения горно-геометрических задач	—
§ 4.1. Задача горно-геометрических расчетов во вскрышной и добывающей зонах карьера. Общая постановка	114
§ 4.2. Методика моделирования развития рабочей зоны карьера на профиле. Вычисление координат рабочего борта . .	117
§ 4.3. Методика моделирования процесса подготовки новых горизонтов	126
§ 4.4. Горно-геометрические расчеты в торцах карьера	131
§ 4.5. Расчет потерь и засорения угля	137
§ 4.6. Вычисление объемов и длин фронта по этапам отработки месторождения	141
§ 4.7. Задача горно-геометрических расчетов в зоне внутренних отвалов	145
§ 4.8. Алгоритм моделирования внутренних отвалов. Динамическая модель	146
Глава 5. Программное обеспечение горно-геометрических расчетов в автоматизированной системе проектирования	167
§ 5.1. Структура САПР угольных карьеров	—
§ 5.2. Пакет прикладных программ ГГР-4	170
§ 5.3. Пакет прикладных программ ГГР-3	175
§ 5.4. Управление вычислениями в ППП для горно-геометрических задач	178
Литература	186

1 р. 90 к.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ