

Ордабекова А. Ж.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРЬЕРОВ

Алматы 2014

УДК 622.271
ББК 33.12
О-650

Рецензенты: докт. техн. наук, проф. Бекмурзаев Б.Ж.,
докт. техн. наук, проф. Жалгасулы Н.,
докт. техн. наук, проф. Столповских И.Н.

Ордабекова А.Ж.

Геоинформационное моделирование карьеров. Учебное пособие. Алматы: КазНТУ, 2014 – 240 с. Табл. 13, ил. 41, список лит. 124 назв.

ISBN 978-601-228-414-0

В учебном пособии изложены теория и методы геоинформационного моделирования карьера, концепция моделирования месторождения, основной идеей которой является использование теории графов с целью повышения эффективности отработки месторождений полезных ископаемых.

Целью геоинформационного моделирования месторождений является создание комплекса геоинформационных и геометрических моделей при разработке многокомпонентных сложноструктурных залежей полезных ископаемых как математической базы для разработки алгоритмического и информационного обеспечения автоматизированного планирования и управления технологическими процессами на карьерах.

В работе использован объектно-ориентированный подход для решения отдельных задач при моделировании карьера.

Рекомендуется научным сотрудникам, специалистам в области геоинформатики, магистрантам и студентам горных специальностей.

ISBN 978-601-228-414-0

© Ордабекова А.Ж., 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	5
1.	СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАРЬЕРОВ И ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ.....	7
1.1	Недропользование как информационный процесс.....	7
1.2	Состояние уступов и бортов рудных карьеров и изученность экологической безопасности использования недр в Казахстане.....	16
1.3	Применение компьютерной технологии при обработке геолого-маркшейдерской информации.....	30
1.4	Современное состояние программного обеспечения для горных предприятий.....	43
1.5	Концепция геоинформационных методов моделирования, постановка задачи исследования, методы решения	48
2.	ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	51
2.1	Применение геоинформационных технологий.....	51
2.2	Графика и геометрические построения в горнопромышленных системах.....	62
2.3	Геолого-маркшейдерская информация при разведке месторождения.....	72
2.4	Геостатистическое исследование месторождения.....	79
2.5	Применение геоинформационных технологий при проектировании и эксплуатации карьеров.....	87
2.6	Построение автоматизированных информационных баз.....	93
3.	ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ КАРЬЕРОВ	107
3.1	Горное предприятие как геоинформационный объект	107
3.2	Методы обоснования решений.....	109

3.3	Принципы математического моделирования комплексных месторождений.....	113
3.4	Математические модели месторождения.....	134
4.	ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАРЬЕРА	143
4.1	Краткая горно-геологическая характеристика Житикаринского месторождения	143
4.2	Методика математических расчетов при геоинформационном моделировании	152
4.3	Исследование геоинформационного моделирования с использованием теории графов.....	155
5.	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	165
5.1	Классификация геоинформационных моделей месторождений и карьеров	165
5.2	Исследование структуры и типов моделей	173
5.3	Методика расчета объемов карьерного пространства ..	197
5.4	Методика ведения горных работ, влияющая на эффективность отработки рабочей зоны	199
5.5	Экономико-математическое моделирование с применением геоинформационных методов.....	205
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	227
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	299

ВВЕДЕНИЕ

Республика Казахстан обладает минерально-сырьевой базой мирового масштаба. В связи с этим, горно-металлургический комплекс (ГМК) должен иметь перспективы устойчивого развития, быть достаточно эффективным и конкурентоспособным. В ГМК важное место отводится открытому способу разработки месторождений твердых полезных ископаемых, как наиболее прогрессивному и экономичному способу, связанному с созданием и внедрением новых высокопроизводительных технологий производства горных работ.

В условиях перестройки экономических структур и введения системы рыночных отношений в Казахстане рациональное недропользование с учетом геологических особенностей месторождений, создающихся горно-технологических, экономических ситуаций, приобретает важное значение. В соответствии с указом Президента Республики Казахстан № 2828 “О недрах и недропользовании” одним из главных требований к разработке месторождений полезных ископаемых является повышение полноты и качества извлечения товарной продукции.

Охрана недр и комплексное использование минеральных ресурсов, повышение качества сырьевой базы добывающих предприятий, снижение потерь полезных ископаемых при добыче достижимы при рациональном ведении горных работ с применением эффективных инновационных технологий. В последние годы развернуты работы в области информационных технологий при оценке недр, добыче и переработке минерального сырья, создании систем автоматизированного проектирования.

Современные карьеры, как объекты проектирования и управления, относятся к большим и сложным динамическим системам. Они характеризуются большим многообразием составляющих их структурных подсистем различной природы, многофакторной взаимосвязью между ними. Поэтому принятие оптимальных решений при проектировании и эксплуатации горных предприятий является сложной проблемой. Достигнуть правильных решений невозможно без научно-обоснованного анализа, системного подхода к процессу моделирования карьера.

Развитие автоматизированных методов проектирования открытых горных работ связано с необходимостью создания

математических моделей рабочей зоны карьера, применением перспективных геоинформационных технологий при решении конкретных задач, систематизацией задач математического моделирования месторождений и технологических процессов.

Моделирование месторождений является необходимым условием для анализа с использованием компьютерной техники и технологий, так как модели раскрывают весь спектр важнейших решений, которые необходимо рассматривать при эксплуатации такой сложной системы, как карьер.

При этом использование системного подхода с применением геоинформационных методов установления оптимальных параметров и показателей карьеров, разрабатывающих многокомпонентные сложноструктурные месторождения, повышает надежность принимаемых решений.

Работа «Геоинформационное моделирование карьеров» является результатом исследований, выполненных в период с 2006 г. по 2012 г. в соответствии с планами НИР кафедры Открытых горных работ КазНТУ имени К.И.Сатпаева в рамках государственной научно-технической программы фундаментальных исследований по темам: №699.Ф.06/8—«Разработка теоретических основ новых технологий открытой отработки рудных залежей в сложных горно-геологических условиях», №722.Ф.09/6—«Создание научных основ геотехнологического регулирования качества комплексной рудной продукции при открытой отработке многокомпонентных месторождений».

В работе изложена концепция моделирования месторождения, в основе которой лежит использование теории графов при геоинформационном моделировании карьера.

Автор выражает глубокую благодарность доктору технических наук, академику НАН РК, заведующему кафедры «ОГР» КазНТУ имени К.И.Сатпаева профессору Ракишев Б.Р., рецензентам: доктору технических наук, профессору кафедры «Картография и геоинформатика» КазНУ имени Аль-Фараби Бекмурзаеву Б.Ж., доктору технических наук, профессору ИГД имени Д.А. Кунаева Н. Жалгасулы, доктору технических наук, профессору кафедры «ГММО» КазНТУ имени К.И.Сатпаева Столповских И.Н. за советы, направленные на улучшение содержания данной работы.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАРЬЕРОВ И ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

1.1 Недропользование как информационный процесс

Одной из областей применения геоинформационных систем является сопровождение работ в сфере недропользования.

Горно-металлургическая отрасль промышленности играет существенную роль в развитии экономики Казахстана, обладающего значительными запасами минерального сырья. Особая роль при этом отводится открытому способу производства как наиболее производительному и эффективному. Особенность открытой разработки месторождений заключается в возможности вовлечения в отработку глубоко залегающих месторождений со сложными горно-геологическими условиями эксплуатации.

Современные карьеры относятся к большим и сложным системам. Они характеризуются следующим: многообразием составляющих их объектов, иерархичностью подсистем различной структуры и выполняемых функций; наличием общих и локальных целей. Прибыльность производственно-хозяйственной деятельности карьеров в современных условиях во многом зависит от оптимальности принимаемых технических, технологических и финансово-экономических решений.

Особенностью процессов разработки месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом является то, что они сопровождаются большим объемом информации, которую необходимо переработать и передать для принятия рациональных решений в сфере производственной деятельности предприятий. Широкий спектр информации описывает различные природные и технические объекты и процессы открытой разработки месторождений полезных ископаемых. При этом возникают новые задачи по сбору, обработке, анализу, систематизации и передаче больших объемов информации. В настоящее время появилась острая необходимость в создании и развитии научно-методических основ геоинформатики и унифицированного представления информации для ее переработки и использования, а также в создании новейших

информационных систем с широким использованием современных компьютерных технологий.

Развитие информационных систем происходит высокими темпами благодаря широкому пространству предметной области открытой разработки полезных ископаемых. Информационные системы стали разрабатываться на новых и эффективных принципах. На первое место выносятся вопросы комплексного использования мощных совместно интегрированных систем общего и специального назначения с привлечением множества разнообразных данных, поступающих с большого числа рабочих мест пользователей на различных предприятиях, а также возможностей использования различного рода инструментов коммерческих СУБД отечественных, российских и западных производителей.

Важными особенностями информационных систем в области недропользования являются следующие:

- накопление и сохранение разнородной пространственно-привязанной информации по природным ресурсам;
- хранение разнотипных данных, обладающих развитой структурой, что характерно для слабо-формализованной предметной области;
- обеспечение достоверности информации в информационной системе на основе использования унифицированной системы [78].

Академик Трубецкой К.Н. отмечал, что информатика в горном деле формировалась вместе с развитием средств вычислительной техники, математического моделирования, методов измерения, связывающих единой информационной базой объекты и задачи физики, геологии, горного дела, топографии, горной экологии и экономики [79].

Основы технологии и комплексной механизации открытой разработки недр были заложены в фундаментальных трудах академиков Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, Б.Р. Ракишева, профессоров А.И. Арсентьева, К.Е. Винницкого, Н.Н. Мельникова, М.Г. Новожилова, Э.И. Ресетовича, Б.А. Симкина, В.С. Хохрякова и их учеников и последователей [1-2, 54-57].

Особую значимость геоинформатика получила в связи с развитием таких направлений, как САПР горных предприятий, АСУТП и АСУП. Термин «геоинформатика» появился в 1986 году на Всесоюзном семинаре по оптимизации горных работ в ИГД СО АН СССР в докладе профессора В.С.Хохрякова [45, 80-82]. Он был инициатором и вдохновителем становления и развития геоинформатики как науки. Бурный рост математических и оптимизационных методов в горном деле, начавшийся в шестидесятых годах двадцатого века, не обеспечил широкого внедрения полученных результатов в производство, кроме отдельных фрагментов, так как в те годы еще не сформировалась методология системного подхода. Однако в научном плане это послужило толчком к развитию теории и практики создания математических методов в геологии и горном деле, в частности математического моделирования месторождений полезных ископаемых и оптимизационных методов планирования горных работ, которые изложены в работах В.М.Аленичева, Д.Г.Буксейханова, Ю.Е.Капутина, В.В.Квитки, Г.К.Котова, С.Д.Коробова, С.Н.Сивкова, И.Б.Табакмана, А.С.Танайно, С.В.Цоя, Б.Ж. Бекмурзасва. Широкое распространение по всему миру получили за последние 20-30 лет специализированные интегрированные горно-геологические компьютерные системы DATAMINE, GEOSTAT, SURPAC, MICROMINE, Survcadd, GEMCOM и др., которые доведены до коммерческого использования. Данные системы предназначены для решения задач подсчета запасов в замкнутых контурах, проектирования и планирования горных работ с применением аппарата геостатистики. Эти системы предназначены, в основном, для проведения расчетов и моделирования в интерактивном режиме.

Различным научным и прикладным направлениям геоинформатики посвящены труды В.П. Кулагина, А.Д. Иванникова, С.И. Матвеева, А.Н. Тихонова [83-86], в которых отмечается, что современное состояние и развитие картографии как самостоятельного направления в геоинформатике формировалось на основе интеграции наук топографического производства: геодезии, маркшейдерии, дистанционных исследований зондирования и др., а также ГИС-технологий в их

геоинформационных и географических аспектах. Разработанные в дальнейшем зарубежье горно-интегрированные системы GIPSIE, PREMIER, РЭГМЭП, ПАТРИК предназначены для решения различных задач в геологии, МАРИКА - для землепользования, а Российские системы АЛИСА и РЕГИОН - для прогнозных работ по различным видам полезных ископаемых и их оценке.

Важный вклад в развитие теории и практики объектно-ориентированного моделирования и геоинформатики внес В.М. Шек [48]. Им разработаны методы и алгоритмы моделирования в автоматизированных системах управления и обработки информации горнопромышленных предприятий. Большое внимание уделено ГИС-технологиям и конкретным вопросам использования геоинформационных технологий при проектировании и эксплуатации горнопромышленных сложных систем.

Объектно-ориентированный подход и его отдельные фрагменты, как более совершенные методологии на сегодняшний день, являются эффективным инструментом решения проблем сложных систем, к которым относятся современные карьеры. Объектно-ориентированная технология - это анализ, проектирование и программирование сложных систем. При этом ключевым моментом объектно-ориентированной методологии являются объекты и классы, а объектно-ориентированных технологий - объектные модели.

Основные фундаментальные и прикладные вопросы объектно-ориентированного анализа, проектирования, программирования и баз данных приведены в работах Гради Буча [59,87], Иана Грехема [88], Филиппа Крачтена [89] и Джима Арлоу [60]. Они отмечают, что объекты или их экземпляры, организованные в классы, на этапе концептуализации, проектирования и программирования являются основными единицами построения системы. Под объектом понимается категория с четко определенными границами, инкапсулирующая состояние и поведение. Состояние выражается параметрами и отношениями, а поведение - операциями и методами. Объекты - это экземпляры класса [59, 60]. В этих трудах они исследуют и приводят основные понятия, термины, идеологию объектно-ориентированной методологии. Объект как реальность существует в определенной среде, находится в определенных

отношениях с другими объектами и имеет свое функциональное назначение. Под объектной моделью понимается реально существующая или мысленно представляемая (абстрактная) система, созданная на основе основополагающих принципов объектно-ориентированной методологии: абстрагирования, типизации, модульности, иерархичности, устойчивости, которая находится в определенных отношениях с оригиналом. При этом должны выполняться точно зафиксированные условия сходства между моделью и оригиналом.

«Бурное развитие системного и объектно-ориентированного подходов и способов решения проблем больших сложных динамических систем предопределило возникновение и становление геоинформатики как ветви информатики в области наук о Земле, отражающей и изучающей природные и искусственные технические и социально-экономические геосистемы, отношения в них и между ними, процессы, происходящие в недрах и на поверхности Земли, в объектах при недропользовании и переработке минерального сырья, их формирование, функционирование и развитие».

В отличие от информатики, обработка информации в геоинформатике опирается на реальные данные и основана на комплексном подходе. В ней используют информационное моделирование и методы обработки, применяемые в геодезии и дистанционном зондировании. В геоинформатике в качестве основной формы используют цифровое и картографическое представление информации. Таким образом, геоинформатика является наукой, изучающей все аспекты сбора, обработки и представления информации о свойствах объектов, процессов и явлений, происходящих на Земле и ее недрах. Она изучает пространственно-временные процессы, явления и системы в масштабах, сопоставимых с объектами горнопромышленной системы.

В рамках данного подхода в Казахстане ведется разработка подсистемы мониторинга подземных вод информационно-аналитической системы Государственного мониторинга состояния недр, Государственного банка информации о недрах и недропользовании Республики Казахстан и др. Разработаны методика, технология и ряд программных решений для

эффективной реализации основных стадий проектирования, разработки, апробации и развития информационных систем в области мониторинга недр и управления недропользованием. Приоритетными задачами многих научных направлений становится не просто получение данных или информации, а развитие возможностей приобретать, применять знания, накапливать и обновлять информационные ресурсы данного направления. Это определяет роль новых информационных технологий в развитии научных направлений и решении прикладных задач.

Объектами геоинформационного изучения являются, главным образом: геологическая среда; природные явления, наблюдаемые в недрах; техногенные процессы; горные объекты (природные и искусственные), находящиеся на земной поверхности и в земной коре, их взаимное расположение; параметры изменения состояния процессов и объектов; экологические и экономические последствия освоения недр в различных формах изменения при управлении производством.

Каждый объект отличается: разнообразием видов информации, обрабатываемой при научных исследованиях и принятии решений, в условиях производства (географическая, климатическая, геологическая, геофизическая, гидрогеологическая, горно-техническая, геомеханическая, графическая, технологическая, экологическая, финансово-экономическая т.д.); высокой степенью изменчивости, неопределенностью и недостаточностью исходной информации; динамичностью горного производства в сочетании с необходимой долговременной сохранностью инженерных сооружений и коммуникаций; сложностью проведения промышленных и лабораторных экспериментов, необходимостью замены их приближенными вычислительными экспериментами. [79]

Геологическая среда - это реальное физическое пространство земной коры, которое характеризуется совокупностью свойств её пространственных частей, а также процессами, происходящими в недрах земли. Геологические объекты являются частью геологической среды и проявляются в особых геологических структурах, охватывая определенные площади распространения полезных ископаемых (провинции, бассейны, территориальные зоны, районы, месторождения и их отдельные части, тела и

образования). Массивы горных пород, находящиеся в сфере действия горных предприятий, представляющие горно-геологические объекты, составляют некоторую геологическую структуру или их часть и характеризуются литологическим составом и внутренним строением. Горно-геологические объекты обладают первичными геологическими и горнотехническими свойствами, которые проявляются только после оконтуривания залежей по геологическим, промышленным или эксплуатационным кондициям и относятся к природно-техническим и финансово-экономическим категориям. Все принимаемые технические и технологические решения на всех стадиях геологоразведочных, предпроектных, проектных работ и при эксплуатации карьера по горным отводам, границам карьерных полей, главным параметрам карьеров, системам разработок, технологии и комплексной механизации горных работ, системам и схемам вскрытия и подготовки рабочих горизонтов, технологии и параметрам производственных процессов органически связаны с пространственно-морфологическими факторами геологических объектов. К важным геологическим факторам относятся такие показатели назначения, как технологичность и сохраняемость [53].

К важнейшим показателям, характеризующим полезные ископаемые и породы вскрыши, относятся факторы, отражающие химический и минеральный состав горных пород и, в том числе, полезных ископаемых, их текстурно-структурные особенности, физико-механические, физико-химические и технологические свойства. Запасы, формы и размеры месторождений полезных ископаемых и их отдельных частей, выдержанность рудных тел в плане и в глубину определяют производственную мощность и масштабность горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

К важным пространственно-морфологическим факторам, характеризующим целостность массивов горных пород, относятся тектонические нарушения. К тектоническим нарушениям, в особенности крупным, как правило, прилегают зоны дробления, брекчирования массивов горных пород, что увеличивает сложность и неоднородность геологического строения месторождения. Важным фактором, влияющим на выбор углов наклона уступов,

временно нерабочих и рабочих бортов карьера, является их трещиноватость.

Следующим фактором, влияющим на устойчивость карьерных откосов, являются гидрогеологические условия в районе, к которым относятся: тип и условия залегания подземных вод; мощность и количество водоносных горизонтов; гидродинамические показатели водоносных горизонтов.

Одним из факторов инженерно-геологических условий разработки является газоносность горных пород. При этом, в определенных условиях могут содержаться метан, углекислый и сернистый газы; тяжелые углеводородные и инертные газы; азот, водород, оксид углерода, сероводород и т.д. Распределение газов на месторождениях зависит от вида, типа и свойств полезных ископаемых, условий их залегания и структурных особенностей месторождения и вмещающих их пород.

Методы оценки устойчивости карьерных откосов основываются на теории равновесия сыпучей среды. При этом данные методы можно разделить на группы, когда условие равновесия удовлетворяется в каждой точке некоторой области среды (аналитические методы) и когда условие предельного равновесия соблюдается не во всех точках некоторой области массива горных пород, а только во внутренней границе области, находящейся в предельном равновесии.

Наибольшую известность и широкое применение в практике получил метод Г.Л.Фисенко [58]. В настоящее время метод Г.Л.Фисенко адаптирован к аналитическому решению задач устойчивости откосов на компьютере.

Г.Л.Фисенко и его учениками определены и сформулированы основные задачи и методы оценки устойчивости откосов, типизированы условия формирования бортов карьеров и их деформаций, определена роль маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов, откосов уступов в системе обеспечения устойчивости прибортовых массивов горных пород [97].

Управлением устойчивости породных откосов различных инженерных сооружений занимаются как отечественные, так и зарубежные исследователи, и организации (ВНИМИ, Унипромедь, ИГД имени Д.А.Кунаева, ГИГХС, КарГТУ, КазНТУ и др.). В

странах СНГ большой вклад в изучение вопросов устойчивости откосов на карьерах внесли такие ученые, как: Н.В.Мельников, В.В.Ржевский, Э.Л.Галустьян, А.Ж.Машанов, М.А.Ревазов, Г.Л.Фисенко, В.Н.Попов, М.Б.Нурписова, А.М.Гальперин, А.М.Дёмин, Т.Т.Ипалаков, Ф.К.Низаметдинов, Р.П.Окатов, М.Е.Певзнер, Ю.И.Туринцев, Н.Н.Куваев и многие другие.

Исследование вопросов, связанных с задачей устойчивости откосов уступов и бортов карьеров, ведётся практически для каждого конкретного месторождения, так как условия их разработки открытым способом требуют тщательного изучения всех влияющих факторов. В результате предложено большое число различных методик при изучении рассматриваемой задачи. Из всего многообразия факторов, влияющих на устойчивость откосов с вмещающими скальными и полускальными породами, можно выделить три основных фактора, требующие обязательного учёта при обеспечении устойчивости откосов:

- 1) структурно-тектонические особенности горного массива;
- 2) прочностные свойства горных пород;
- 3) технология ведения буровзрывных работ.

В настоящее время имеется целый ряд инструкций, руководств, научных статей, которые посвящены вопросу изучения физико-механических свойств пород. Разработана техника отбора проб, методика лабораторных испытаний образцов горных пород и натурных испытаний по сдвигу блоков в горном массиве.

Большой объём исследований по изучению физико-механических свойств пород проводится в институтах ВНИМИ, УкрНИИпроект, в специализированных лабораториях ЦентрКазгеология Казахстана и др.

Все факторы объединяются в две основные группы: природные и горнотехнические [62]. Совокупность всех этих факторов определяет напряженное состояние прибортового массива и условия его деформирования во времени. Вопрос о влиянии буровзрывных работ на устойчивость уступов и бортов карьеров, сложенных скально-трещиноватыми породами, решался целым рядом советских и зарубежных исследователей. В работах Г.Л.Фисенко, Б.П.Юматова, М.Е.Певзнера [97], А.Ж.Машанова [95], В.К.Рубцова,

Ю.И.Туринцева и ряда других авторов указывается на серьезное значение данной задачи и предлагаются частные решения.

Таким образом, анализ воздействия указанных факторов на устойчивость карьерных откосов показывает, что эти воздействия проявляются в разнообразных формах и требуют их учета при геoinформационном моделировании.

1.2 Состояние уступов и бортов рудных карьеров и изученность экологической безопасности использования недр в Казахстане

Казахстан является одной из крупнейших горнодобывающих стран мира. Наша страна занимает первое место по разведанным запасам вольфрама, цинка, барита, второе место по запасам серебра, хромитов и свинца, третье – по меди и флюорита, четвертое - по молибдену и шестое место - по золоту. На долю Казахстана приходится 90% общих запасов хромитов, 60% вольфрама, 50% свинца и меди, 30% бокситов, 25% фосфоритов среди стран содружества [65].

В большинстве случаев открытые горные разработки вызывают деформации прибортовых массивов. Деформации карьерных откосов снижают основные преимущества открытых работ, наносят значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушая безопасное ведение горных работ и вызывая потери полезного ископаемого.

Проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов является одной из важнейших в горном деле. Приведем причины деформаций прибортовых массивов и разнообразие их проявлений.

Согласно исследованиям [94-96], деформации откосов уступов, бортов карьеров и отвалов можно обобщенно разделить на пять видов: осыпи, обрушения, оползни, просадки и оплывины. Такие виды деформаций в большей или меньшей мере отмечаются на многих карьерах Казахстана. В свою очередь, выделенные виды деформаций прибортовых массивов на карьерах имеют много разновидностей, появляющихся в различных горно-геологических

условиях. Но и между отдельными видами деформаций четкой границы не существует.

Причинами появления деформаций являются:

- несоответствие углов наклона карьерных откосов геологическим условиям или недостаточная изученность этих условий (структурно-тектонические особенности горного массива и его физико-механические свойства);

- ведение горных работ с отклонением от проектных решений, отсутствие дренажа или его неэффективность;

- неудачный выбор метода расчета параметров откосов уступов и бортов карьера и оценки их устойчивости.

Рассмотрим типичные случаи возникновения того или иного вида деформации карьерных откосов на примере открытых разработок Центрального Казахстана.

При выемке пород экскаватором в слабых массивах откосы уступов высотой 10-15м имеют вогнутую форму. Так как угол наклона откоса больше угла естественного откоса, то с течением времени происходит постепенное разрушение верхней части уступа под влиянием высыхания пород, и у его подошвы накапливается осыпь с углом наклона 34-36 градусов. Процесс разрушения и осыпания крутой части откоса завершается после того, как развитие осыпи достигает верхней бровки откоса.

При производстве массовых взрывов скважинных зарядов большого диаметра разрушение массива пород распространяется на некоторое расстояние от оси последнего ряда взорванных скважин.

В этой части уступа происходит расчленение естественных отдельностей друг от друга по плоскостям спайки. С течением времени откосы таких уступов разрушаются, то есть имеет место естественное осыпание.

Как в первом, так и во втором случае, оставляемые между уступами предохранительные бермы частично покрываются осыпью пород вышележащего уступа. В результате нерабочий борт приобретает вид сплошного откоса большой высоты. Работа в такой зоне карьера становится опасной.

Таким образом, обрушение откосов уступов на карьерах как правило, происходит по поверхностям ослабления естественного происхождения, к которым относятся тектонические нарушения,

контакты слоев, сланцеватость, трещины большого протяжения, падающие в сторону выемки. Так как прочностные характеристики пород по поверхностям ослаблений в несколько раз меньше, чем в массиве, то величина углов наклона устойчивых откосов полностью зависит от пространственной ориентировки этих поверхностей ослаблений. Выявлено несколько типов обрушений прибортовых массивов, обусловленных сочетанием отдельных поверхностей ослаблений и их взаимным расположением:

1. Обрушение породных блоков по наклонной поверхности ослабления, продольной и диагональной ориентации относительно откоса.

2. Обрушение породного клина по двум сопряженным поверхностям ослабления, подрезанных откосом.

3. Вывал с обрушением породной призмы по крутопадающей и подсекающей поверхностям ослабления продольного и диагонального залегания.

4. Вывал породной призмы по двум диагональным поверхностям ослабления крутого падения.

Как и осыпи, обрушения приводят к образованию сплошных откосов. Однако, в отличие от постепенного увеличения объемов осыпей на бермах, возникновение обрушений, длящихся несколько секунд, оказывается неожиданным и проявляется катастрофически.

Ширина по фронту откоса одновременно оползающего блока зависит от пластичности глин и высоты откоса – чем выше эти параметры, тем больше ширина [16].

Практически на каждом карьере можно встретить наличие осыпей, присущих всем откосам, сложенным различными типами пород.

Во многих случаях, при достаточной изученности структурных особенностей прибортовых массивов, их физико-механических свойств, обводненности, необходимо разработать мероприятия по управлению устойчивостью карьерных откосов. Такими мероприятиями могут быть эффективное осушение прибортовых массивов, разработка обоснованной технологии ведения буровзрывных работ при постановке уступов на проектный контур, управляемое обрушение уступов скальных пород и создание

искусственных способов укрепления нарушенных откосов карьеров.

Возрастающие потребности народного хозяйства республики в топливе и минеральном сырье обеспечиваются объемом добычи полезных ископаемых за счет преимущественного развития открытого способа разработки. В настоящее время в Казахстане около 70% всех объемов добычи осуществляется с применением более экономичного и безопасного открытого способа разработки. В ближайшей перспективе развитие добычи полезных ископаемых будет осуществляться преимущественно за счет интенсификации открытых горных работ на действующих карьерах, их реконструкции и технического переоснащения. Характеристика проектных решений по некоторым рудным карьерам приведена в таблице 1.1 [53].

Таблица 1.1. Проектные параметры рудных карьеров

Карьеры	Угол падения затежи, градус	Длина карьера, км	Ширина карьера, км	Глубина карьера, м	Угол наклона уступов при погашении	Высота нерабочих уступов, м
Сарбайский	40 - 55	3,2	2,4	650	50 - 60	30 - 45
Учалинский	70 - 80	1,9	1,0	326	60	36
Сибайский	40	1,4	1,4	471	30 - 65	30 - 40
Оленогорский	65 - 80	3,9	0,85	385	50 - 60	24
Гайский ГОК	55 - 70	1,6	1,22	340	30 - 35	30
Коунрад	70 - 80	2,0	1,7	570	45 - 65	30
Саяк	75 - 90	1,9	0,73	300	50 - 60	30
Аюжал	50 - 60	2,0	0,80	240	60 - 70	30

Ширина предохранительных берм в пределах 6-35 м, а транспортных - от 17 до 40 м (таблица 1.2).

Таблица 1.2. Проектные параметры элементов конструкции бортов карьеров

Карьеры	Высота уступов, м		Угол наклона уступов при погашении, градус	Ширина берм, м	
	Рабочих	Нерабочих		Предохранительных	Транспортных
Сарбайский	5-10	30-40	30-65	6-12	17-20
Акжал	10	30	60-70	10-12	15-21
Коунрад	15	20-30	45-65	10-14	30-37
Саяк	7,5-15	30	50-60	10	20
Аксай	10-15	30	50-70	10	20
Родниковый	5-10	20	60	6-8	16
Жерек	10	20	60	6-8	15

Высота уступа на предельном контуре изменяется в пределах 20÷45м, а углы их наклона находятся в пределах 30÷70 градусов.

Зарубежная практика развития открытого способа разработки свидетельствует об аналогичной тенденции. В США, Канаде и Австралии открытым способом добывается 97% полезных ископаемых.

Добыча полезных ископаемых из недр открытым способом сопровождается значительным объемом вскрышных пород. Размещение их на земной поверхности ведет к отчуждению больших площадей сельскохозяйственных, лесных и других угодий. Отходы горно-металлургического производства наносят значительный ущерб дневной поверхности земли, гидрогеологическому режиму, засоряют атмосферу, воду, почву и нарушают естественное равновесие в природе. Содержание 1т отходов обходится республике в 0,85 долл. США, а ущерб от загрязнения промышленными отходами оценивается в 13,6 млрд. долл. США.

Из приведенных данных очевидно, что в условиях проектирования, строительства и эксплуатации карьеров с глубиной разработки до 800 м надежность и рациональность управления устойчивостью бортов карьера оказывает существенное влияние на эффективность и безопасность

отработки месторождений и на уровень отрицательного воздействия на окружающую среду.

Проблемы, связанные с эксплуатацией и управлением устойчивостью бортов карьеров, отличаются большим разнообразием, значительной сложностью и в настоящий период имеют разный уровень решения.

Благодаря огромным запасам полезных ископаемых Казахстан по праву считается важнейшей кладовой минерального сырья.

Рассмотрим некоторые карьеры Центрального Казахстана, разрабатывающие месторождения полезных ископаемых в различных горно-геологических условиях, которые послужили экспериментальной базой и объектом внедрения при исследовании и решении задачи обеспечения устойчивости стационарных откосов на проектном контуре [99-102].

Месторождение Саяк. Саякские карьеры разрабатывают Саякское меднорудное месторождение, служащее одной из сырьевых баз Балхашского горно-металлургического комбината. Оно расположено в центральном Казахстане, в 150 км восточнее г. Балхаш и в 40 км севернее озера Балхаша.

Район месторождения характеризуется полупустынной местностью, мелкосопочным рельефом. В геологическом строении Саякского рудного района принимают участие туфогенно-осадочные (песчаники, алевролитовые туфы, известняки), эффузивные (роговообманковые андезитовые, кварцевые и пироксеновые порфириды), метаморфические (мраморы, контактовые роговики и скарны) и гидротермальные изменённые (актанолитовые и хлоритовые скарны) породы. Рудные тела месторождений имеют в основном пластообразную и жиллообразную форму протяжённостью порядка 2,5 км с севера на юг и шириной 700÷800 м. Мощность рудных тел колеблется от 1 до 60 м, преобладают рудные тела мощностью 14 м. В основании геологических разрезов залегают крепкие алевролитовые туфы. Выше располагаются пачки песчаников мощностью от 15 до 45 м. Над песчаниками залегают известняки мощностью от 150 до 170 м на северном фланге и

100÷150 м на южном. Интрузивные породы - гранодиориты слагают восточный и северо-восточный борта карьера «Саяк-1».

Характерным для месторождения является наличие большого числа даек, секущих все осадочные и интрузивные породы. Основная масса даек имеет северо-восточное простирание. Углы падения крутые - до $75\div 90^\circ$. Протяжённость даек колеблется от десятков до тысячи метров. Месторождение находится в крупном тектоническом блоке, ограниченном Северо-Саякским сбросом на севере и Молдыбайским сбросом на юге. Его трещинная тектоника полностью подчиняется закономерности всего Саякского рудного района. Общий план трещинной тектоники района и его отдельных участков отчетливо характеризуется дайками [68].

Обследование поверхности откосов карьеров показало, что крупные нарушения их устойчивости (оползни, обрушения) здесь не имеют места. Центральная зона разломов не представляет опасности для устойчивости всего борта в целом. Однако преобладание мелкоблочных пород в районе данного нарушения на участке шириной 50÷60 м является причиной интенсивного осыпобразования и выколаживания откосов. Крепость пород колеблется от 8 до 17 по шкале проф. М.М.Протоdjяконова. Коренные породы выходят на поверхность. Плотность пород в среднем равна $2,7 \text{ т/м}^3$.

В настоящее время месторождение отрабатывается карьерами «Саяк-1» и «Тастау». Самый крупный карьер «Саяк-1» удален от карьера «Тастау» на расстояние 10 км. Размеры карьера «Саяк-1» в плане составляют 1300÷780 м, а «Тастау» – 1000÷4000 м. Оба карьера по проекту Гидроцветмета имеют два дна: в основной части глубина карьера «Саяк-1» составляет 255÷265 м, а в южной части – 145 м; соответственно, глубина карьера «Тастау» в основной части составляет 150 м, а в юго-западной части – 65 м.

Углы наклона северного и южного бортов карьера «Саяк-1» приняты равными 30° и 32° , западного – 43° и восточного – 45° . Углы наклона откосов уступов изменяются от 60° до 75° . Углы наклона бортов карьера «Тастау» приняты в среднем 45° , а откосов уступов – от 55° до 75° .

Ширина транспортных берм карьеров равна 20 м, предохранительных берм – 8÷10 м. Высота рабочих уступов по проекту принята 15 м, а на граничном контуре уступы высотой 30 м сдваиваются под один откос.

Месторождение Акжал. В 2000 году на основе подсчета запасов руд месторождения был разработан новый проект отработки нижних горизонтов. В проекте по расширению границ (реконструкции) действующего Центрального карьера отражен вопрос по наблюдению за деформациями бортов в целом и за деформациями отдельных участков с неблагоприятными условиями устойчивости.

Свинцово-цинковое месторождение Акжал, отрабатываемое открытым способом, сложено в основном известняками и песчаниками кассанских слоев нижнего турне. Известняковая свита обнаруживается в центральной и юго-западной части участка. В верхней части отмечаются линзы и прослои грубозернистых полимиктовых песчаников, состоящих из окатанных зерен кварца, полевого шпата и кальцита, сцементированных песчано-карбонатным материалом. Мощность горизонта нижних кремнисто-глинистых известняков равна 100 м [69-70].

Массивные известняки являются основным рудовмещающим горизонтом. Внешний вид известняков довольно разнообразен, причем разновидности сменяют друг друга как по простиранию, так и по падению без всякой закономерности. Мощность горизонта в пределах месторождения колеблется от 50 до 200 м.

Вмещающими породами являются массивные, скарнированные известняки, диоритовые и диабазовые порфиристы с незначительным количеством глинистых и кремнистых примесей. Коэффициент крепости этих пород по шкале проф. Протоdjяконова М.М. равен 8-10. Углы наклона откосов уступов на карьере приняты от 45° в верхней части до 65° - в нижней части.

Ширина предохранительных берм составляет 8-12 м. На проектном контуре отстраиваются уступы высотой 30 м. Вскрытие рабочих горизонтов карьера осуществлено траншеями

внешнего и внутреннего заложения со спирально-петлевой формой трассы, размещаемой стационарно на бортах карьера. Ширина транспортных берм принята 15,5-21 м в зависимости от объема грузопотоков.

Все уступы карьера сложены сильно трещиноватыми породами, представляющим определенную опасность при ведении горных работ.

Месторождение Родниковое. Полиметаллическое месторождение Родниковое открыто в 1991г. КГГП «Волковгсология». Рельеф поверхности района месторождения имеет спокойный характер с незначительными колебаниями отметок в пределах первых метров. Незначительная мощность рыхлых пород и выход рудных залежей практически на дневную поверхность предопределили открытый способ разработки.

Родниковое месторождение характеризуется благоприятными горно-геологическими и инженерно-геологическими простыми условиями разработки [72]. Рудовмещающими на месторождении являются скальные породы.

В Родниковом месторождении в основном залегают риодацитовые порфиры, диоритовые порфиры, андезитовые порфириты, которые относятся к крепким породам.

Коэффициент крепости по шкале профессора Протодяконова составляет $12 \div 16$. Объемная масса руды от $2,7 \div 2,9 \text{ т/м}^3$, вмещающих эффузивов андезито-дацитовых пород - $2,62 \div 2,67 \text{ т/м}^3$, пористость пород колеблется от 0,74 до 2,60%, водонасыщение от 0,15 до 0,74%, коэффициент снижения прочности при насыщенности водой изменяется от 0,72 до 1,00, а в среднем он составляет $0,88 \div 0,92$, который с глубиной несколько снижается при неизменности других показателей физико-механических свойств.

Почвенно-растительный слой имеет мощность всего $0,2 \div 0,3$ метра. Естественная влажность руды и пород невысокая и редко достигает $1,5 \div 2,0\%$. Ожидаемый водоприток составляет в среднем $30 \text{ м}^3/\text{час}$. Суммарная мощность рыхлых наносов обеспечивает возможность быстрого вскрытия рудных горизонтов и начала производства добычных работ.

Месторождение Дружное - расположено в Шуском районе Жамбылской области. В районах рассматриваемых геологических разрезов залегают в основном андезитовые порфиристы. Они относятся к крепким породам. Коэффициент крепости по шкале профессора Протодяконова составляет $16 \div 20$, плотность $2,78 \text{ т/м}^3$.

Анализ результатов геофизических методов позволил охарактеризовать породы месторождения по их физическому состоянию – наличию и степени трещиноватости, до глубины порядка 250 м. Результаты исследований показали, что трещиноватость пород на месторождении развита неравномерно как на глубину, так и по площади.

На основании анализа зон трещиноватости по скважинам установлено их субсогласное залегание с рудными телами (гидротермально измененными зонами), а интенсивность трещиноватости, в основном, убывает на глубину. Борта проектируемого карьеров месторождения «Дружное»:

- при высоте борта 100 м и угле наклона 50° имеют коэффициент устойчивости $\eta_{\text{уст}}=1,5$ по методике КарГТУ и коэффициент устойчивости $\eta_{\text{уст}}=1,7$ по методике ВНИМИ.

- при высоте уступа 30 м и угле наклона уступа 70° коэффициент устойчивости $\eta_{\text{уст}} = 2,04$.

Месторождение Жерек. Золоторудное месторождение Жерек находится в 36 км на юго-западе от города Семей и занимает площадь около 50,0 га. Длина месторождения – 1800 м, ширина – в среднем 270 м, проектируемая глубина разработки до 100 м, мощность рудных тел от 2 до 26 м, угол падения преимущественно пологий – $30 \div 40$ градусов. К югу от месторождения расположен сглаженный мелкосопочник с отметками 280-310 м. На север от месторождения простирается ровная долина, сложенная неогеновыми глинами и рыхлыми четвертичными отложениями. Месторождение характеризуется очень слабой обводненностью. [102]

Тектоника на месторождении имеет важную роль, так как разломами контролируются зоны окварцевания и гидротермальной проработки с золотосульфидным оруденением. Рудные тела залегают в моноклинальной

черносланцевой толще и приурочены к осевой части Жерекского разлома. Зона Жерекского разлома протягивается с запада на восток через всю площадь месторождения.

За пределами рудной зоны породы устойчивы, их коэффициент крепости по шкале М.М.Протоdjяконова составляет от 6,0 до 13.

Житикаринское месторождение хризотил-асбеста, являющееся вторым по величине (после Баженовского) в СНГ, находится на территории Житикаринского района Кустанайской области Республики Казахстан.

Запасы месторождения составляют более миллиарда тонн руды с содержанием в ней нескольких десятков миллионов тонн асбеста, 85% которого содержит залежь Основная. Вследствие этого, залежь Основная является первоочередным объектом эксплуатации.

Разработка Житикаринского месторождения ведется открытым способом - одним карьером, подчиненным горнообогатительному комбинату «Костанайские минералы». Вскрытие осуществляется двумя съездными траншеями, заложенными на южном и восточном бортах карьера. Система разработки - транспортная, с доставкой пород вскрыши и некондиционных руд во внешние отвалы. Вскрышные и добычные работы ведутся слоями с уклонами $i=0,0025$ высотой 12-15 м и с применением буро-взрывных работ. Отвал пустых пород ёмкостью до 200 млн. м³ располагается на расстоянии 1,7 км от борта карьера.

Добытая руда направляется на обогатительную фабрику, расположенную за границей возможной асбестоносности на расстоянии 1,5 км к северо-востоку от борта карьера. На фабрике руда проходит стадии крупного и среднего дробления, сушится и подвергается многостадийному мелкому дроблению, в процессе которого вскрывается асбестовое волокно. Далее производится извлечение черновых асбестовых концентратов, их перечистка и разделение на товарные сорта.

Хризотил-асбест месторождения образует жилы, в которых волокна асбеста располагаются преимущественно перпендикулярно стенкам трещин. В зависимости от строения

жил и их расположения среди вмещающих пород выделяется пять зон асбестоносности: 1) редких одиночных жил; 2) сложных жил; 3) крупной сетки; 4) мелкой сетки; 5) просечек.

Промышленный интерес представляют руды типа крупной и мелкой сетки, сложных жил, частично - редких одиночных жил. Просечки промышленного значения не имеют.

Все запасы асбеста распределены по сортам, условно называемым геологическими. Сортность определяется минимальной длиной волокна, которая составляет: для I сорта - 8 мм, II - 6 мм, III - 4 мм, IV - 2,8 мм, V - 1,6 мм, VI - 0,5 мм, VII - 0,25 мм.

Житикаринское месторождение состоит из пяти промышленных залежей хризотил-асбеста: «Основная» залежь; «Лидийская» залежь; «Гейслеровская» залежь; «Малая» залежь; «Новая» залежь.

Обязательным элементом определения параметров откосов карьеров является оценка их устойчивости. Под устойчивостью любого откоса (борта, уступа, отвала) карьера понимается его способность сохранить в течение времени эксплуатации, установленные проектом, геометрические параметры и форму при воздействии внутренних и внешних сил. Методы расчета устойчивости откосов направлены на устранение возможных нарушений.

Все георесурсы в районе разработки месторождения должны быть эффективно и экологически безопасно использованы горными предприятиями.

В Казахстане в настоящее время открытым способом добывается более 90% руд черных металлов, 65% руд цветных металлов (по горной массе), около 75% угля и почти 100% строительных материалов. Открытый способ добычи составляет около 80% всех извлекаемых из недр твердых полезных ископаемых.

Для горно-металлургических комплексов характерно складирование большого количества промышленных отходов обогатительных фабрик. В связи с этим растут объемы хвостов отвалов, их высота и занимаемые площади. Если расширение занятых площадей приводит к нарушению растительного

покрова в рамках границ хвостохранилища, то увеличение его высоты приводит к значительно худшим последствиям, создавая благоприятные ситуации для пылособразования и загрязнения окружающей среды на значительных расстояниях, достигающих десятков и сотен километров, включая водосмы.

В соответствии со «стратегией вхождения Казахстана в число 50 наиболее конкурентоспособных стран мира» вопросы охраны окружающей среды входят в число наиболее приоритетных задач современной социальной политики. В Послании Президента Республики Казахстан Н. А. Назарбаева народу Казахстана и Экологическом кодексе сказано, что «все наши действия должны быть направлены на гармонизацию нашего экологического законодательства, совершенствование системы государственного контроля».

Одной из важнейших задач при разведке и эксплуатации рудных месторождений является прогнозирование возможности, времени и места возникновения техногенных процессов и явлений, влияющих на работу горно-добывающих предприятий и оказывающих воздействие как на окружающую среду, так и экологические условия горнодобывающего района в целом.

За последние годы, сфера приложений по направлению геоинформационного моделирования стала очень широкой. Геоинформационные технологии и методы стали одним из основных инструментов при проведении экологических исследований, в оценке и мониторинге состояния природной среды и ресурсов.

Вопросам обоснования направлений развития предприятий и регионов с открытой разработкой рудных месторождений с их эколого-экономической оценкой посвящены работы видных ученых-горняков: А.М.Михайлова, М.Е.Певзнера, П.И.Томакова, В.А.Шестакова, А.К.Адрышева, Т.Т.Ипалакова, С.К.Сейтжанова и многих других.

Несмотря на значительные достижения отечественных и зарубежных ученых в этой области, остается недостаточно решенным вопрос прогнозирования экологической опасности недропользования и устойчивости бортов карьеров. Повышение надежности определения устойчивых параметров во многом

зависит от методов, моделей и алгоритмов, а также представления информации.

Показателем несовершенства применяемой технологической схемы является большое количество отходов. Поэтому необходимо обеспечить создание и внедрение технических средств и технологии для комплексного извлечения полезных компонентов из руд, а также использование малоотходных и безотходных технологических процессов.

Отходы производства в экологическом плане являются серьезной проблемой и представляют опасность для природных экосистем.

Факторы, определяющие рациональную разработку и влияющие на окружающую среду, следующие:

Горно-геологические: литологический состав пород, их физико-механические свойства в целике и в отвальной смеси, характер и изменение уровня горизонтов и водотока подземных вод в контуре месторождения, структура массивов горных пород уступов, бортов и отвалов и трансформация напряженно-деформированного состояния этих массивов в откосах, их основаниях и в целом приоткосной части борта или рекультивированного откоса отвала.

Природно-географические: количество атмосферных осадков, продолжительность действия, скорость, сила и направление ветра, перепад температур в атмосфере и поверхностной литосфере, характер рельефа местности, характеристика гидрографической сети и биосистемы района месторождения.

Технологические: применяемая система разработки и ее элементы, параметры выемки, транспортирования и укладки горных пород в отвал (прежде всего - высота, форма, конфигурация откосов уступов, бортов карьеров, траншей и отвалов, схема, порядок и способ разработки уступов и отсыпки отвалов, ширина рабочих, транспортных, соединительных площадок, предохранительных берм, берм очистки), интенсивность отработки (подвигание фронта и темп углубки работ).

Технические: применяемый тип и вид отвального и горно-транспортного оборудования, его возможные параметры производительности рабочих органов.

Экономические: себестоимость 1 т добычи, себестоимость 1 м³ вскрыши, рентабельность, прибыль предприятия и др.

Организационные: параметры коэффициентов использования горно-транспортного оборудования во времени и по производительности. Важным аспектом является управление производственными процессами (дальность транспортирования, время оборота, время цикла, погрузки, разгрузки и т.д.).

Установлено, что деятельность горнодобывающих предприятий вызывает резкие изменения в геосреде из-за проявления негативных факторов: гидродинамических, гидрогеохимических, термодинамических.

Таким образом, создание «экологически сбалансированных техногенных ландшафтов, целенаправленное складирование вскрышных горных пород и отходов переработки полезных ископаемых и последующее их сохранение как складов промышленных продуктов, внутреннее отвалообразование свидетельствует о проявлении устойчивой тенденции на сохранение и увеличение национального богатства», включая и часть, относящуюся к недрам.

Углубление и развитие теории и практики геоинформационных технологий, базирующихся на принципах объектного моделирования, учете влияния природных и горно-технических факторов и результатов натурных наблюдений, позволяют вести технически эффективную и экологически безопасную отработку полезных ископаемых открытым способом.

1.3 Применение компьютерной технологии при обработке геолого-маркшейдерской информации

Современные горнодобывающие комплексы с открытым способом разработки месторождений относятся к сложным системам с непрерывно развивающимися в пространстве и времени процессам добычи полезных ископаемых, производства вскрышных работ, транспорта горной массы, подготовки и

обогащения минерального сырья и характеризуются большими объемами геолого-маркшейдерской информации.

Они представляют собой многофакторные природно-технологические объекты, развивающиеся в пространстве в течение длительного времени (20-30 лет и более). Основные параметры и определяющие факторы (геометрические, количественные, качественные, динамические) находятся в сложной взаимосвязи и в комплексе составляют для каждого объекта значительный информационный массив данных, что получение достоверных выводов в большинстве задач изучения освоения недр, принятия решений в проектировании, реконструкции и управлении горным предприятием возможно лишь на основе компьютерных информационных систем.

Компьютеризация предприятий, занимающихся разведкой и добычей твердых полезных ископаемых, имеет конечной целью переход на компьютерную технологию управления производством. Эффективность перехода на компьютерную технологию в настоящее время очевидна и подтверждена зарубежным опытом.

Непрерывное технологическое развитие и обновление являются главными условиями повышения эффективности и конкурентоспособности минерально-сырьевого комплекса Республики Казахстан. Среди технологий наиболее наукоемкими и перспективными являются геоинформационные технологии, автоматизированные системы проектирования и системы измерения и сбора данных.

Основной прирост дохода в развитых странах произошел за счет разработки, использования и экспорта информационных технологий и программных продуктов. В настоящее время большое внимание уделяется этому направлению в Казахстане. Так в соответствии с Указом Президента Республики Казахстан «О формировании единого информационного пространства» разработана программа формирования национальной информационной инфраструктуры РК. Принят Закон Республики Казахстан об информатизации. Создаются технопарки информационных технологий, способные вывести разработки казахстанских ученых на мировой рынок технологий.

Основой процесса разведки, проектирования и разработки полезных ископаемых являются работы с топографической, геологической, маркшейдерской и горной информацией. Поэтому перевод этих звеньев на компьютерную технологию, моделирование и внедрение автоматизированных систем маркшейдерско-геологического обеспечения в горнорудной промышленности является обязательным условием эффективной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых.

На практике специалисты сталкиваются с тремя основными проблемами - с *техническим обеспечением*, *программным обеспечением* и *информационным обеспечением* компьютерной технологии.

Проблема *технического обеспечения* в настоящее время активно решается. В результате бурного развития вычислительной техники быстродействие, размер памяти и другие параметры современных компьютеров достигли уровня, необходимого для работы с информацией, накопленной на крупных эксплуатируемых месторождениях, и приблизились к параметрам дорогих рабочих станций. Значительное снижение стоимости компьютеров, сделали реальным для предприятий сырьевых отраслей СНГ приобретение вычислительной техники такого уровня. В настоящее время в России создан суперкомпьютер производительностью 100 терафлопс (100 триллионов операций в секунду). Если сравнивать возможности хорошего бытового компьютера на базе двухъядерного процессора с тактовой частотой 2,2 ГГц, то он производит всего 17,6 миллиардов операций в секунду. Это всего 0,0176 терафлопс.

Второй проблемой является *информационная обеспеченность* (ИО) компьютерной технологии. В основе ИО лежит принцип единства, целостности информации по объекту, ее непрерывного накопления от геологоразведочных работ до завершения отработки месторождения. Реализация этого принципа оказывается непростой задачей, поскольку в геологоразведочных и горнодобывающих предприятиях накапливается большое количество неоднородной графической и текстовой информации, при этом 70-80% её приходится на

геологоразведочные и топо-маркшейдерские данные. Подготовка ИО проводится собственными силами предприятия или специализированными фирмами.

Технические средства сбора и обработки информации быстро совершенствуются. При этом растет количество и сложность информации [116,117].

Проблема *программного обеспечения* (ПО) в настоящее время наиболее актуальна. Здесь можно выделить три основных направления:

1) разработка ПО силами предприятия, что реализуют только крупные предприятия и институты (Гипроруда, Казгипроцветмет);

2) разработка ПО специализированными фирмами по заказу конкретного предприятия, что получает распространение в последнее время;

3) покупка готового коммерческого ПО.

Во всех этих трех направлениях используются как оригинальные программы разработчика ПО, так и готовые программные продукты других авторов и фирм - от бесплатных программ до коммерческих пакетов и интегрированных систем (integrated software). При любых вариантах стоимость ПО значительно превышает затраты на техническое обеспечение.

Ниже кратко рассматривается история, состояние и тенденции развития горно-геологических информационных технологий, в основном интегрированные системы горно-геологического профиля для твердых полезных ископаемых, предлагаемые на рынке программных продуктов в 2004-2012 гг.

В истории развития горно-геологических информационных технологий выделяются три периода: докомпьютерный - с 1930 до 1950-х годов; переходный - с 1960-х до середины 1980-х годов; компьютерный или информационных технологий - с середины 80-х годов до настоящего времени.

Первый период. В начале 1930-х годов, после принятия государственной политики опережающего развития тяжелой промышленности, началось быстрое развитие геологоразведочных работ и горнодобывающей промышленности. Оно сопровождалось зарождением и развитием соответствующих

научных и прикладных направлений - маркшейдерского дела (в том числе горной геометрии), геологии (в том числе учения о поисках и разведке полезных ископаемых), горного дела и других дисциплин.

Бурно развивается также практика разведки и подсчетов запасов месторождений, проектирования горно-обогачительных предприятий с открытым и подземным способами добычи, практика работы горнодобывающих предприятий, их геолого-маркшейдерского обслуживания, планирования горных работ в условиях плановой экономики.

В этот период был накоплен опыт, выработаны основные способы и формы сбора, хранения и обработки информации, алгоритмы и параметры решения задач, закрепленные в нормах и правилах (НТП - Нормах технологического проектирования, ПТЭ - Правилах технической эксплуатации и др.), в инструкциях и методических указаниях, в монографиях и справочниках. Многие из них сохранили свое значение до настоящего времени.

Основными моментами технологии того периода можно считать:

- хранение текстовой (числовой) и графической информации на бумажных носителях;
- работа с двух- и трехмерным геологическим пространством на серии разрезов и планов;
- представление рудных тел и подсчет запасов большими нерегулярными блоками с распространением среднего содержания на весь блок;
- решение многофакторных задач добычи и транспорта руды расчетом и выбором вариантов;
- расчет экономических показателей эксплуатации месторождения по твердым государственным ценам, установленным из условия покрытия плановых потребностей страны;
- долгосрочное планирование горных работ с увязкой плановых показателей отдельных предприятий с общим планом развития отрасли.

Второй период развития геоинформационных технологий проходил на фоне роста горнодобывающей промышленности в 1960-1970-х годах. Строительство крупных горно-обогатительных предприятий, развитие и усложнение систем открытых и подземных горных работ, накопление горно-геологической информации ставят все более сложные задачи и перед практикой управления горным производством, и перед горной наукой.

Во второй половине XX века на смену индустриального этапа развития человечества пришел новый информационный этап. Информатизация—это процесс создания, развития и всеобщего применения информационных технологий, способов и средств, обеспечивающих достижение и поддержание высокого уровня существования человечества и улучшения качества его труда и условий жизни. Она занимает ключевое место в науке, экономике, культуре и образовании.

В 1970 годах появляются первые отечественные ЭВМ со слабым системным ПО. Прикладные программы для них составляли энтузиасты - исполнители. Постепенно формировались группы программистов, которые выполняли более сложные и трудоемкие расчеты.

Формировались и развивались научные школы открытых и подземных горных работ (Н.В.Мельников, В.В.Ржевский в Москве, А.И.Арсентьев в Ленинграде, В.С.Хохряков, В.М.Аленичев в Свердловске, О.А.Байконуров в Алма-Ате). Появились теоретические обоснования и алгоритмы решения задач формирования и развития горных работ с большими объемами вычислительных операций. В начале 1960-х годов были опубликованы первые работы по автоматизации расчетов открытых горных работ на ЭВМ (С.Д.Коробов, И.Б.Табакман и др.).

Во второй половине 1960-х годов и в 1970-х годах производственные, проектные и научные организации постепенно были оснащены большими ЭВМ, на которых обрабатывали значительные объемы геофизических, геохимических цифровых данных. Широкому использованию ЭВМ в горно-геологической технологии мешали трудности

ввода информации через перфокарты и другие носители; большой разнорядностью в форматах данных, операционных системах, языках программирования, самих программах; секретность геологической информации по крупным и средним месторождениям и по топографическим картам.

Но для данного периода положительным было формирование массы вычислительных центров. И как следствие, научные исследования этого периода достигли максимального развития.

В период с 1980 г. до настоящего времени начинается быстрое развитие горно-геологических информационных технологий, которое в 1990-х годах было прервано реформами и последующим глубоким спадом в экономике.

Бурный рост информатики связан с успехами развития точных наук, прежде всего, математики, физики, средств вычислительной техники, систем передачи и использования информации, а также необходимостью ее обработки и хранения. Геоинформатика - ветвь информатики в области наук о Земле и деятельности человечества в этой сфере. Геоинформатика изучает законы, закономерности, а также процессы, происходящие в недрах и на поверхности Земли, при создании и функционировании природных и искусственных технических и социально-экономических систем недропользования, их свойства и отношения в них и между ними. «Она описывает, регистрирует, анализирует, систематизирует, синтезирует, генерирует, идентифицирует, преобразует, исследует, моделирует, оптимизирует и передает информацию, данные и знания, относящиеся к объектам и процессам геосистем» [92-93].

Школу геоинформатики представляют ученые и исследователи: Н.В.Мельников, К.Н.Трубецкой, Г.Р.Бекжанов [107], А.Н. Бугаец [107], Н.Б. Калабаев, В.Л.Лось [122], Д.Н. Шукаев [108].

Общие фундаментальные вопросы информатики нашли широкое отражение в трудах: А.М.Алексеева, Гради Буча [87], В.Н. Буркова, И. Грехема [88], Л.В.Кокарева [112], М.Л. Мангейма, Д.Мако [91], М.Месаровича [91], В.И.Суханова

[103], А.А. Ступаченко [105], И.Такахара [106] и других ученых.

К основным объектам геоинформатики относятся геологические, горнотехнические и перерабатывающие минеральное сырье технологические комплексы; автоматизированные технологии поиска, прогнозирования и разведки месторождений полезных ископаемых; системы автоматизированного проектирования, планирования и управления технологиями и процессами предприятий, предназначенные для недропользования, а также программно-функциональные комплексы, обеспечивающие их создание и эффективное функционирование при освоении недр различного класса и назначения, которые реализуются с использованием информационных технологий и автоматизированных информационных систем.

Под геоинформационным объектом понимается некоторая целостность, которая обладает присущими только ей свойствами на фоне свойств окружающей среды. При этом, понятие целостность характеризует автономность, обособленность, качественное свособразие, которые взаимоопределены, взаимообусловлены и функционируют только друг с другом в составе единого целого. Объект существует как реальность только в определенной среде, как ее внутренняя граница. Объект и среда, взаимосвязанные и взаимообусловленные сущности, определяемые в процессе перехода от одного объекта в другой. При этом внешняя среда по отношению этому объекту, не обладает, как правило, целостностью и однородностью и включает в себя множество различной природы объектов и некоторые их наборы. Состояние информационной среды каждого сложного иерархического геолого-промышленного объекта характеризуется внутриуровневыми и межуровневыми взаимосвязями, а также определенными отношениями с объектами внешней среды. Информационные ресурсы представляют собой наборы информации определенного содержания, объединенные в агрегаты или блоки, состоящие в свою очередь из множества информационных элементов,

окруженных метаинформационной границей. Совокупность ресурсов информационной среды геолого-промышленных объектов образует ее информационный фонд [91-93].

В таких странах, как США, Канада, Австралия, Англия, Франция, где развита горнорудная промышленность, горно-геологические информационные технологии продолжали интенсивно развиваться. В перечисленных странах бурно развивались вычислительная техника, базы данных, системы автоматизированного проектирования (САПР), геоинформационные системы (ГИС) и пр. К 1990-м годам фирмы, занимающиеся программным обеспечением интегрированных горно-геологических систем (ИГГС), создали на этой базе ряд интегрированных горно-геологических систем, куда вошли и некоторые из ранее разработанных специализированных пакетов программ. Тогда же началось внедрение этих систем в практику. К концу 1990-х годов, после усовершенствования и расширения данных систем, шло их массовое распространение в горнодобывающих районах и странах.

Центральное место в области компьютеризации методов решения горно-геометрических задач занимает проблема создания цифровых моделей месторождений. Геометрическое описание и структура этих моделей являются исходными для ГИС, обеспечивающих решение задач недропользования.

За последние годы методы работ исследователей изменились коренным образом, благодаря развитию геоинформатики и методов моделирования горных пород. Значительный вклад в развитие теории и практики новой отрасли горной науки как горная информатика внесли: В.М. Аленичев, Д.Ш. Ахмедов, О.А. Байконуров, Н.С. Буктуков, Ю.Е. Капутин, В.В. Квитка, В.Х. Кумыков, Е.И. Рогов, И.Б. Табакман, В.С. Хохряков, В.М. Шек и многие другие ученые и специалисты.

В практике применения различных математических методов и моделей при решении задач разведки, разработки, геометрии недр, подсчета запасов можно разделить три периода (1960-1970 г., 1980-е годы и конец XX века). 1960-70 годы

можно охарактеризовать как период бурного расцвета математической статистики, 1980-е годы ознаменовались применением в геологии и в горном деле математического моделирования и ЭВМ.

Исследование недр с помощью статистических методов дает возможность вскрыть в данных наблюдениях порядок, статистическую связь и тем самым объективно познать изучаемое явление в целом. В предложенной В.А.Букринским и В.В.Ершовым методике можно определить для каждого полезного компонента коэффициент абсолютной изменчивости. Это позволяет судить о степени анизотропности рудного массива. Изучение анизотропии параметров рудных тел полезных ископаемых дает возможность теоретически обосновать геометрию разведочной сети.

Теоретические основы проектирования баз данных изложены в работах: И.Грехема, С.М.Диго, У.Инмон, Л.Фридмана, А.С.Танайно, Д.Г.Букейханова, А.Ф.Цехового, Б.Ж.Бекмурзасва, В.Ф.Съедина, С.Ж.Галиева, Л.А.Пучкова, В.Н.Четвернинова, Л.В.Кокаревой, М.Л.Мангейма, М.Месаровича и других.

В лаборатории по проектированию горных предприятий РГП «НЦ КПМС РК», на основе разработанных принципов, моделей и формализованных процедур, обеспечивающих выявление на проектируемых объектах взаимосвязанных оптимальных организационно-технических решений, создана система автоматизированного проектирования (САПР) карьеров. А также на базе лаборатории «Открытая разработка недр» ИГД имени Д.А.Кунаева, ГНПОПЭ «Казмеханообр», ВНИИцветмет и других дочерних предприятий ведутся работы по моделированию месторождений, их визуализации, оценке ресурсного потенциала недр, прогнозированию полезных ископаемых по косвенным признакам.

На кафедре «КТП и УП» КазНТУ имени К.И.Сатпасва разработана концепция управления рудопотоками асбестового карьера. Методология решения задачи управления рудопотоками карьера в рассматриваемой постановке предполагает построение моделей объекта управления и управляющей системы на основе нерархического описания и

последовательной декомпозиции системы управления горно-обогатительным предприятием, когда на верхнем уровне эта система представляется управляющей системой (УС-1) и двумя объектами: «система управления карьером» и «система управления фабрикой». Разработан автоматизированный комплекс для построения и корректировки многофакторных моделей методом пошагового включения с оценкой их адекватности по качеству прогнозирования и предложена декомпозиция системы «карьер» на элементы: «запасы», «топология», «техника», «технология».

За последние 20 лет в мире разработаны специальные компьютерные системы для моделирования месторождений, решения задач проектирования и планирования горных работ с применением аппарата геостатистики (системы «Датамайн» (Великобритания), «Геостат» (Канада). Сюрпэк Вижн является ведущим программным пакетом в горнодобывающей промышленности, проектировании и планировании открытых горных работ САПР ОГР (Казахстан). Используется для моделирования, проектирования, планирования горно-обогатительных комплексов «Промавтоматика» и др. [117].

В целях единой научно-технической политики в области информатизации ГМК, изучения и разработки мероприятий по информатизации в геологии, горном деле, обогащении, металлургии, экологии, управления производством, развития работ по созданию датчиков первичной информации, автоматизации технологических процессов создана лаборатория «Информационные технологии в горно-металлургическом комплексе».

Несмотря на определенные успехи в развитии сырьевого потенциала, Казахстан отстает в области информационных технологий в базовых отраслях промышленности, в том числе и в ГМК. Главным недостатком является отсутствие базы данных, согласованных по структуре и содержанию между собой и с другими промышленными базами данных. Практически отсутствуют экспертные системы для оценки эффективности инвестиций.

Автоматизированная система производства маркшейдерских работ на карьере включает в себя комплекс

средств и оборудования для производства полевых работ и камеральной обработки полевых измерений. Обеспечение автоматизации полевых работ стало возможным в связи с созданием и внедрением в производство маркшейдерско-геодезических приборов нового поколения, позволяющих производить угловые и линейные измерения в автоматическом режиме с минимальным участием исполнителей по имеющимся программам.

Для выполнения автоматизированной камеральной обработки полевых измерений и создания полного комплекта маркшейдерско-геодезической документации горного предприятия, в настоящее время, широко используются персональные компьютеры, принтеры, сканеры, дигитайзеры, модемы, плоттеры и другое информационное оборудование, работа которых поддерживается программными продуктами.

Программное обеспечение маркшейдерско-геодезических работ должно соответствовать применяемой на предприятии автоматизированной информационной системе открытых горных работ. Разработчиками предусмотрена возможность создания пользователем своих программ, позволяющих решать новые маркшейдерские задачи.

Как показал анализ литературных источников, геолого-маркшейдерская информация используется в основном для моделирования и исследования следующих характеристик геологических тел: геометрии формы тела, структуры и строения, распределения свойства в пространстве. В рамках рассматриваемых систем в основном решаются задачи подсчета и оценки запасов по результатам геологоразведочных работ или проектирования и планирования на шахтах и карьерах.

Также предлагается все множество геологической, технико-экономической информации хранить отдельно в трех базах данных: первичной геологической информации; АСУ горного предприятия; обобщенных данных по бассейнам и регионам. По методу определения значения данных все множество информации подразделено на три класса: первичные, вторичные и обобщенные данные.

При построении модели месторождения для геолого-промышленной оценки и геометризации предлагается

иерархическая структура организации базы данных геологической информации, которая имеет шесть уровней: месторождение; поле отдельного разреза; участок разреза; полоса (геологический профиль); разграничивающая линия; точка линии разграничения – это пикет с показателями качества. Таким образом, элементы нижнего уровня служат основой для построения модели верхнего уровня. Основным недостатком данного подхода является необходимость пересчета значений параметров моделей при изменении объема первичной информации, так как при создании базы данных используется некоторая заранее подготовленная модель.

С точки зрения теоретической обоснованности и логической завершенности наиболее удачным является концепция формализованного представления геологической информации, предложенная в работах [120-121], где вводятся понятия объектно- и координатно-привязанной информации. Такое деление на классы геологической информации наиболее точно отображает потребности самых различных категорий пользователей данной информации, и в то же время обеспечивает достаточно детальное описание всех присущих геологическим объектам свойств.

При контроле за состоянием массива важное значение имеет мониторинг, который должен включать в себя комплексную систему сбора, накопления, обработки и анализа информации.

Повышение надежности определения устойчивых параметров во многом зависит от методов, моделей и алгоритмов представления информации. Конкретные природные условия залегания горных пород на месторождениях также требуют обеспечения эффективного прогноза конкретных физико-механических свойств и структурных особенностей пород массива. Прогноз должен основываться на достаточном количестве фактов и корректной их обработке. В настоящее время для решения этой проблемы традиционных подходов недостаточно. Требуется привлечение новых идей и методологий.

Выводы.

В результате проведенного анализа литературных источников и теоретических разработок в исследуемой области, можно сделать следующие выводы:

1. Основными факторами, влияющими на устойчивость бортов карьеров, являются прочностные характеристики горных пород, структура горного массива и трещиноватость пород. Существующие способы определения их значений обоснованы и регламентированы. Привлечение информации о структуре и геометрии геологических тел может служить дополнительным источником повышения уровня достоверности расчетных данных.

2. Использование компьютерной техники при обработке результатов геологических и маркшейдерских данных позволит повысить точность оценки и увеличить производительность при обработке.

3. Анализ существующего состояния проблем создания больших и сложных динамических систем показал, что сегодня такие системы имеют колоссальные размеры.

4. Актуальной в настоящее время является проблема выбора расчетной схемы, которая учитывает реальную горно-геологическую ситуацию.

При обработке геолого-маркшейдерской информации необходимо учитывать геоинформационные основы прогнозирования пространственных характеристик откосов и бортов карьеров, позволяющих повысить техническую и экологическую безопасность освоения месторождений твердых полезных ископаемых.

1.4 Современное состояние программного обеспечения для горных предприятий

Актуальным является вопрос состояния программного обеспечения для горных предприятий. В современных условиях для компьютерного планирования и управления на карьерах распространяется применение геоинформационных методов

сбора, хранения, обработки информации, весьма точно характеризующих рельеф местности в границах земельного отвода горного предприятия. При этом получаем поверхность рабочей зоны карьера с точным представлением контуров уступов и других элементов горных работ, а также сеть транспортных коммуникаций с точным представлением ее структуры.

В комплексе геоинформационных баз данных геологии месторождения, топографии местности, состояния горных работ, требуемых для автоматизированных систем управления, необходима геоинформационная база данных состояния рабочей зоны карьера. В связи с этим математическое моделирование рабочей зоны карьера и разработка программного обеспечения являются актуальными научными и практическими задачами.

Целью геоинформационного моделирования месторождений является создание комплекса геоинформационных и геометрических математических моделей при разработке многосортных сложноструктурных залежей полезных ископаемых как математической базы для разработки алгоритмического, информационного и программного обеспечения автоматизированного планирования и управления горно-транспортным процессом на карьерах.

Поэтому ниже приводится обзор современного состояния программного обеспечения для горных предприятий. За последние годы повысился уровень горных программ. Первая волна новых технологий была связана с созданием простых моделей месторождений для оценки тоннажа и содержаний. Вторая волна получила развитие в 70-80-е годы. Горная промышленность получила 3-х мерное цифровое блочное моделирование и геостатистический анализ ресурсов. Геологи использовали эти преимущества для прогнозирования запасов месторождений. В результате улучшились качество и достоверность оценки ресурсов. Третья волна характеризовалась появлением 3-х мерного геометрического моделирования и визуализации. Эти инструменты дали геологам возможность рассматривать геологические структуры как 3-х мерные пространственные объекты и обеспечивать лучший контроль

над созданием цифровых блочных моделей. В 90-х появились полностью компьютеризованные процессы: горное проектирование, оптимизация, календарное планирование. Программное обеспечение для горного моделирования и проектирования сегодня превратилось в системы, которые отличаются интерактивной графикой, высокого качества визуализацией поверхностей и моделей объектов. Недорогие “персоналки” теперь могут обеспечить сложное графическое и интерактивное автоматизированное проектирование. Сегодня скачки производительности в горной промышленности существенно замедлились, т.к. горные предприятия применяют информационные технологии для улучшения отдельных процессов, а не в целом производства. Необходимо формирование технологии, которая должна обеспечить динамическое улучшение производительности.

Автоматизировать решение данных задач позволяют различные пакеты программ, которые классифицируются как горные системы общего назначения. Эти системы стандартно включают в себя такие разделы, как: геологическое моделирование, оценка запасов, проектирование и планирование горных работ, календарное планирование и маркшейдерия. В мире имеется несколько лидирующих компаний, к ним относятся gemcom, maptek, mintec, surpac, datamine, micromine.

Кроме горных систем общего назначения эти продукты могут быть классифицированы следующим образом:

- Специализированные горные программы. Сюда относятся специализированные программы для областей технологии, которые пока не обеспечиваются универсальными горными системами. Тематика таких пакетов: оптимизация карьеров, календарное планирование, буровзрывные работы, вентиляция, геомеханика, экология.

- Системы управления производством. Эта категория объединяет программы и оборудование, используемое для управления производством в реальном времени. Обычные направления использования: управление горным транспортом, экскаваторами, буровыми станками и т.п. Эти системы

предлагаются небольшим количеством компаний, среди которых (в области открытых работ) имеется 4 лидера: Wenco, Modular Mining Systems, Tritronics и Aquila. Все большее значение приобретает связь этих компаний с производителями горного оборудования, такими как Komatsu и Caterpillar.

о Системы регистрации производства. Существует большое разнообразие таких систем, которые ведут производственный учет в реальном времени и формируют разнообразные отчеты. Они представляют собой электронные таблицы и базы данных, разработанные для нужд предприятия.

Сегодня на мировом рынке коммерческих компьютерных программ для горных предприятий работают десятки фирм, предлагающих более 1000 программных продуктов различного класса, предназначенных для автоматизации самых различных функций управления горным производством.

В последние годы стали широко применяться математические компьютерные модели, которые позволили дифференцированно учитывать концентрацию полезных компонентов в каждой пробе и проводить интер- и экстраполяцию концентраций в объеме. Компьютерное моделирование позволило перейти к гибкому многовариантному моделированию рудных объектов, учитывающему быстро изменяющуюся экономическую ситуацию. Схема компьютерной системы моделирования месторождений предусматривает получение геолого-экономической оценки рудных объектов и модели рудных объектов путем построения блочных моделей. Известны работы Капутина Ю.Е. в области горных технологий и геостатистике, а также в создании блочных моделей [17].

Создание блочных моделей включает:

1. Геостатистическое исследование месторождения, которое позволяет провести расчет вариограмм, необходимых для идентификации основных структур залежи. Компьютерные решения подобных задач в исследуемом массиве решаются в системе Датамайн, а также предлагает австралийская компания Сноуден в программе VISOR.

2. Создание каркасных моделей месторождения, включающее оконтуривание рудных тел и зон минерализации.

3. Блочное моделирование месторождений. Блочная модель позволяет с высокой степенью достоверности оценить геологические запасы, провести быстрый расчет необходимых показателей.

Горно-геометрический анализ карьерного поля можно вести с помощью инструментов оптимизации границ карьера. Данная возможность показана ниже в системе MineFrame.

На рисунке 1.1 продемонстрирован фрагмент карьера, где приведены результаты моделирования оптимизации границ карьера с применением геостатистического анализа.



Рисунок 1.1. Оптимизация границ карьера в системе MineFrame

Рассмотренные методы применяются для решения задач комплексной оптимизации открытых разработок, что обеспечивает непрерывное повышение надежности и экономичности проектирования горнодобывающих предприятий и поддержание режима их работы в течение всего срока эксплуатации месторождения.

1.5 Концепция геоинформационных методов моделирования

Постановка задачи исследования, методы решения

Методология оценки недр основывается на моделировании месторождений по геологоразведочным и эксплуатационным данным с последующей геолого-экономической оценкой изучаемого объекта. Необходима коренная модернизация геологического изучения недр и эффективное использование геологической информации в горнотехнических решениях. Огромный объем информации и многовариантность решений обуславливают применение компьютерных технологий в моделировании месторождений.

Задача моделирования месторождений представляет собой сложную, многовариантную технологию, для реализации которой необходимы:

1. Исходные данные;
2. Знание геологических закономерностей;
3. Методы анализа данных и моделирования.

Моделирование заключается в исследовании конкретных или абстрактных объектов на моделях, аналогичных исследуемому объекту с применением методов аналогии и теории подобия при получении и обработке данных проводимых экспериментов. При этом проблемой является большое множество моделей, которые используются для строго определенных целей. Данные закономерности свидетельствуют о необходимости разработки механизма построения сочетающихся моделей для сложных иерархических систем. С данных позиций эффективным будет использование геоинформационного или объектно-ориентированного подхода. Система моделирования разработки месторождений должна строиться из информационных моделей и моделей технологических процессов, которые взаимосвязаны между собой, так как вторая строится на основе первой модели.

Геоинформационные методы моделирования позволяют рассматривать моделирование как единый процесс построения и исследования моделей при соответствующей алгоритмической и программной поддержке.

В настоящее время основная сфера научных интересов в области использования информационных технологий в горном деле заключается в разработке и практической реализации компьютерного моделирования.

К основным моделируемым объектам относятся:

1. Геологические пробы
2. Рудные тела
3. Пласты
4. Горные выработки
5. Выемочные единицы
6. Элементы систем разработки
7. Карьеры
8. Отвалы

Компьютерное моделирование позволило перейти к гибкому многовариантному моделированию рудных объектов, учитывающему быстро изменяющуюся экономическую ситуацию.

Решение главных задач проекта прежде всего связано с горно-геометрическим анализом карьерных полей. Но традиционные методы на современном этапе развития экономики не учитывают достижений в области науки и инновационных технологий, теряя свою актуальность. Характерными недостатками традиционных методов являются:

1. Методы горно-геометрического анализа карьерного поля приемлемы для анализа ограниченного варианта.

2. Варианты, применяемые для горно-геометрического анализа являются трудоемкими, требуют больших затрат времени и ресурсов.

3. Не предусматривают оптимизации развития горных работ.

Поэтому необходимо применение автоматизированного проектирования с использованием геоинформационных методов при проектировании и планировании месторождений полезных ископаемых, реализация инновационных конкурентноспособных технологий.

Для создания современного, конкурентоспособного горного предприятия необходимо использование во всех проектных решениях последних достижений в области науки, техники и

технологии. В настоящее время необходимо формирование технологии, которая должна обеспечить динамическое улучшение производительности. Поэтому альтернативным решением представляется применение геостатистических методов для исследования пространственных взаимоотношений между данными и пространственной неоднородности минерализации и программного обеспечения для горного моделирования и проектирования карьеров. Применение геостатистических методов позволит сэкономить средства на разведочные работы. Основным недостатком в экономической ситуации сегодня является то, что горные предприятия применяют информационные технологии (ИТ) для улучшения отдельных процессов, а не в целом производства.

В настоящее время назрела необходимость в создании математических, экономико-математических моделей месторождений, усовершенствовании методов геоинформационного моделирования сложноструктурных месторождений для повышения эффективности отработки месторождений полезных ископаемых, которые отвечали бы общесистемным требованиям, обеспечивая высокую степень надёжности принимаемых решений.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- модификация метода использования графа многовариантности для выбора рационального направления развития горных работ в карьерном поле;

- исследование ведения горных работ в рабочей зоне карьера с использованием блочной модели;

- моделирование последовательности извлечения вскрышных пород и полезного ископаемого из различных участков карьерного поля.

Данные задачи позволяют осуществить концепцию создания механизма построения сочетающихся моделей, которые будут представлять взаимосогласованное моделирование информационных моделей и моделей технологических процессов. Конечной целью является получение результатов, дающих в комплексе полную оценку функционирования в целом такой системы, как карьер.

2. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

2.1. Применение геоинформационных технологий

Применение геоинформационных технологий в горном деле связано с работой с пространственными данными, которые требуют использования специальных технологий обработки. Для работы с пространственными данными и любой координатно-привязанной информацией применяются географические информационные системы (ГИС).

«Геоинформационная система (ГИС) – (geographical information system – GIS) – это информационная система, включающая базы данных и аналитические средства для работы с географически привязанной информацией, точнее с любой координатно-привязанной информацией» [48].

Геоинформационная система (ГИС) строится на основе использования цифровой карты. Для обмена графической информацией между модулями системы необходим единый формат, стандарт обмена. При необходимости использования пространственных данных, созданных в другой системе, предусматривается возможность перевода информации из одного формата в другой. ГИС имеет функции визуализации на карте результатов тех или иных исследований, проведения пространственного анализа: оценки числа объектов определенного свойства в районе некоторой заданной точки, определения кратчайших путей. Используемая электронная карта – это не просто отсканированная бумажная карта. Она является инструментарием современных ГИС, позволяющим создавать, поддерживать и расширять число объектов, которые к этой карте привязаны. Во многих системах она также позволяет контролировать «пространственную» ситуацию и анализировать ее.

ГИС имеет интеллектуальный интерфейс, позволяющий размещать объекты на картах и планах. При этом облегчается работа с записями, полями, ссылками и другими атрибутами баз данных.

При работе с ГИС используется два подхода к обработке графической информации. В первом формируют к системе поиска запросы об объектах с определенными свойствами. Ее откликом является размещение на экране найденных объектов и их связей. Во втором – выделяют с помощью курсора на экране объекты изображения. Это приводит к выводу их свойств или более детального изображения. Существует большое разнообразие функций и форм взаимодействия системы с пользователем.

Основное предназначение ГИС – привязка некоторой описательной, атрибутивной (алфавитно-цифровой, символьной и др.) информации к картографическим или графическим объектам, синтез и анализ имеющихся данных для создания новой информации и ее представления на картах и в отчетах в удобном для пользователя виде. Обычно атрибутивная информация организуется в виде реляционной БД. В простейшем случае каждому графическому (точечному, линейному или площадному) объекту ставится в соответствие строка таблицы – запись в БД. Использование этой связи и обеспечивает функциональные возможности ГИС.

К базовым функциям ГИС относят следующие:

1. Выполнение разнообразных запросов к БД, простая идентификация объектов по пространственному положению – наиболее общая задача ГИС;

2. Возможность обновлять в БД, при этом запрашиваются объекты с общими атрибутами. Все записи могут быть обновлены одновременно, после чего все карты и отчеты будут отображать эти изменения;

3. Отображение карт, обеспечение набором инструментов для генерации различных представлений карты из единого набора атрибутивных данных;

4. Возможность осуществления пространственного анализа, который позволяет комбинировать пространственные данные для создания новых взаимосвязей между данными, а также для генерации новых пространственных свойств существующих данных.

Наиболее мощные ГИС строятся на платформе серверов, больших рабочих станций в среде UNIX. Быстрый рост числа мощности персональных компьютеров предопределил перенос большинства ГИС на эти компьютеры с переходом на платформу Windows. Появляются решения по использованию ГИС в корпоративных системах управления бизнесом. Имеются как зарубежные, так и российские ГИС, применяемые в различных областях.

Все современные ГИС позволяют читать и сохранять имеющиеся данные практически в любых стандартных графических и символьных форматах, вплоть до интегрирования текста в проект. Это касается также размещения данных в различных банках данных, совместного использования различных хранилищ данных, использующих разные СУБД.

Такая стратегия работы с данными невозможна без соответствующих стандартов по обмену пространственной информацией [48].

Большинство современных ГИС являются открытыми системами, позволяющими на некоторой универсальной базе создавать собственные приложения.

При этом имеются затруднения с использованием накопленных данных в связи с секретностью картографической информации.

Для снятия координат при построении ГИС активно используются GPS-технологии, которые являются перспективными.

Крупные прикладные информационные системы строятся на основе ГИС-проектов. Каждый ГИС имеет несколько блоков: ввода, анализа, отображения (визуализации), вывода информации, хранения данных. Функциональная схема ГИС приведена на рис. 2.1.

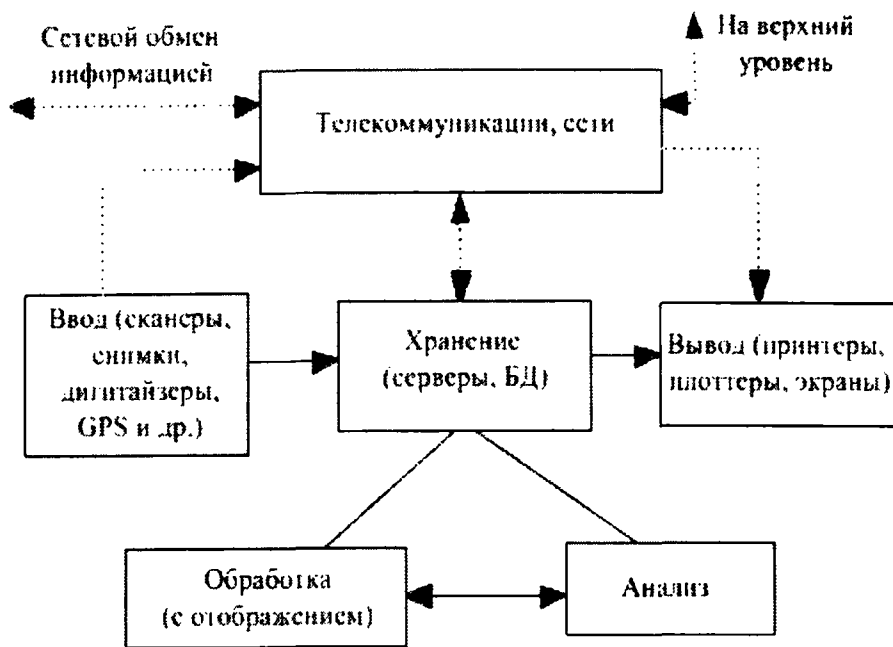


Рис. 2.1. Функциональная схема ГИС

В зависимости от структуры используемых программных средств различают:

Инструментальные ГИС;

Системы «просмотра» графической информации или ГИС - «вьюеры»;

Справочные картографические системы;

Векторизаторы растровых картографических изображений;

Специализированные средства пространственного моделирования;

Средства обработки и дешифрования данных дистанционного зондирования.

Инструментальные ГИС – развитые системы с широкими возможностями, позволяющие реализовать ввод, хранение, обработку сложных запросов, пространственный анализ и вывод твердых копий.

ГИС-«вьюеры» – это системы сопровождения инструментальных ГИС, предназначенные для просмотра введенной ранее и структурированной по правам доступа информации, позволяющие выполнять информационные

запросы к сформированным с помощью инструментальных ГИС базам данных.

Большинство систем просмотра позволяют организовать вывод оформленного картографического планшета на твердый носитель.

Справочные картографические системы – по функциональным возможностям приближены к программам просмотра, однако чаще предназначены для работы только со встроеной базой данных и не позволяют обновлять или пополнять ее.

Векторизаторы растровых картографических изображений – системы, использующиеся для реализации процедур ввода пространственной информации со сканера и включающие автоматические и полуавтоматические средства преобразования растровых изображений в векторную информацию.

Специализированные средства пространственного моделирования – системы, оперирующие с пространственной информацией, но ориентированные в первую очередь на частные задачи – моделирование распространения загрязнений, геологических явлений, анализа рельефа и др.

Средства обработки и дешифрования данных дистанционного зондирования – программные средства, предназначенные для обработки цифровых изображений земной поверхности, полученных с бортов самолетов и искусственных спутников.

Геоинформационная система имеет тесные взаимосвязи со многими типами программных средств. В первую очередь, это программные средства САПР, графические редакторы и реляционные БД. Они также могут включать системы обработки изображений – растровые графические редакторы.

В стандартный набор функциональных возможностей ГИС входят сбор, ввод, редактирование, хранение, обновление, поиск, анализ, представление, моделирование и документирование данных. Исходя из этого, введено понятие «полнофункциональная ГИС», которая должна обеспечивать:

Двустороннюю связь между картографическими объектами и записями БД;

Управление визуализацией объектов;

Работу с точечными, линейными и площадными объектами;

Ввод карт с дигитайзера и сканнера и их редактирование;

Поддержку топологических взаимоотношений между объектами и проверку с их помощью геометрической корректности карты;

Поддержку нескольких картографических проекций;

Геометрические измерения на карте;

Создание собственной символики (новых типов маркеров, линий, штриховок и др.);

Вывод высококачественных твердых копий;

Решение транспортных и других прикладных задач;

Работу с топографическими поверхностями.

К таким системам относятся ARC/INFO, MGE, SPANS, Genamap, terrasoft .

Помимо полнофункциональных ГИС общего назначения выделяют специализированные ГИС, которые предназначены для решения транспортных и навигационных задач, задач градостроительства, ландшафтной архитектуры, проектирования сооружений и др. Кроме того, существует множество ГИС с усеченными по сравнению с полнофункциональными ГИС наборами функций. Их отличительной чертой являются ограниченные аналитические возможности, слабые возможности ввода, редактирования и вывода картографической информации. Однако эти системы более просты в обучении и использовании, гораздо дешевле и вполне удовлетворяют запросам многих пользователей для решения прикладных задач. К таким системам относятся Mapinfo, Atlas*GIS и др.

Зарубежные программные продукты ГИС работают на различных платформах, имеют различные модели данных и форматы их представления, отличаются набором и способами выполнения различных функций обработки графической информации. Наиболее продвинутые из них могут использоваться на всех стадиях разведки месторождений, проектирования и эксплуатации горнопромышленных комплексов на их базе.

В России и других странах СНГ также создаются программные средства ГИС различного назначения (табл. 2.1). Практически все отечественные программные продукты ГИС относительно дешевые, но большинство из них имеют существенные недостатки.

Наиболее глубоко проработанная система geodraw/geograf Института географии РАН хорошо приспособлена для работы с «поверхностными» данными, широко используется организациями, выпускающими географическую и картографическую документацию. Для использования ее при работе с объемными данными необходимо создавать необходимые модули, что предусмотрено структурой системы.

Программные пакеты ГИС успешно используются при составлении различных кадастров (городских, земельных, лесных и др.), принятии хозяйственных решений по рациональному природопользованию, охране природы, для оперативного получения и анализа различной территориально-привязанной информации.

Одна из основных характеристик системы – полнота набора поддерживаемых ею моделей представления пространственных данных, каждая из которых является набором концепций и правил, используемых для описания типов объектов и взаимоотношений между их экземплярами.

К наиболее распространенным моделям относятся векторная топологическая, векторная нетопологическая и растровая. Отдельно выделяются изображения с пространственной привязкой (различие между растровой моделью и изображением состоит в том, что ячейка первого хранит фактически код явления, а второго – величину интенсивности). Для анализа рельефа используются нерегулярные триангуляционные сети. В некоторых приложениях может быть использована модель данных САПР.

Таблица 2.1
Программные продукты ГИС

Наименование	Разработчик	Назначение	Платформа	База данных
Geodraw, Geograf	ИИ РАИ Москва	Создание и редактирование цифровых карт, планов, электрических атласов. Тематическое картографирование	PC, DOS, Windows	Paradox, .dbf, собствен.
MAG	МГУ, Москва	Графич. моделирование, анализ и представление поверхностей	PC, DOS, Windows	Собственн. Собственн. Собственн.
DIGITMAP MAGVIEW	МГУ, Москва	Создание цифровых карт	PC, DOS, Windows	Собственн.
Map Master	ИИИПТ, Санкт-Петербург	Создание справочных ГИС	PC, DOS, Windows	Собственн.
Пангея	АО «Пангея» Москва	Создание цифровых карт	PC, DOS Рабочие станции	Собственн. Собственн.
GST	ВНИГЕОСИСТЕМ Москва	Прогнозирование месторождений нефти и газа, других полезных ископаемых, контроль за разработкой месторождений	PC, DOS, Windows	Собственн.
	Информнедра, Гипроуниверсальное картографирование	Решение 1 – 3-мерных задач	PC, DOS, Windows	Собственн.
ДИГЭМ	ИИИФ «ДИГЭМ» Москва	Интерполяция и оценивания (типа Datamine Geo EAS)	PC, DOS, Windows	Собственн.
	Информтех- Нология	Формирование и выпуск маркшейдерской документации, расчет и представл. схем электроснабжения угольных шахт.	PC, DOS	Собственн.
ПАРК	Экофирма «Панэко», Москва	Экологич. мониторинг, экологич. экспертиза, выработка	PC, DOS, Windows	Собствен.
TN Traps, Camis FASTMAP	АО «Русавиа», Москва	оптим. упр. решений при ЧС	PC, рабочие станции	Собственн. Paradox
Easytrace	ИИИПТ «Массив» Рязань ТОО «Обь»	Оценка глубины залегания грунтовых вод и их динамика на основе наземных наблюдений с	PC, DOS PC, DOS	Собственн.

Панорама+D ataGraf Рельеф- процессор Сутусон Гермес	МППФ «Юнис», Харьков ИЦЭ, СНИ «Анжеко», Москва ВНИИ геофизика, Москва	учетом ситуационного плана местности Геоэкология, геология, разработка кадастров Обработка картографической информации Создание и сопровождение ГИС	PC, DOS, Windows PC, DOS PC, DOS	Собственн. Собственн. Собственн.
Поиск	Институт литосферы РАН, Москва ИЦЭ, Москва	Векторизация растровых изображений	PC, DOS	Собственн.
Импрес FS	Центр информатики и математического моделирования	Создание текстовых карт Моделирование геологических объектов	PC, DOS, Windows	Собственн.
Икар	Рязань	Интерпретация геологических данных Геологическое прогнозирование, разработка прогнозных тематических электронных карт, подсчетных планов на нефть и газ. Оценка многокомпонентного ущерба от опасных геологических процессов на территории города. Интерпретация данных поисковой и региональной сейсморазведки. Обработка и интерпретация данных геофизических исследований скважин, анализов керна, грунтов. Информационный компьютерный атлас региона.		Paradox, ARC/INFO, Arcview

Основу всех программных средств ГИС составляют функции работ с пространственной информацией. К ним, в первую очередь, относится набор функций построения запросов.

Запросы позволяют формировать множество различных объектов на основе заданных критериев.

Самая простая форма запроса – получение характеристик объекта при указании на него курсором и обратная операция (отображение объектов с заданными значениями атрибутов). В развитых системах можно отобрать объекты по определяющим групповым признакам (удаленность от других объектов, соседство, совпадение и др.), использовать в запросах алгебраические и логические операции. При этом пространственная информация хранится во внутренних форматах системы, а в качестве средств работы с атрибутивной информацией могут использоваться внутренние форматы или внешние СУБД. Обычно внутренние СУБД обладают более узким набором возможностей работы с данными. Продвинутое системы имеют «живые» связи с мощными серверами реляционных БД.

Системы имеют большой набор процедур ввода-вывода информации. Они могут включать модули работы с дигитайзерами, сканерами, электронными геодезическими и GPS-приборами, обеспечивать автоматическую или ручную векторизацию растровых изображений. Обязательно поддерживаются средства геометрической коррекции, преобразования картографических проекций и контроля качества баз пространственной информации. Поэтому в набор программных средств ГИС входит редактор графической информации.

Все ГИС включают модули преобразования внешних форматов данных, средства импорта/экспорта наиболее распространенных графических векторных и растровых форматов. В наиболее мощных системах имеется поддержка различных стандартов обмена пространственными данными и стандартных протоколов взаимодействия приложений.

При использовании ГИС в системах управления производственными процессами основной акцент делается не

столько точность представления пространственных данных (карта) или на аккуратную привязку объектов к координатам, сколько на контроль за изменением состояния этих объектов. В связи с тем, что каждый объект обладает статическим (атрибуты) и динамическими (состояния) параметрами, формирование которых находится в ведении различных подразделений и служб, то при обеспечении ввода/вывода и оперативного обмена информацией (смена состояний объектов, модификация атрибутов, изменение привязки и др.) невозможно обойтись без телекоммуникационной среды.

В настоящее время в мире уже создано множество экспериментальных и коммерческих ГИС самого разного масштаба и назначения, используется десятки тысяч практических систем.

Ведутся работы по использованию ARC/INFO для проектирования и эксплуатации Ямбургского газоконденсатного месторождения.

Для решения задач в горнодобывающей промышленности используется ГИС: Datamine (США), Techbase (США), SURPAC (Австралия), ERMAPPER (США, Австралия), и др. Особенно интенсивно такие ГИС создаются и используются для разведки нефти, газа и других полезных ископаемых, составления кадастров, решения городских задач.

Такой опыт использования ГИС накоплен в России, созданы специализированные межотраслевые геонформационные центры.

Существует большой круг задач системы управления угольной шахты, эффективное решение которых возможно с использованием ГИС:

Прогнозирование горно-геологических условий отработки угольных пластов, геологическая разведка месторождения;

Автоматизированное составление разнообразных карт, планов и схем на базе использования полнофункциональных ГИС;

Прогноз и оценка запасов полезных ископаемых, контроль состояния подготовки запасов;

Планирование и прогнозирование объемов добычи угля и других технико-экономических показателей с учетом изменчивости природных и других факторов;

Оценка шахтного фонда

Планирование ввода в эксплуатацию новых месторождений;

Подготовка решений при оперативном управлении шахтой;

Контроль состояния опасных зон (по внезапным выбросам угля и газа, эндогенным пожарам и др.);

Оценка потерь и ущерба от катастроф и аварийных ситуаций;

Слежение и оценка работы оборудования;

Контроль и анализ состояния природной среды, экологический мониторинг;

Материально-техническое снабжение, комплектация оборудования и др.

Для их решения с использованием ГИС-технологий необходимо построение соответствующих моделей, создание дополнительных модулей для их реализации в рамках имеющихся ГИС.

Однако для горных предприятий, вследствие их специфичности, используется несколько сотен модулей. И большинство из данных модулей применяются на открытых разработках.

2.2 Графика и геометрические построения в горно-промышленных системах

В процессе геологического изучения определенного участка проводятся работы по построению цифровой модели месторождения и визуализации их результатов. Для каждого типа полезных ископаемых используются свои методы и средства их реализации.

Наибольшим разнообразием отличаются автоматизированные системы для исследования твердых полезных ископаемых. Значительная часть их предназначена, в первую

очередь, для описания элементов месторождения и подсчетов запасов.

Развитие любого горного предприятия включает фазы: поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, проектирования, строительства и эксплуатации этого предприятия.

Интенсивность этих процессов зависит от многих факторов, причем определяющими, как правило, являются критерии макроэкономического уровня. При потребности в полезных ископаемых конкретного месторождения и благоприятных условиях для его включения в существующий или создания на его базе нового горнопромышленного комплекса, все перечисленные стадии жизни горного предприятия ведутся непрерывно, по возможности с параллельным ведением работ смежных стадий.

Интенсивность ведения комплекса работ на каждой стадии во многом определяется используемыми технологиями.

Процессы подготовки, выемки и переработки полезного ископаемого включают: геологоразведочные; добычные; обогатительные; металлургические и др. Каждый вид работ имеет свою специфическую продукцию. Все процессы включают моделирование как средство изучения или управления объектами (системами). При любом виде моделирования собирается, формируется, перерабатывается и используется информация. При этом необходимо использовать наиболее рациональные и эффективные технологии ее обработки.

Стратегии развития горного производства определяются комплексом отношений, охватывающих в единой системе проблемы управления народным хозяйством в целом, его отраслями (в первую очередь, горнодобывающей и смежными), предприятиями производственной и непроизводственной сферы. Для стран с высокоразвитой горнодобывающей промышленностью большое значение также имеют состояние и тенденции развития сырьевой базы других стран и мира в целом.

Разведка месторождений полезных ископаемых

Первичное геологическое изучение территории страны ведется с использованием методов геологического картирования. На большей части территории стран СНГ проведена систематическая геологическая съемка и составлены карты масштаба 1:200000. В массовом порядке проводятся съемки масштаба 1:50000, в первую очередь для регионов, перспективных по открытию месторождений полезных ископаемых.

Разведка месторождения подразделяется [4] на три стадии:

- предварительная разведка;
- детальная разведка;
- эксплуатационная разведка.

Предварительная разведка проводится с целью выяснения общих размеров месторождения и получения приближенного представления о форме и размерах тела. На данной стадии завершается детальное изучение поверхности в районе нахождения месторождения на основе уточнения крупномасштабной геологической карты.

Предварительную разведку начинают при наличии достаточно точной геологической карты масштаба $1:10000 \div 1:5000$, составленной на инструментальной топографической основе. На этой стадии разведочные выработки проводятся по определенной системе и некоторые из них (для фиксации границы оруденения) доводят до большой глубины. Разведочные выработки одновременно фиксируются на карте рудного поля и на новой топографической основе масштаба $1:2000 \div 1:1000$.

По результатам предварительной разведки «производятся подсчет запасов полезного ископаемого и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), содержащий надежную Промышленную оценку месторождения».

Детальная разведка проводится только на тех месторождениях, эксплуатация которых планируется в ближайшие годы. Так как неэкономично вкладывать

значительно большие средства в объект, промышленное освоение которого откладывается на неопределенное время.

На стадии детальной разведки с максимально достижимой степенью точности обрисовывают контуры каждого тела полезного ископаемого со всеми элементами его залегания и имеющимися разрывными нарушениями; результаты исследований наносятся на карту, составленную на стадии предварительной разведки, в масштабе от 1:2000 до 1:500 (в зависимости от размеров и сложности месторождения) [123-124].

На этой стадии выполняют пространственное расчленение месторождения по природным типам и промышленным сортам полезного ископаемого на основании установленных промышленных условий (кондиций). Поэтому, наряду с химическими анализами и минералогическими исследованиями полезного ископаемого, производятся испытания технологических свойств каждого его сорта.

На основании детальной разведки уже более точно подсчитываются запасы полезного ископаемого по сортам в блоках, выделенных пространственно (с фиксацией на разведочных планах и разрезах).

После утверждения запасов в ГКЗ по результатам детальной разведки составляется технический проект эксплуатации месторождения. В зависимости от размеров месторождения оно может быть передано для промышленного освоения или все целиком, или в случае очень крупных тел полезных ископаемых (выдающиеся месторождения) – по частям.

Эксплуатационная разведка начинается с момента организации добычи полезного ископаемого. Она по расстоянию и по времени немного опережает горно-эксплуатационные работы, сопровождая разработку месторождения почти до ее окончания.

Разведка, проводимая в процессе эксплуатации месторождения полезного ископаемого, отличается наибольшей точностью, так как сеть разведочных выработок в этот период наиболее густая. В их число, помимо сугубо разведочных

выработок, входит множество подготовительных горных выработок: штреков, ортов, восстающих, рассечек.

На этой стадии уточняется строение тел полезных ископаемых как в отношении их формы, так и в отношении границ, разделяющих сорта, а также определяются мелкие тектонические нарушения и смещения. Поверхностное геологическое картирование разведочных работ ведется в масштабах от 1:500 до 1:100 на маркшейдерской основе, что позволяет отличать все необходимые детали строения месторождения с недостижимой ранее точностью.

На основании данных эксплуатационной разведки подсчет запасов полезного ископаемого выполняется наиболее точно, с детализацией по отдельным мелким участкам (этажам, блокам, уступам), что позволяет вести систематический учет добытого и оставшегося в недрах полезного ископаемого по каждому эксплуатационному участку и по различным сортам (движение запасов). По этим данным ведется текущее календарное планирование добычи полезного ископаемого, проводятся подготовительные и очистные выработки, составляется баланс запасов и добычи.

На всех стадиях разведки месторождений полезных ископаемых проводятся гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения.

В методических работах института ВСЕГИНГЕО сформулированы основные требования к гидрогеологической, инженерно-геологической изученности МПИ:

Независимо от сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий на каждой стадии разведки должны быть освещены: площади распространения водоносных горизонтов, условия их залегания, области питания; основные параметры режима подземных вод в процессе предлагаемой эксплуатации месторождения; возможные притоки воды в горные выработки; характеристика источников водоснабжения; инженерно-геологические условия участка месторождения.

В начальный период разведки (поисково-разведочные работы, предварительная разведка) гидрогеологические и инженерно-геологические условия изучаются предварительно.

На этих этапах дается характеристика водоносных горизонтов по площади их распространения и области питания; сравнительная оценка различных участков месторождения в отношении их обводненности и инженерно-геологических условий.

В период детальной разведки гидрогеологические и инженерно-геологические условия месторождения выясняются достаточно полно, хотя эти исследования необходимо продолжить и в период эксплуатационной разведки, все более детализируя данные. При этом освещаются: тектоника месторождения; геоморфология участка; особенности горных пород и полезного ископаемого в инженерно-геологическом отношении; водоносные горизонты, их мощность, площади распространения, водообильность, статические уровни подземных вод; физико-механические свойства водоносных и водоупорных горных пород; количественные показатели притоков воды по участкам и отдельным выработкам; физические свойства и химический состав подземных и поверхностных вод; условия водоснабжения предприятия.

К задачам инженерно-геологических испытаний горных пород относится определение:

1. Минералого-петрографического состава пород и их физико-механических особенностей;

2. Гранулометрического состава рыхлых пород или кусковатости монолитных пород в различных условиях их разрушения при проходе выработок;

3. Влажности;

4. Пористости;

5. Коэффициента разрыхления;

6. Угла внутреннего трения рыхлых пород;

7. Пластичности глинистых пород;

8. Степени набухания глинистых пород;

9. Способности к набуханию глинистых и других (слабосцементированных) пород;

10. Сопротивления монолитных пород раздавливанию и разрыву;

11. Морозостойкости скальных и монолитных и трещиноватых пород.

Рассмотренные данные необходимо сохранять в соответствующих базах данных по мере их определения с целью использования на следующих стадиях функционирования предприятия.

Накопленный опыт работы с геологоразведочными данными позволил сформулировать следующие основные принципы разведки [116,117]:

1. Полноты исследования;
2. Последовательных приближений;
3. Равномерности (равной достоверности);
4. Наименьших трудовых и материальных затрат;
5. Наименьших затрат времени.

Принцип полноты исследования выражается в необходимости освещения с большей или меньшей детальностью всего пространства, занимаемого разведываемым месторождением.

Указанный принцип предполагает в качестве неперменной составной части геологоразведочного процесса геологическое картирование как на поверхности, так и под землей в соответствии с каждым этапом разведки. Это связано с необходимостью фиксирования пространственной информации об отдельных элементах исследуемой системы (месторождения), их взаимосвязей и связей с другими системами (вмещающие породы, подземная гидросфера, горные выработки и др.)

Первое требование – обязательность оконтуривания всего месторождения. В случае сложного месторождения – оконтуривание всех тел полезного ископаемого, составляющих месторождение.

Второе требование – обязательность полного пересечения тела полезного ископаемого разведочными выработками.

Третье требование – всестороннее изучение качества полезного ископаемого. При проходке дорогостоящих разведочных выработок всегда целесообразно использовать их для попутного комплексного освещения гидрогеологических, инженерно-геологических и горнотехнических вопросов, чтобы

предотвратить излишние затраты на эти виды исследований в дальнейшем.

Принцип последовательных приближений состоит в наращивании знаний о месторождениях по определенным этапам. Процесс разведки разбивается на части (стадии), в каждую из которых месторождение изучается с различной, все возрастающей детальностью.

Принцип равномерности вытекает из необходимости более или менее равномерного описания всех частей разведываемого месторождения.

«В основе этого принципа лежит положение о том, что природные тела полезных ископаемых характеризуется изменчивостью форм и качества, уловить которую можно лишь при более или менее равномерном распределении разведочных выработок и пунктов опробования в пределах пространства, занимаемого месторождением». Однако при размещении разведочных выработок следует учитывать характер изменчивости параметров месторождения.

Этот принцип требует также соблюдения равной точности проводимых на каждой стадии разведки измерений различного рода, использования на всех участках месторождения равноценных по результатам методов и техническим средствам разведки.

Принцип наименьших трудовых и материальных затрат предполагает, что количество и протяженность разведочных выработок, число проб и объемы всех видов исследований должны быть минимальными среди множества достаточных вариантов измерительных работ для решения задач разведки.

Принцип наименьших затрат времени выражается в необходимости проводить разведку в кратчайшие сроки. Этот принцип связан с возможностью народнохозяйственного эффекта при интенсификации геологоразведочных работ как первого звена в системе освоения минеральных ресурсов. При описании месторождений полезных ископаемых используются различные методы и способы работы.

Основными методами разведки являются три общих для всякого этапа разведки мероприятия, соответствующие трем главным результатам геологоразведочного процесса:

1. Создание системы разрезов;
2. Опробование полезного ископаемого;
3. Промышленная оценка месторождения.

Составление системы разведочных геологических разрезов представляет собой вполне обоснованный теоретический способ выяснения формы, внутреннего строения и условий залегания месторождения.

Метод геологических разрезов является надежным способом определения формы, внутреннего строения и условий залегания разнообразных тел полезных ископаемых. Способ позволяет изучить формы тела полезного ископаемого, геологического строения вмещающих пород и их соотношения с рудным телом. Изолинии мощностей представляют собой контуры некоторых сечений (разрезов) тела полезного ископаемого. Поэтому между построением обычных разрезов по данным разведки и построением изолиний поверхности тела по тем же данным нет принципиальной разницы. В настоящее время широко используется компьютерное представление геометрии месторождений полезных ископаемых. Однако метод разрезов до сих пор остается основным.

Разведочное опробование является теоретически обоснованным способом выяснения качества полезного ископаемого. Другого способа для измерения всех характеристик качества полезного ископаемого в процессе разведки не существует.

Промышленная оценка представляет собой способ определения по данным разведки промышленного значения месторождения, то есть возможностей и условий его использования. Оценка – необходимая заключительная часть каждой стадии разведки; разведку нельзя считать законченной, если по ее результатам месторождению не дана оценка.

Обычно оценка дается путем сравнения, сопоставления данного месторождения с другими подобными месторождениями или путем сравнения элементов процесса его

промышленного освоения (добычи, переработки и др.) с подобными элементами других горнопромышленных предприятий. При этом главными критериями оценки служат экономические показатели.

Промышленное оценивание месторождения ведется непрерывно в процессе его разведки, получая законченное выражение в конце каждой стадии геологоразведочного процесса. Промышленная оценка месторождения на этапе поисково-разведочных работ обычно учитывает два показателя:

1) ориентировочную годовую производительность будущего горного предприятия;

2) величину капиталовложений, необходимых для промышленного освоения месторождения.

На стадии предварительной разведки добавляются технические и экономические показатели: объемный коэффициент вскрыши (используемый для определения способа разработки месторождения – подземного или открытого); технологичность переработки (или возможность прямого использования) полезного ископаемого определяется по средним значениям вещественного состава; ценность полезных компонентов и себестоимость их добычи и переработки, служащие для определения рентабельности будущего предприятия и эффективности капиталовложений. Все указанные методы и способы используются при формировании и работе данных месторождения полезных ископаемых, которые далее входят в состав банка данных горного предприятия.

«Большое значение при построении объектов в части написания функций обработки информации и определении их внешнего и внутреннего интерфейса имеют содержательная сущность информации и способы ее комплексирования и размещения». Эти вопросы решаются при построении и введении информационной базы системы.

2.3 Геолого-маркшейдерская информация при разведке месторождения

При разведке месторождения важное значение имеет геолого-маркшейдерская информация. Специфика геологоразведочных работ требует совместного фиксирования пространственных и атрибутивных данных. Документирование результатов этих работ имеет свои особенности.

В зависимости от вида работ и соответствующих им наблюдений выделяется несколько видов документации:

- Геологическая, имеющая целью отображение геологических условий залегания, формы и внутреннего строения тела полезного ископаемого;

- Опробования;
- Гидрогеологическая;
- Геофизическая (геохимическая);
- Инженерно-геологическая.

Вся геологическая документация подразделяется на первичную и сводную. Первичная документация отражает исходный материал, собираемый при непосредственном наблюдении явлений в разведочных выработках. Сводная документация составляется путем объединения и обработки первичной с использованием интерполяции и экстраполяции.

Первичная документация

Первичная документация составляется на всех этапах разведки месторождений как при пассивных (описание рельефа, выходов горных пород на поверхность и др.), так и активных (проведение разведочных выработок) наблюдениях.

Основными объектами наблюдений в процессе проведения разведочных выработок являются:

Геологические условия залегания тела полезного ископаемого;

Размеры и элементы залегания вскрытых разведочной выработкой участков тела полезного ископаемого и вмещающих его горных пород. Связь формы тел с элементами деформационной структуры. Типы трещин и складок во вмещающих породах;

Характер контактов между залежью и вмещающими горными породами, а также между различными типами полезного ископаемого внутри залежи;

Вещественный (химический) состав полезного ископаемого и распределение полезных и сопутствующих минералов в пространстве, т.е. текстуры руд;

Изменения вмещающих пород вблизи тела полезного ископаемого;

Тектонические и иные нарушения, особенно те, с которыми связано какое-либо смещение тела полезного ископаемого.

В понятие «геологические условия залегания» входят многообразные сведения о составе и строении пород, вмещающих тело полезного ископаемого, а также о взаимоотношениях между ними и полезным ископаемым. В первую очередь сюда входят: размеры и элементы залегания тела полезного ископаемого, характер контактов тела полезного ископаемого с вмещающими породами, вещественный состав полезного ископаемого (макроскопическое и микроскопическое обследование, химические анализы), изменения вмещающих пород, тектонические нарушения.

Большую часть первичной документации составляют в полевых условиях. Это - записи, зарисовки, которые сопровождаются взятием проб. После получения документации опробования составляется «обобщенная первичная» документация, служащая основой для формирования сводной документации. Для повышения полноты и сохранения объективности такой обобщенной документации геологами выработаны правила составления записей и зарисовок. Например, требуется, чтобы все зарисовки были точно увязаны и ориентированы по сторонам света, на них должны быть отмечены координаты всех пунктов взятия образцов и проб. Все записи и зарисовки привязываются к используемым на данной стадии разведки геологическим картам.

Геологическая документация разведочных скважин состоит в систематическом ведении сменного бурового журнала, регистрации материала, добываемого из скважин, и построении геологического разреза по оси скважины (колонки).

Документация разведочных скважин (выработок) в зависимости от их размеров и сложности геологического строения месторождения проводится в масштабах: 1:100, 1:500.

Из рассмотренных документов лишь «обобщенные первичные» могут подвергаться автоматизированному ведению. Однако информация из остальных документов должна также переноситься наряду с данными из выделенных документов в «геологические» DLL-модули. Эти модули будут первыми «кирпичиками» в создаваемой геологической модели месторождения полезных ископаемых с компонентной (объектно-ориентированной) архитектурой.

Сводная геологическая документация

Для создания надежной сводной документации по месторождению стоит соблюдать следующие основные условия увязки данных различных разведочных выработок и геологической карты месторождения:

Для всех участников необходимы достаточно точные топологическая и маркшейдерская съемки; при этом топографические планшеты и маркшейдерские построения должны быть приведены к единой системе координат;

Для устранения пространственного смещения данных опробования необходимы определения кривизны глубоких (свыше 150м) разведочных скважин – как зенитной, так и азимутальной.

Требуется единая легенда для всех участников разведываемого месторождения, по возможности иллюстрируемая эталонной коллекцией горных пород и типов полезного ископаемого;

Необходимо использовать одинаковые или близкие и кратные масштабы зарисовок, буровых колонок и других графических построений;

Для удобства систематизации и ведения данных необходима рациональная нумерация проб и образцов.

Опыт разведочных работ, в процессе которых проводится масса разнообразных измерений, определений и наблюдений, показывает, что эти данные должны быть строго зафиксированы в пространстве. Иначе может возникнуть непоправимая

путаница, обесценивающая все результаты исследования. Поэтому все элементы геологоразведочных исследований должны иметь строгую привязку и нумерацию, причем следует отдельно нумеровать: разведочные выработки, образцы, пробы, различные анализы, геофизические измерения, гидрогеологические наблюдения.

Нумерация может быть осуществлена тремя способами: 1) в хронологической последовательности; 2) относительно опорного пункта; 3) в виде абсолютных топографо-маркшейдерских отметок.

В связи с многообразием объектов исследований и уникальностью их сочетания на каждом отдельном месторождении, общепринятого стандарта условных обозначений для зарисовок, разведочных разрезов и крупномасштабных геологических карт нет. Поэтому при разведке каждого месторождения вырабатывается своя «легенда», которая создается с учетом общегеологических обозначений: литологических разностей, возраста горных пород и др.

В результате увязки данных, полученных по отдельным разведочным выработкам и при геологической съемке поверхности месторождения, создается сводная документация, которая включает:

1) отчет; 2) карты; 3) разрезы; 4) проекции; 5) блок-диаграммы; 6) модели.

Все сводные разведочные чертежи и объемные изображения строятся в определенном масштабе и в установленной системе координат. Составление сводной пространственной документации в процессе геологоразведочных работ (до начала эксплуатации месторождения) заключается в построении карт, разрезов, реже – проекции и блок-диаграмм. Отсюда вытекает обоснование использования трехмерных наглядных изображений при компьютерном представлении месторождений.

К основным видам сводной документации относятся геологические карты и разрезы. Все остальные виды документации являются производными.

Геологические карты поверхности в сводной документации выполняются в масштабе 1:2000, 1:1000 и 1:500 в зависимости от сложности геологической обстановки месторождения.

При поисково-разведочных работах создается геологическая карта в масштабе 1:10000 и 1:5000 (реже 1:25000), на основании которой направляется предварительная разведка.

Данные, получаемые на стадии разведки, наносятся на топографическую карту более крупного масштаба 1:2000, 1:1000 или 1:500, что обосновано необходимостью размещения более детальных разведочных материалов.

Методы подсчета запасов разделяют на две группы: геометрические методы и методы дистанционного взвешивания. Геометрические методы основываются на допущении, что содержание по пробе приписывается окружающей области. Относятся: методы регулярных блоков, многоугольников, треугольников и разрезов. Во вторую группу входят методы обратных расстояний, корреляционных функций и геостатистический метод.

Из геометрических методов наиболее широкое применение получил метод многоугольников. Сущность его состоит в выделении вокруг каждой разведочной скважины площади, все точки которой являются более близкими к ней, чем ко всем ее окружающим. Площадь называют ближайшим районом, и на ней отстраивается призма рудного тела. Этому блоку присваиваются значения мощности, содержания и средней плотности, полученные по скважине. При использовании метода многоугольников средневзвешенные показатели мощности рудного тела и содержания полезных компонентов для системы блоков будут соответственно равны.

Эффективность этого метода определяется величиной коэффициента корреляции между площадями влияния скважин и отклонениями показателей по скважинам от их истинных значений по блоку.

Метод обратных расстояний – распространенный метод дистанционного взвешивания для оценки содержания в блоках

правильной формы. Среднее содержание полезных компонентов C (%) в блоке определяется методом обратных расстояний.

При оценке запасов этим методом, как и для всех методов дистанционного взвешивания, необходимо определить способ выбора ближайших проб. Для этого определяется конечное число ближайших проб или по плотности сети опробования определяется радиус влияния R , за пределами которого пробы не участвуют в оценке. Для избежания эффекта, связанного со скреплением проб в одних направлениях и отсутствием их в других, используется угловое исключение, сущность которого заключается в том, что окружность, проведенную с центра блока, разбивают на n одинаковых секторов. В пределах каждого сектора выбирается одна проба, ближайшая к центру блока. Если одна из проб находится в центре блока, то среднее содержание будет определяться только данными этой пробы.

В работе М.П. Барнеса «Интерполяция буровых скважин: подсчет запасов» приведен модифицированный метод обратных квадратичных расстояний, учитывающий в определенной степени различную изменчивость по и вкрест простирания залежи. С этой целью вокруг оцениваемого блока строится эллипс, оси которого расположены по направлениям минимальной и максимальной изменчивости содержаний. При этом отношение осей эллипса обратно пропорционально отношению значений изменчивостей к коэффициенту анизотропии. Для пробы, расположенной по направлению к наибольшей изменчивости, расстояние от центра блока увеличивается пропорционально отношению полуосей, для пробы на короткой полуоси расстояние не изменяется. В произвольном направлении длина вектора определяется по его проекциям на осях X и Y .

Методы обратных расстояний применяются только для небольших блоков правильной формы. Это объясняется тем, что при различных конфигурациях контуров блоков ближайшие скважины могут иметь одинаковое расстояние к центрам этих блоков.

Этот недостаток устраняется с помощью метода сстоек, представляющего собой более усложненный вариант метода

обратных расстояний. Подсчетный блок покрывается правильной регулярной сеткой. Для каждого узла сети, попавшего во внутреннюю часть блока, определяются интерполированные значения показателя по данным опробования ближайших скважин. Среднее арифметическое интерполирование значений определяет содержание в заданном блоке. Точность подсчета запасов в блоке определяется размером сети и способом интерполирования. С уменьшением размеров сети точность подсчета повышается, а оперативность решения – снижается.

Метод сеток малоэффективен при выдержанной мощности и малой изменчивости качественных показателей. В случае же сложноструктурных месторождений с перемежаемостью руд и скальных включений пород в блоках, этот метод требует сложной алгоритмизации.

При отсутствии анизотропии имеют место стационарные случайные функции, корреляционные функции которых зависят только от разности аргументов.

Достаточно одной реализации стационарной случайной функции для построения ее корреляционной функции. Для таких условий достаточно точные результаты при подсчете запасов даст метод автокорреляционных функций, предложенный немецкими учеными Г. Менцем и К. Эртелем.

Наиболее точным из методов дистанционного взвешивания является геостатистический, известный под названием крайгинг (кригинг). Он базируется на геостатистической теории, изложенной в работе известного ученого Ж. Матерона «Основы прикладной геостатистики», посвященной в основном оценке точности определения содержания и запаса полезного ископаемого в разведуемом месторождении, рудном теле или блоке.

2.4 Геостатистическое исследование месторождения

Геостатистическое исследование получило широкое распространение в связи с развитием компьютеризации. Основы геостатистики были заложены исследованиями Д.Криге, Х.Дейвиса, Ж.Матерона. В настоящее время геостатистика находит широкое практическое применение, так как позволяет иметь минимальную погрешность при оценке запасов руды.

Важность геостатистического моделирования залежей основывается на том факте, что это математически точный и геологически обоснованный алгоритм. Это увеличивает признание горными инженерами полученных моделей, а, следовательно, и результатов и выводов, полученных из этих моделей. Практические приложения и анализ моделей залежей получили еще большее развитие с появлением графических сред, в которых эти модели представляются и обрабатываются.

К геостатистическому исследованию месторождения относятся:

- 1) вариография,
- 2) кригинг.

Количественное представление пространственной структуры данных, т.е. *вариография* (создание вариограмм), дает возможность пользователям подобрать к данным модель пространственной зависимости.

Геостатистический анализ (*вариография*) выполняется для всех доменов (рудные тела, пласты, жилы, зоны окисления и пр.) и изучаемых элементов.

Для изучения пространственной неоднородности минерализации и параметров необходимо изучение вариограмм для оценки содержаний с помощью кригинга. В прикладном плане знание параметров пространственной изменчивости рудной минерализации дает возможность серьезно сэкономить средства на разведочные работы. Знание закономерностей распределения полезных компонентов в пространстве позволяет более надежно интерполировать содержания и оценивать достоверность запасов. На рисунке 2.2 представлен фрагмент геостатистического анализа.

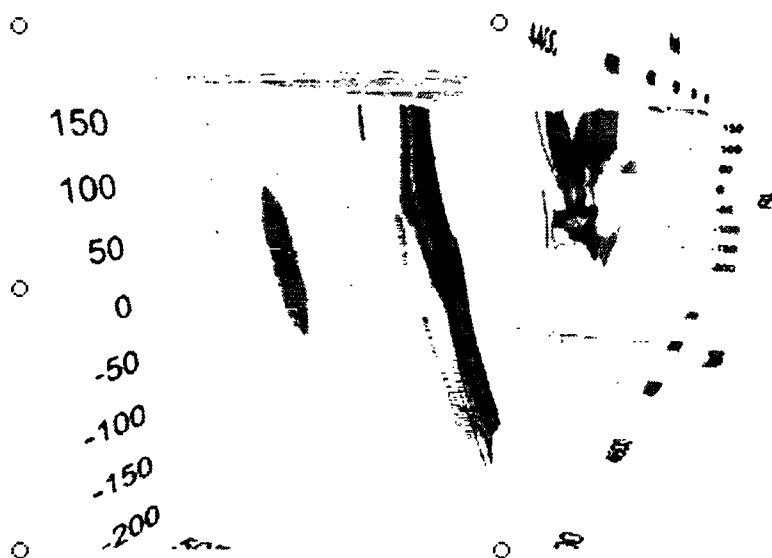


Рисунок 2.2. Фрагмент геостатистического анализа

Вариограммы строятся по трем ортогональным направлениям для оценки пространственной изменчивости минерализации в каждом из направлений. По мере увеличения расстояния между парами проб будет расти и их изменчивость, а корреляционная связь падать.

Можно разделить на следующие виды вариограмм:

- всенаправленная вариограмма,
- вариограмма вдоль скважин.

Определяют несколько осей анизотропии. То есть, после определения азимута основного направления вариограммы оценивается его угол падения (точнее сказать, угол погружения главной оси).

В компьютерной программе в открывшихся окнах *Азимут* главной оси и *Наклон* главной оси необходимо вписать соответствующие данные (например азимут 600, угол 50°). Исследование углов также проводится в данном примере в пределах от $(-900 + 50 = -850)$ до $(+900 - 50 = 850)$ (угол падения перпендикулярной оси в данном случае не может превышать пределов от -850 до +850).

Построив отдельный график вариограммы второго направления (в нашем случае азимут 1480, угол -200^0) также необходимо подобрать теоретическую модель.

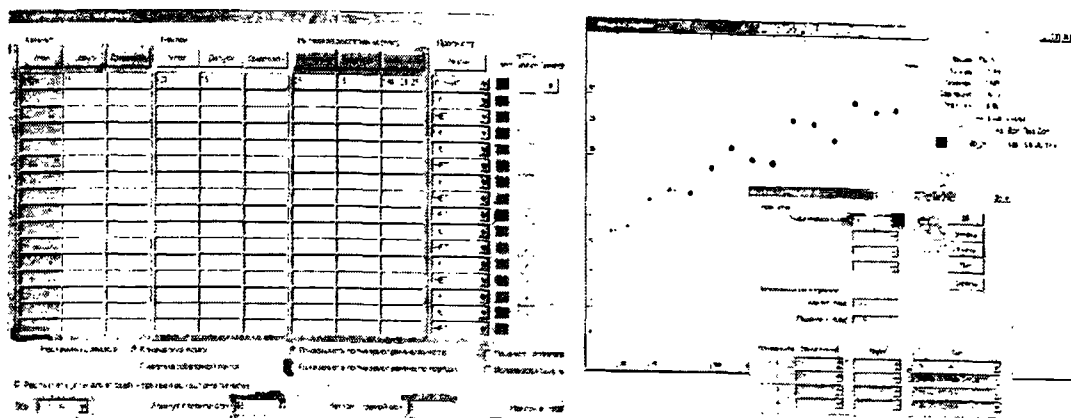


Рисунок 2.3, 2.4. Фрагмент таблицы и график теоретической кривой

Для расчета вариограммы третьего направления, при заполнении формы указывается третья ось и вписывается угол наклона второй оси. Программа Micromine также автоматически рассчитает азимут и угол третьей оси. Получив график, надо построить модель теоретической кривой и сохранить ее форму параметров.

Все три формы теоретических графиков будут использованы при заполнении формы оценки содержаний в блочной модели методом кригинга (Моделирование/3D оценка блока/Ординарный или универсальный кригинг).

Кригинг - это геостатистический метод интерполяции, позволяющий исследовать пространственные взаимоотношения между данными. Метод назван по фамилии южно-африканского геолога Дэнни Криге. Кригинг выполняет две группы задач: количественное определение пространственной структуры данных и создание прогноза. Для расчета неизвестного значения переменной в заданном месте кригинг будет использовать подобранную модель из вариографии, конфигурацию пространственных данных и значения в точках измерений вокруг данного местоположения.

Теоретические положения следующие:

Основная мера пространственной непрерывности данных - полувариограмма является мерой различия данных в пространстве и представляет собой математическую формулу:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (x_i - y_i)^2 \quad (2.1)$$

Значение γ находится в обратной пропорции к половине среднего квадрата разности между двумя признаками, разделенными вектором h .

При моделировании полувариограммы, то есть приспособлении модели к величинам гамма, необходимо выбрать тип модели, это зависит от природы месторождения. Существуют следующие типы: линейная, общая линейная (линейные графики) и сферическая, экспоненциальная, гауссова, смешанная паддингтона, дырочный эффект (криволинейные графики). Чаще всего пользуются сферической или экспоненциальной.

Сферическая:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 \\ 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

где h - лаг, a - зона влияния.

Экспоненциальная:

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \quad (2.3)$$

Алгоритм кригинга заключается в следующем:

сначала рассчитывается матрица K , где гамма представляет собой средние квадраты между парами, при условии, что средняя квадратическая ошибка в колонке матрицы в сумме равна нулю. Затем строится вторая матрица ($M2$), которая вычисляет средние квадраты отклонений между точками данных (проб) и центральными точками элементарных блоков

будущей блочной модели. Это выполняется с использованием значений гамма из моделей вариограммы.

Затем матрица K делится на матрицу $M2$, чтобы получить кригинговый вес, который обозначается λ .

Любые остатки учитываются коэффициентом Лагранжа μ .

Только появление возможности быстрой обработки миллионов единообразных уравнений компьютерами, позволило применить эти не прямые вычисления как альтернативу более простым методам. Существуют многочисленные разновидности описанного алгоритма с обычным, универсальным, индикаторным кригингом и т.д., которые доступны в Micromine в простой и удобной форме.

Блочные модели геологических тел могут создаваться как в единой системе привязки к "коробке месторождения", так и в своих локальных, максимально учитывающих габариты тел. Задание блокам значений текущей компоненты или характеристики может осуществляться с использованием метода обратных расстояний или кригинга. При использовании обоих методов может учитываться анизотропия распределения полезного ископаемого в границах зоны минерализации, а также размеры зоны влияния проб.

Основа геостатистики — оценка извлекаемых запасов. Геостатистика позволяет составить прогноз об извлекаемых запасах при работе реального карьера.

Стандартная последовательность обработки геологической информации, рассмотренная в работе [45] следующая:

ввод первичной геологической информации: параметров бурения скважин и пространственного размещения проб, данных опробования, геологических профилей;

проверка и корректировка введенной информации;

расчет пространственного положения каждой пробы;

статистическая обработка данных;

геостатистическое исследование анизотропии изменчивости массива и создание вариограммных моделей для каждого рудного тела;

геометризация рудных тел месторождения, различных геологических поверхностей и зон;

создание блочной модели месторождения, интерполяция показателей характеристик массива и литологии;

оценка запасов полезных ископаемых, в том числе оценка извлекаемых запасов.

Главные преимущества геостатистической теории:

- Строгое математическое обоснование. Использование аппарата собственных функций (разновидность случайной функции) позволяет отказаться от ограничений, применяемых в классических вероятностных методах.

- Возможность аналитической формы всех расчетов и высокой степени унификации машинных программ.

При подсчете запасов средние значения качественных показателей рассматриваются как функция геометрической формы блока, расположения исходных данных опробования и пространственной изменчивости геологических характеристик. При оценке запасов в определенной степени учитывается различная изменчивость минерализации – анизотропия.

При подсчете запасов решаются две основные задачи: определение наиболее вероятной оценки запасов руды и установление точности этой оценки, что весьма важно при планировании горных работ. Изучение многих месторождений показало, что в большинстве случаев подсчет запасов руд, вычисление средних содержаний компонентов и оценка точности получаемых результатов могут решаться в рамках геостатистической теории.

Среднее содержание в подсчетном блоке геостатистическим методом определяется по формуле:

$$Z^* = \sum a_i z(x_i) \quad (2.4)$$

где $z(x_i)$ – содержание полезного компонента в пробах, участвующих в оценке, %;

a_i – коэффициент взвешивания (коэффициент крайгинга).

Коэффициенты a_i определяются решением системы уравнений крайгинга. Их значения зависят от количественных характеристик изменчивости содержаний в пределах

рассматриваемого рудного тела, к которому принадлежит подсчетный блок. Основная цель заключается в том, чтобы найти весовые коэффициенты, благодаря которым достигается наилучшая оценка содержания и наименьшая погрешность оценки (дисперсия оценивания). При этом выполняется условие несмещенности за счет $\sum a_i = 1$, т.е. полученные результаты не должны иметь систематического завышения или занижения.

Разновидность крайгинга определяется совокупностью допущений, позволяющих упростить процесс моделирования. Основное допущение [14] связано с представлением модели изменчивости признака (содержания полезного ископаемого) в виде функции от трех независимых компонент: детерминированной функции и случайной независимой компоненты. На выбор метода также влияет размер элементарного блока, выделяемого при расчетах.

Для блоков малых размеров: при наличии тренда и случайной коррелированной функции лучшее описание поля (пространства) признака дается методом универсального крайгинга; при отсутствии тренда и значительной коррелированной составляющей – дискретным крайгингом; при отсутствии тренда и сопоставимых коррелированной и некоррелированной случайных компонентах – методами оптимального статистического оценивания. В случае преобладания случайной независимой составляющей все методы сопоставимы по точности результатов расчетов.

Для больших блоков: при наличии коррелированной случайной составляющей лучшее описание дается методом случайного крайгинга, если величина интервала корреляции сопоставима с линейными размерами блока. При малой значимости этой составляющей точность расчетов методами крайгинга практически сопоставима с расчетами методами средневзвешенной арифметической оценки и многоугольников.

Известны случаи неэффективности применения методов крайгинга. В условиях месторождений ГОКа «Эрденет» автоматизированный подсчет запасов проводится методами сеток и многоугольников, с некоторым предпочтением в сторону метода многоугольников ввиду большей наглядности

его результатов. Это объясняется сложностью геологического строения месторождения (низкая сплошность рудных тел в эксплуатационных блоках), небольшими по размерам контурами различных сортов руд (малое количество разведочных данных в каждом контуре).

В других работах, посвященных сравнительной оценке методов подсчета запасов в заданных блоках различных месторождений отмечается, что полигональный метод несколько уступает по точности методам обратных расстояний и геостатистическому (в большей степени).

Для рудных месторождений зачастую методы многоугольников и геостатистический метод примерно одинаковы по точности. В таких случаях целесообразно использовать метод многоугольников, требующий по сравнению с геостатистическим методом значительно меньших затрат машинного времени для расчетов. В общем случае выбор метода автоматизированного подсчета запасов зависит от конкретных геологических условий, методики построения математической модели месторождения, плотности сети опробования, сложности математического обеспечения, геометрической формы подсчетного блока (контур), затрат машинного времени, изменчивости геологических показателей. В каждом конкретном случае может быть использован тот или иной метод, или их комбинация.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что многообразие природных условий залегания и строения месторождений не позволяет использовать единственный универсальный метод подсчета запасов ископаемых. Кроме того, на его выбор существенно влияют доступные на момент проведения расчетов множество данных и цели их определения.

Широко используемый в настоящее время метод регулярных (прямоугольных) блоков эффективен в случае работы с телами полезных ископаемых простой формы. Для месторождений сложной структуры необходимо разрабатывать соответствующие методы подсчетов запасов.

Для эффективной работы с графической (пространственной) информацией и быстрого адаптирования к

любым алгоритмам обработки автоматизированных систем геологического документирования, проектирования горных предприятий должны использоваться ГИС-технологии. При этом необходимо создавать библиотеки специализированных программ, реализующих указанные методы.

2.5 Применение геоинформационных технологий при проектировании и эксплуатации карьеров

При проектировании горнопромышленных комплексов отраслевыми проектными организациями используются разнообразные методы проектирования. При этом широкое применение получило автоматизированное моделирование.

Преимуществом компьютерного моделирования месторождений полезных ископаемых является быстрое и точное выполнение решаемых задач.

Одной из лучших систем автоматизированного проектирования горных предприятий является расширяемый комплект 3D CAD программного обеспечения горной технологии MINESCAPE фирмы MINCOM.

MINESCAPE – модульная базирующая на рабочих станциях UNIX система, которая полностью удовлетворяет потребности технического информационного управления горного предприятия, от сбора данных по разведочным скважинам до промышленного планирования.

С 1991 года система MINESCAPE стала международным стандартом горной промышленности и в настоящее время используется более чем в 100 самых крупных горных предприятиях мира. Данная система подробно изложена в работе [48].

MINESCAPE работает в платформах Silicon Graphics, Sun и IBM RS6000.

Проектирование в системе начинается с геологического моделирования для определения запасов месторождения. В MINESCAPE создана специализированная подсистема (модуль) Запасы. Компьютерное моделирование месторождений

полезных ископаемых включает размещение рудых тел, вычисление геологических и промышленных запасов.

Модуль *Запасы* – общий во всех горных приложениях. Базовая система данного модуля формирует таблицы элементов, любые значения которых затем могут быть повсеместно использованы. Эти таблицы включают:

- элементы залегания тела полезного ископаемого,
- размеры полезного ископаемого,
- истинную площадь для поверхностей,
- истинную мощность (перпендикулярно плоскости пласта) для интервалов,
- результаты определения качества полезного ископаемого.

Промышленные запасы включают разубоживание, потери, основную влажность и восстановление. Модуль *Запасы* использует подсистему (субмодуль) *Качество*, чтобы управлять запасом (уголь/руда) и качеством для отдельно моделируемых поверхностей. Используется также для суммирующих таблиц полезных ископаемых.

Модуль *Запасы* может точно определить каждую форму данных MINESCAPE. Он включает связанные многоугольники, блоки, широкие полосы, и пары поверхностей. При этом используется техника дискретизации – триангуляция, которая позволяет осуществлять выбор центральной или верхней вершины. Результирующая таблица отражает множество величин запасов для всех треугольных призм, включенных в тело полезного ископаемого.

Пересчет запасов основан на принципе использования фактически любого горного показателя (качество, мощность тела и др.) из суммирующих таблиц. Аналогично, статистика может быть рассчитана для суммирующих таблиц, чтобы определить внутреннюю изменчивость и доверительные оценки результатов. Все встроены отчеты MINESCAPE и способности САПР пригодны для обработки и отображения этих таблиц.

Модуль *Запасы* независим от любой конкретной модели и действует в любом комплекте представления поверхностей

MINESCAPE. Модуль MINESCAPE «*Проектирование угольных шахт*» позволяет генерировать и тестировать планы фактических и проектируемых горных работ для угольных шахт. Модуль, включающий комплекты как автоматических, так и диалоговых инструментальных средств, обеспечивает возможность генерировать долгосрочные и краткосрочные планы, используя общие шаблоны [48].

Большинство подземных планов по традиции строятся в двух измерениях (в плане). MINESCAPE опирается на 2D-метод с комплектом инструментальных средств САПР, который автоматизирует процесс проектирования в диалоговом режиме, а затем осуществляет вывод документов.

Разнообразные шахтные планы могут быть оценены быстро, с вычислением количества и качества вынимаемого угля. Прокты могут быть сгенерированы автоматически для больших связанных областей шахт без нарушения целостности.

В submodule «*Краткосрочное проектирование*» поддерживаются все проктные функции разработки полного комплекта 3D-планов и инструкций поверхности разрабатываемого карьера и шахты и далее для всех дальнейших перемещений извлекаемых полезных ископаемых (выемки и складирования). Приспособленная 3D-среда приложений САПР обеспечивает инструментальные средства, которые позволяют модифицировать части прокта в течение генерации и отображать предполагаемые разработки в непрерывном ряде изображений.

Интеграция с другими модулями позволяет при необходимости немедленно включить эти разработки для получения детальной информации об ежедневных промышленных операциях.

В модуле «*Долгосрочные проекты*» могут быть автоматически сгенерированы крупномасштабные разработки, которые соответствуют выбранным горным операциям. Submodule *Open Cut Design* предоставляет инструментальные средства, облегчающие разработку базового проекта, обычно опираясь на геологическую модель, созданную с использованием сводного комплекта геологических и горных

критериев. Базовый проект опознает линии начальных контуров, пределы и правила развития.

Для дальнейшей обработки, описания и запоминания этих блоков предусматриваются специализированные 3D-инструментальные средства САПР. Планы уступов дополняются сечениями бортов карьера с детализацией объемов полезных ископаемых по модели геологических блоков для рудных карьеров. Модуль *Запасы* обеспечивает определение категорий запасов и содержание пустой породы в блоках, что позволяет как можно точнее вычислить все содержимое блоков для уточнения планирования.

Описанные модули позволяют ввести в проект любые графические элементы, упрощать проектирование бортов карьера сложной геометрии, включая использование геологических поверхностей. При этом борта и геологические/горные поверхности комбинируются в форме «блоков». Проекты базируются на геологической модели, и текущее состояние поверхности может быть непосредственно загружено в цифровой форме как инструкции поверхности в основной блок или как инструкции формата планов, результаты непосредственно сохраняются в базе, имеется комплект подсистем генерации таблиц запасов и отчетов.

Проекты могут быть объединены, а также перестроены от текущего состояния карьера с использованием линий разрезов и сечений, контуров любой геологической модели введенных заданиями САПР и др. Это позволяет точно определить объемы полезного ископаемого, которые будут извлечены в соответствии с параметрами выемочного оборудования.

Законченные проекты могут быть поверхностями или объемными фигурами. Вид выходных документов может подстраиваться для условий любого предприятия. Запасы могут немедленно вычисляться и сохраняться под именем рудного тела или горного блока.

Субмодуль *«Долгосрочное проектирование»* MINESCAPE поддерживает экспорт блоков в программы оптимизации карьера Whittle 3D и 4D для определения оптимальных границ

карьеров по заданным экономическим и геотехническим критериям.

Модуль MINESCAPE «*Проектирование открытых горных работ*» позволяет генерировать и тестировать конкретное горное предприятие и распечатывать планы проекта не только для краткосрочных промышленных операций, но и для изучения размещения горизонтов карьера или ситуаций добычи. Поскольку разработки могут основываться на промышленной информации или сгенерированы непосредственно от геологических моделей, точные объемы и сорт/качество запасов и отходов в пределах разработки могут вычисляться непосредственно в этом модуле.

«Инженеры-проектировщики могут быстро и эффективно разрабатывать и протестировать область промышленных альтернатив, а также развернуть любой избранный план в подробный план и секционную графику или использовать как комплект инструкций описания области. 3D-среда САПР MINESCAPE позволяет визуально контролировать изменения проекта на каждом шаге моделирования, при этом мощный модуль Запасы гарантирует, что объемы, количество и сорт для каждого компонента в пределах разработки будут точно вычислены» [53].

Так как проекты основываются на промышленной информации геологических блочных моделей и оценки буровых скважин, в пределах проекта предусмотрено два способа непосредственного вычисления точных объемов и сорта/качества запасов и отходов.

Практические проекты в модуле *Open Pit Design* включают карьерные траншеи, бермы, дороги, съезды и уступы. Они могут выводиться как графика, инструкции формата поверхности и объемов. Специализированные возможности 3D-функции САПР позволяют визуально и наглядно взаимодействовать с проектом на каждом шаге, при этом модуль Запасы гарантирует, что объемы, количество и сорт для каждого компонента в пределах проекта достаточно точно вычисляются для использования в других MINESCAPE продуктах.

В данной системе существует модуль «*Уступы и Отвалы*».

Уступы – это дополнительный субмодуль Open Cut Design, генерирует бермы и уступы на борту карьера, обеспечивает получение характеристик уступов под специализированным 3D-интерфейсом САПР. Начиная с проектирования линий (или действующего разреза карьера или базового) и используя определенные целевые позиции, параметры берм и контрольные отметки, система автоматически разрабатывает новый борт карьера. Процесс может быть ограничен от бермы до бермы общим пошаговым управлением построения проекта или будет выполняться целиком для нового карьера.

Параметры уступа и описания поддерживаются как именные спецификации – инженер может просто выбрать различные варианты уступа по имени. *Уступы* могут быть скомпенсированы или спросцированы вдоль повышений, складок или геологических/горных поверхностей. Любая комбинация операций уступ/забой может использоваться в проекте. Субмодуль *Отвалы* – расширение модуля *Уступы*, представляющее набор высот и опций управления уклонами, чтобы разработать отвалы необходимых объемов.

Рассматриваемая система имеет открытую архитектуру и при необходимости может быть дополнена новыми модулями для реализации каких-либо специфических функций проектирования или планирования горных предприятий.

Имеющиеся системы СНГ обладают меньшим набором функций проектирования.

В настоящее время использование весьма дорогих зарубежных САПР для проектирования горных предприятий возможно лишь в крупных проектных институтах горнодобывающей отрасли.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что для новых горных предприятий следует создавать очень детальный технорабочий проект с привлечением проектной организации, которая в состоянии провести квалифицированное автоматизированное проектирование. Ведение графической документации можно автоматизировать с применением графических и ГИС-технологий.

2.6 Построение автоматизированных информационных баз

Способы построения информационных систем делятся на три типа:

1. Общая (глобальная) БД для всех уровней иерархии системы;
2. Одноуровневые БД;
3. Распределенные БД.

Базы первого типа используются в основном в «простых» горнопромышленных системах, имеющих небольшое число уровней иерархии (1-3). В этом случае все необходимые для моделирования данные хранятся в одном месте, что значительно упрощает ведение БД. Эти системы были распространены в 70-80-х годах, их техническое обеспечение строилось на центральных ЭВМ большой мощности.

Долгосрочное и календарное планирование отраслей и народного хозяйства основывалось на балансовом методе. При этом главное требование состоит в увязке имеющихся ресурсов с потребностями по всем видам производимых продуктов. Для верхних уровней иерархии балансовый метод представлял собой систему балансовых расчетов.

Сложная схема межотраслевого баланса основана на разделении общественного продукта на промежуточный и конечный продукты, то есть на сферы материального производства и непроизводственную.

Промежуточный продукт составляет затраты предметов труда во всех сферах материального производства: промышленности, строительстве, сельском и лесном хозяйстве, транспорте и связи, материально-техническом снабжении, заготовках сельскохозяйственных продуктов и др.

Совокупный конечный продукт состоит из следующих основных элементов:

1. Личное потребление населением продукции материального производства отраслей;
2. Общественное потребление, включающее текущие материальные затраты;

3. Прирост оборотных производственных фондов, товарных запасов и резервов.

При составлении межотраслевого баланса в качестве нормативной базы используют коэффициенты затрат, определяющие затраты производственных ресурсов в расчете на единицу конечного продукта: коэффициент капиталоемкости, материалоемкости, затраты труда и др.

Решение большинства технологических и организационных задач горных предприятий основывается на пространственно-атрибутивной информации, большая часть которой обрабатывается подсистемой геолого-маркшейдерского обеспечения. Информационная база этой подсистемы начинает формироваться на стадиях разведки и оценки месторождения полезных ископаемых, затем пополняется, корректируется и детализируется при проектировании, строительстве и эксплуатации предприятия. При автоматизированном ее ведении возможно как централизованное, так и комбинированное хранение информации; обработка же информации в современных системах должна применяться распределенная.

В [14,24] определены единые принципы формирования структуры и разработки отдельных элементов автоматизированной системы графического моделирования горно-геологических объектов. Горное предприятие представляется как геотехнический объект, т.е. комплекс иерархически упорядоченных и взаимосвязанных в пространстве и времени геолого-промышленных и горнотехнических объектов.

Общая графическая модель месторождения и горных работ представляет совокупность моделей с различными системообразующими компонентами:

$$S_i = \langle S_c, M, S_e, S_r, R_z, T \rangle; \quad i = 1, \dots, n$$

где S_c – структурно-функциональная модель системы горно-геологических объектов; M – математико-графическая модель системы; S_e – модель системы геолого-маркшейдерских условных обозначений; S_r – модель геодезической и маркшейдерской метрики; R_z – модель взаимосвязи между компонентами системы; T – временные характеристики системы; n – число уровней детализации.

Представление исходной информации о месторождении в виде структурно-функциональной модели определяет состав и структуру горно-геологических объектов, подлежащих графическому отображению, функциональное назначение графики, а также состав и структуру БД.

Математико-графическая модель системы дает формализованное описание горно-географических объектов (форма, условия залегания, внутренняя пространственная структура и др.)

Модель системы геолого-маркшейдерских условных обозначений определяет типовой набор и способы композиции их графических изображений горно-географических объектов заданного тематического содержания.

Модель геодезической и маркшейдерской метрики определяет систему координат, виды и масштабы изображений, размещение геолого-промышленных и горнотехнических объектов в пространстве с передачей их планового, высотного и взаимного положения.

Модель взаимосвязи между компонентами системы позволяет организовывать трансформацию графических объектов, связанную с преобразованием структуры, метрики и способов изображения геотехнических объектов в зависимости от назначения или необходимости формирования новых графических документов. Эта модель учитывает возможность преобразования структуры изображения путем вычленения, схематизации и детализации.

С помощью временных характеристик системы отражается динамика освоения месторождения в технологическом аспекте и по стадиям управления, что позволяет определить типовой набор контуров и границ объектов, а также процедур их корректировки.

Эффективность функционирования автоматизированных систем геолого-маркшейдерского обеспечения определяется решением вопросов сбора, хранения, обработки и предоставления информации. При этом используются в последнее время объектно-ориентированные базы данных.

Сложность построения информационной базы таких систем связана с многоуровневым представлением данных, а также многофункциональностью использования информации при построении графических изображений. Создаваемые модели геотехнических объектов отличаются разнообразием форм представления их свойств, способами построения и визуализации в зависимости от назначения и условий применения.

Различают комбинированные и отдельные информационные модели в зависимости от степени совмещения геологической и горнотехнической информации. В моделях первой группы эти виды информации хранятся совместно, во второй - отдельно. Установлено, что отдельные модели являются более универсальными в использовании, легче создаются и корректируются.

Вид модели зависит также от способа разработки и особенностей эксплуатации месторождения (сложность их структуры, условия залегания тел полезных ископаемых). При разработке месторождений с простой структурой строятся модели (матричного типа и аналитические) по первичным разведочным данным, по разведочным пересечениям. Сложноструктивные наклонные и крутопадающие месторождения отображают обычно блочными и контурно-точечными моделями.

Для описания горнотехнических объектов (пространственного положения и состояния элементов горных выработок, оборудования и др.) используются соответствующие элементарные и совокупные модели. Например, моделирование контура карьерного поля в плане осуществляется путем аппроксимации их линиями и определения уравнений отрезков прямых между каждой парой соседних узловых точек этих линий.

Анализ особенностей существующих информационных моделей показал, что существование многочисленных классификационных признаков затрудняет оценку их достоинств и недостатков, однозначное определение области их применения.

Некоторые исследователи считают блочные модели месторождений более совершенными по сравнению с «цифровыми», учитывая возможность более простыми методами проводить оценку объемно-качественных показателей горно-технологических объектов при проектировании и планировании горных работ. Однако такие модели требуют трудоемких предварительных расчетов характеристик элементарных блоков, значительных дополнительных объемов для хранения информации. Они также исключают рассмотрение природных особенностей оруденения, затрудняют корректировку модели при появлении дополнительной геологической информации.

«Цифровые» модели более универсальны в описании типов геотехнических объектов, позволяют достичь требуемой степени детализации описания на любом уровне иерархии, легко корректировать данные и структуру модели. Однако они требуют больших затрат времени при расчете вариантов планов горных работ. Но в последнее время в связи с увеличением мощности вычислительных средств этот недостаток не так ощутим.

Следует также отметить, что блочные модели очень сложно реализовать в рамках компонентной архитектуры. «Цифровые» модели легче представить в виде совокупности объектов со стандартными интерфейсами.

Современные информационные технологии требуют построения информационной базы на принципах банка данных. Это позволит использовать геолого-маркшейдерскую информацию для рассмотрения объектов месторождения и горного предприятия в динамике.

Сложность пространственной структуры геотехнических объектов, иерархическое построение системы, специфичность способов получения геолого-маркшейдерской и производственной информации определяют моделирование сложных объектов как составной процесс, включающий совокупность элементарных моделей и их взаимодействий.

При моделировании эксплуатируемого месторождения выделяют следующие основные модели:

Модель по данным разведки и взрывным скважинам.

Модель опорной и съемочной маркшейдерской сети.

Модель ресурсов и запасов полезных ископаемых.

Модель сети горных выработок.

Модель размещения горно-технологических объектов и показателей.

Указанные информационные модели представляют в совокупности единую систему, элементы которой взаимоувязаны между собой комплексами специализированных задач моделирования. Базовыми в этой системе являются цифровая модель месторождения с моделью опорной и съемочной маркшейдерской сети. Они строятся и актуализируются на основе первичных данных и наиболее адекватны моделируемым объектам и их свойствам. Их включение в интегральную базу данных позволяет обеспечить принципы первичности хранимой информации, однократности ее ввода и многократного использования модульности системы.

Существующие модели эксплуатируемых месторождений имеют различное строение информационной базы в зависимости от способа размещения контрольных точек при преобразовании графической информации в цифровую:

- С регулярным расположением узловых точек по квадратной или прямоугольной сети
- Со случайным расположением узловых точек
- С отнесением точек к элементарным объектам
- Прослеживание границ объектов с равномерным шагом по расстоянию.

Фиксируют отметки вдоль системы равноотстоящих параллельных линий в точках их пересечения с контурами и границами отсканированных геолого-промышленных объектов.

Основные требования по точности перенесения информации с геолого-маркшейдерской документации в информационную базу состоят в обеспечении рационального расположения угловых точек, позволяющего надежно выполнять интерполяцию цифровых данных в интервале между ними, и возможности форматировать замкнутые контуры из оцифрованных отрезков границ.

Информационная система должна иметь модульную структуру и обеспечивать выполнение следующих сервисных функций:

1. Создание полных наборов исходных данных по объектам и их пополнение.
2. Хранение и обновление информации.
3. Содержательное и структурное преобразование данных.
4. Поиск по запросу и выдачу в требуемом виде цифровой и графической информации.

Входной сервис состоит в организации внутренних информационных структур хранения данных, их заполнения входной информацией с проверкой на полноту признаков и непротиворечивость, создании и ведении словарей и каталогов.

Выходной сервис должен представлять собой набор выходных и графических форм, конвертеры перевода информации из одного формата в другой, графический интерактивный 3D-интерфейс пользователя.

Современные ГИС-технологии позволяют создавать и использовать карты, планы, разрезы и др., отображающие графическую и атрибутивную информацию на какой-то определенный момент времени. Если эта информация изменяется со временем, то указанные документы пополняют, внося в них необходимые изменения за некоторый промежуток времени. Получается новый документ, привязанный к другой дате. Далее эти документы можно вызвать одновременно, проводить геометрические построения, т.е. находить области пересечения фигур, суммировать и др.

Ведение большого архива таких документов – сложная задача. Необходимо синхронизировать пополнение всех или большинства документов, вести каталог архива, поддерживать большое число файлов и др. В случае сохранения промежуточных и окончательных результатов по каждому варианту решения в процессе моделирования траты ресурсов становятся еще значительнее.

Способ сохранения и отображения графических документов с возможностью вносить все изменения во времени параметров объектов одного документа в одном файле получил

название *динамического картирования* объектов. Суть его заключается во введении четвертой координаты t (времени) для каждого элементарного графического объекта (точки, линии, примитива) в дополнение к трем пространственным координатам. Изменение этой координаты происходит дискретно, через определенные промежутки (кванты) времени. Координата времени является целочисленным параметром.

Схема работы следующая. Если мы будем работать с каким-либо документом и укажем при этом необходимость его отображения на момент времени $t_0 \leq t \leq t_3$ - время закрытия документа, то на экране будут выведены все его объекты $T_n \leq t$ и $t \leq T_c$. Такой способ фиксирования динамики изменения объектов во времени позволяет вести для каждой выделенной их совокупности один динамический документ (карту) на весь исследуемый промежуток времени. Однако для каждого варианта моделирования попадания этой совокупности объектов необходим свой динамический документ.

Величина кванта времени – это период между очередными пополнениями документа. Данная величина может быть постоянной или переменной в зависимости от методики ведения документов (метода моделирования). Представление динамического документа может осуществляться только для дискретных моментов времени (конец соответствующего кванта времени).

При таком способе формирования блоков работать с ними рациональнее всего с использованием ГИС-технологий: многогранная упорядоченная сотовая структура получаемого объемного тела легко отображается на ряд криволинейных поверхностей, являющихся слоями ГИС-карты. Получается компактное внутренне представление объемных данных, позволяющее использовать заложенный в ГИС-технологиях мощный аппарат теории множеств для классифицирования и анализа ресурсов. Кроме того, эти технологии позволяют визуализировать любой план и разрез исследуемого объемного тела, отображать все этапы его моделирования. С помощью дополнительных модулей можно строить и выводить на печать его объемные изображения.

К задачам предложенного способа относится также повышение точности определения количества полезного ископаемого в массиве горных пород за счет более скрупулезного определения объема каждого блока.

Суть этого способа изложена ниже.

Повышение точности вычислений достигается тем, что способ определения количества полезного ископаемого в массиве горных пород, включает: бурение скважин, отбор керна с последующим определением содержания полезного ископаемого в нем на участках скважин, построение геологических блоков в залежи и суммирование количества полезного ископаемого в этих блоках. Верхние и нижние грани блоков каждой залежи моделируют двумя непрерывными и сглаженными поверхностями, проходящими соответственно через верхние и нижние граничные точки залежи с породой на участках скважин. Затем эти верхние и нижние грани в каждом блоке линеаризируют, при этом содержание полезного ископаемого в нем определяют путем взвешивания концентраций полезного ископаемого проб, взятых на участках скважин, являющихся вершинами замкнутого контура, который имеет минимальную площадь и охватывает данный блок.

Построение верхних и нижних граней блоков, как предложено выше, позволяет аппроксимировать рельеф кровли и почвы залежи с достаточно высокой точностью. Взвешивание концентраций полезного ископаемого проб, взятых на участках определенных скважин, обеспечивает достоверную оценку содержания полезного ископаемого в каждом блоке. Таким образом, в целом повышается точность определения количества полезного ископаемого в залежи.

Данный способ осуществляют следующим образом.

В массиве горных пород бурят скважины. В процессе бурения скважин отбирают из них керн с последующим определением содержания полезного ископаемого в нем. Затем выделяют в залежи участки скважин, содержащее полезное ископаемое, и определяют координаты граничных точек и залежи с вышележащими и нижележащими породами. По координатам граничных точек строят аналитические модели

поверхностей кровли и почвы залежи с использованием сглаживающего интерполяционного метода на компьютере. По геолого-маркшейдерским данным определяют контур залежи, который проецируется на одну из координатных плоскостей, например, xOy с получением проекции залежи. После чего на этой поверхности выделяют участки однородных геологических зон и каждый участок разбивают на правильные выпуклые многоугольники одинаковой площади S_1 и S_2 , например шестиугольники. Число многоугольников на участке зависит от степени изменчивости рельефа поверхности залежи. Часть многоугольников, соприкасающихся с границей участка, могут иметь усеченную форму и, соответственно, неполную площадь S_1 и S_2 . Затем строят геологические блоки, имеющие сечение соответственно S_1 и S_2 , а верхние и нижние грани которых являются частями смоделированных аналитических поверхностей кровли и почвы залежи, причем оси блоков параллельны направлению проецирования.

Далее верхние и нижние грани каждого блока моделируют с использованием, например, способа численного интегрирования по методу Гаусса на компьютере.

Высоту каждого блока h_1 определяют как проекцию отрезка оси блока между верхней и нижней гранями последнего на ось OZ . Объем блока с сечением S_1 равен $V_{11}=k_1 \times S_1 \times H_1$, а с сечением S_2 $V_{12}=k_1 \times S_2 \times H_1$, где k_1 – коэффициент «полноты» сечения ($0 \leq k_1 \leq 1$). В результате объем залежи V_3 будет равен сумме объемов составляющих ее блоков.

Для каждого блока определяют концентрацию полезного ископаемого путем взвешивания концентраций полезного ископаемого проб, взятых на участках скважин, являющихся вершинами замкнутого контура, который имеет минимальную площадь и охватывает данный блок, для этого измеряют расстояние от каждой скважины до конкретного блока, и эти расстояния выстраивают в ряд в порядке их увеличения. Первые две скважины с расстояниями a_1 и a_2 являются вершинами отстраиваемого контура, которые соединяют между собой линией. В случае, если эта линия пересекает блок, то вместо члена a_2 в качестве второй вершины контура принимают

последующий член ряда, линия соединения которого с a_1 не пересекает блок. Следующей вершиной контура является скважина, имеющая минимальное расстояние из оставшихся членов ряда и расположенная по одну сторону с блоком относительно предыдущей линии контура. После каждого построения линии контура проводят проверку на пересечение ею блока. И в случае его пересечения осуществляют замену этой вершины аналогично описанному выше. Последняя вершина контура представлена скважиной, которую соединяют с первой, не пересекая данный блок. В результате такого выбора скважин взвешивание проб из них позволяет оценить концентрацию полезного ископаемого в блоке с большей достоверностью, поскольку эти пробы имеют максимальное суммарное значение их весовых коэффициентов с устранением искажения концентрации полезного ископаемого в блоке, вызываемого загущением проб в одной зоне залежи. Если проба взята с участка скважины, находящейся внутри блока, то происходит вырождение контура в точку и содержание ископаемого в блоке принимается равным содержанию в этой пробе. Затем для каждого блока определяют количество полезного ископаемого K_i в нем как произведения объема V_i , концентрации C_i и плотности полезного ископаемого. Количество полезного ископаемого в залежи определяют суммированием его по блокам. При наличии нескольких видов полезных ископаемых определение их количества проводится по каждому виду полезного ископаемого в отдельности или комплексно.

Указанные действия можно проводить с помощью соответствующих функций внутри модуля-объекта, выдавая по требованию лишь результаты вычислений. Это позволяет сохранять данные об объеме полезных ископаемых в элементарном блоке в описывающей его модели.

Пример реализации данного способа

Для определения количества полезного ископаемого взят участок залежи медно-сульфидных руд. По геолого-маркшейдерским данным этот участок в проекции на горизонтальную плоскость xOy имеет контур площадью 12500 м^2 .

Данный участок залежи разделен на две однородные геологические зоны. В пределах каждой зоны построены шестиугольники со сторонами 5м и 10м и площадями S_1 и S_2 соответственно. Участок разведан 30 скважинами, где x , y – координаты скважин по X и Y ; z_k и z_p – граничные точки залежи с породами кровли и почвы, соответственно; m_i – мощность залежи в месте заложения скважины; C_i – концентрация меди.

По величинам z_k и z_p моделируют аналитические поверхности кровли и почвы методом интерполяции со сглаживанием их с помощью кубических сплайн-функций. Далее отстраивают шестигранники с сечениями S_1 и S_2 , соответственно, и вертикальными боковыми гранями. Верхними гранями шестигранников являются участки аналитической поверхности кровли. Для каждого блока – шестигранника поверхности его верхней и нижней граней линсаризируют с получением линейных поверхностей, координаты точек пересечения которых с осью блока и другие параметры блоков приведены в таблицах. При этом координаты z точек пересечения оси с поверхностями кровли и почвы, соответственно, высота, сечение и объем блока, соответственно, концентрация и количество меди в нем, соответственно.

Объемы участков залежи и количество содержащегося в них полезного ископаемого получают суммированием соответствующих величин по блокам участка, а для залежи в целом – суммированием соответствующих величин по ее участкам.

Сравнительный анализ определения количества полезного ископаемого в залежи описанным способом и известным, взятым в качестве прототипа, показал, что для залежи со сложной структурой точность определения количества полезного ископаемого повышается в среднем на 9 – 13 %.

Использование приведенного способа представления объемных данных позволяет, кроме получения указанных в начале пункта преимуществ, перейти к новой стратегии описания горно-геологических объектов.

Все тела полезных ископаемых месторождения (в пределе – весь горный отвод) имеют «несмещаемую положку», на которой

«размечены» сечения блоков. Начальное представление тел полезных ископаемых проводится по вышеописанному алгоритму. При любом уточнении информации о строении (структуре) этих тел все блоки остаются «на своей оси»: смещаются при необходимости их основания (вверх или вниз) и меняется угол их наклона относительно оси. При смещении линии контура тела некоторые блоки могут «исчезнуть» ($V=0$). Блоки, претерпевшие изменения, отмечаются.

Тогда пересчет запасов будет заключаться (для интегральных показателей по месторождению) для отмеченных блоков (множество i 1, $i=\{1, \dots, n\}$) в определении:

$$\Delta V = \sum_{i=1}^n (V - V), \quad (2.5)$$

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n (Q - Q), \quad (2.6)$$

где ΔV и ΔQ – изменения соответственно объема тела полезного ископаемого, занимаемого запасами рассматриваемой категории, и количества полезного ископаемого по этой категории запасов; V , V – объем i -го блока в первом и втором варианте, соответственно; Q , Q – количество полезного ископаемого в i -м блоке в первом и втором варианте, соответственно.

Тогда новые интегральные показания будут определены путем вычитания из «старых» показателей найденных изменений ΔV и ΔQ .

Подобные вычисления будут проводиться и при определении движения запасов в процессе эксплуатации месторождения.

Данный способ представления объемной информации упрощает также построение 3D-изображений при моделировании вариантов обработки месторождения и ведение графической документации при пополнении планов горных работ.

Поэтому этот способ рационален при работе с динамично меняющимися объектами.

При составлении модели месторождения, которую можно использовать как при разведке, так и при эксплуатации месторождения, необходимо указывать цели этих процессов.

Разведка представляет собой «комплекс» исследований и работ, направленных на определение промышленного значения конкретного месторождения.

Разведочные работы на месторождении полезных ископаемых проводятся прежде всего в целях определения количества и качества заключенного в нем полезного ископаемого, а также для выяснения природных и экономических условий, в которых находится месторождение.

Поэтому модель месторождения должна способствовать определению ресурсов и запасов полезных ископаемых, их размещения и окружения.

Горные предприятия, эксплуатирующие месторождения, проходят этапы проектирования, строительства, добычи полезных ископаемых и ликвидации. На каждом из них к множеству «естественных» объектов, описываемых моделью месторождения, добавляются некоторое множество объектов, имеющих стадии проектирования, строительства и эксплуатации. Все эти множества составляют основу «модели эксплуатируемого месторождения».

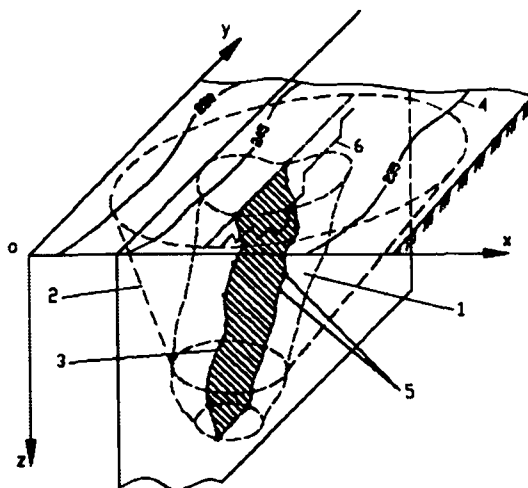
Внутри каждого этапа жизни горного предприятия происходит уточнение и добавление данных во все названные множества, что влечет за собой изменение модели. Рассмотренный выше способ построения модели месторождения позволяет органично «вписывать» динамику данных в модель, сделать эффективными процессы моделирования месторождения на всех этапах его жизни.

3. ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ КАРЬЕРОВ

3.1 Горное предприятие как геоинформационный объект

Одним из преимуществ применения геоинформационных методов моделирования является создание единого информационного массива, позволяющего информацию различного вида представить в форме единичных показателей, хотя и характеризующихся различными признаками качества, но привязанных к единым координатам пространства и времени [45].

Первичным информационным элементом системы в трехмерных координатах такой базы является точка, принадлежащая любому контуру на вертикальной, горизонтальной или наклонной плоскости, секущей систему трехмерных координат. На рисунке 3.1 представлена данная модель.



1-залежь полезного ископаемого; 2-границы карьера; 3-контур залежи на вертикальном сечении; 4-изолинии рельефа местности; 5-характерные точки контура залежи; 6- контур рабочей зоны карьера

Рисунок 3.1. Модель карьера в трехмерном измерении

В данном случае характерные точки могут быть представлены в виде дискретного множества точек, каждая из которых является результатом геологической разведки и несет информацию о признаках качества в данной точке.

Моделирование залежей является необходимым условием для какого-либо анализа с использованием компьютера. С другой стороны, только исследования для уменьшения затрат и уточнения информации могут оправдать усилия, приложенные для создания модели залежей.

При математическом моделировании горных работ описание рабочей зоны карьера производится криволинейными контурами, аппроксимируемыми ломаными линиями.

При математическом моделировании горных работ на поперечных сечениях характерные точки образуются на пересечении линий рабочих, транспортных площадок с откосами уступов, то есть описывают участки бортов карьера, направление перемещения.

Для горнодобывающей промышленности республики на современном этапе значение имеют интенсивные факторы экономического роста при решении всемерной экономии.

Одним из направлений повышения эффективности рационального недропользования является преимущественное применение наиболее экономичного открытого способа и оптимизация при нем всех параметров горного производства. Оптимизация параметров горного производства создаст основу для эффективной эксплуатации месторождений полезных ископаемых, и тем самым реализуется стратегия инновационного развития республики.

Поэтому принимаемые параметры карьера и элементы его подсистем должны быть выбраны так, чтобы они в совокупности обеспечивали надежное функционирование всех технологических звеньев, решая задачу повышения эффективности отработки месторождений полезных ископаемых.

В настоящее время необходимость надежного обоснования на всех уровнях основных вопросов наиболее экономичной эксплуатации месторождений полезных ископаемых выдвинула

в качестве актуальной научной задачи создание методов геоинформационного моделирования открытых горных работ.

Выбор наиболее эффективных проектных решений для горных предприятий основывается на имеющемся теоретическом потенциале, прогрессивной производственной практике и накопленном положительном опыте применения различных по своей целевой направленности оптимизационных расчетов в горном деле.

3.2 Методы обоснования решений

Оптимизация открытых разработок включает вопросы: горные, комплексной механизации добычных и вскрышных работ, поверхностного комплекса, экономики организации производства. Решение этих вопросов составляет обширную группу горно-экономических задач, особенностью которых является наличие множества допустимых по заданным условиям технических и технологических решений.

Необходимо сформулировать основные горно-экономические задачи. Основными горно-экономическими задачами открытого способа добычи полезных ископаемых является: установление границ карьерного поля, режима горных работ и производственной мощности предприятий; выбор технологических схем, систем разработки, схем вскрытия месторождений.

Объективный выбор оптимального решения горно-экономических задач из множества допустимых вариантов, альтернативных по основному производственному эффекту можно осуществить только соответственными количественными методами.

Соответствующую классификацию методов решения горно-экономических задач при эксплуатации месторождений полезных ископаемых открытым способом можно представить следующим образом [21].

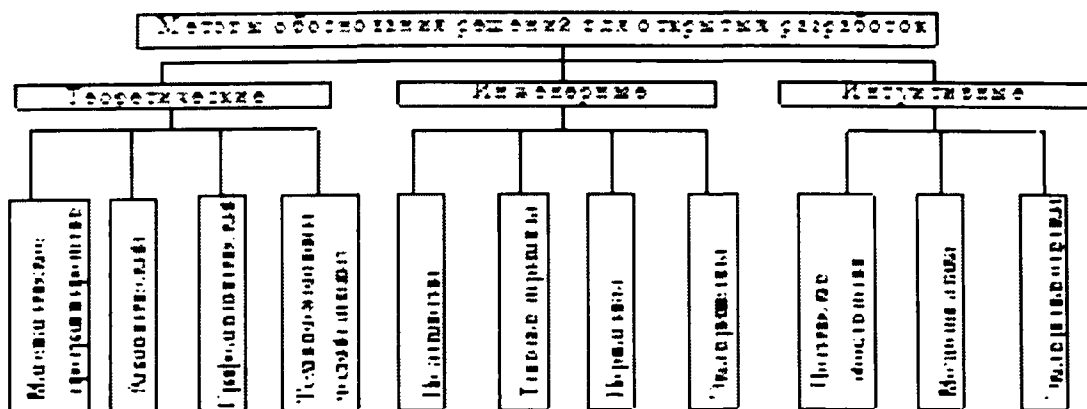


Рисунок 3.2. Классификация методов решения горно-экономических задач при эксплуатации месторождений полезных ископаемых открытым способом

Коротко остановимся на теоретических методах по данной классификации.

Метод технико-экономического анализа заключается в сравнении по одному или нескольким общим критериям имеющихся вариантов с целью выбора наиболее предпочтительного. Этот метод используется при наличии экономико-математических моделей рассматриваемых задач.

Основу аналитического метода составляет теоретическая предпосылка о наличии между каждым рассматриваемым признаком функциональных связей, позволяющих получить решение задачи в общем виде, выраженное в удобной форме.

Графоаналитический метод включает скомпонованные в одном алгоритме определенные приемы получения информации из графической основы и вычислительный способ аналитического метода.

Математическое программирование представляет собой комплекс численных методов решения многомерных оптимизационных задач производства. Известные в области открытых разработок численные методы предназначены для решения оптимизационных задач, таких, как установление производительности карьера; выбор погрузочного, бурового и транспортного оборудования.

В решении данных оптимизационных задач можно выделить 3 направления:

1. Установление максимальной производительности карьера по темпу углубки, скорости подвигания фронта работ, объему горно-капитальных работ.

2. Установление производительности карьера по критерию себестоимости, приведенным затратам и прибыли.

3. Выбор оптимальной производительности карьера с использованием экономико-математических моделей.

Экономико-математическую модель предприятия можно представить в виде определенного порядка развития горных работ в карьере.

Рациональный порядок развития горных работ предусматривает выполнение следующих этапов:

Создание цифровой (геологической) модели карьера (месторождения).

Создание геометрической модели рабочей зоны карьера (р.з.к).

Подсчет запасов полезного ископаемого.

Расчет производительности выемочно-погрузочного оборудования.

Выполнения математической модели календарного планирования.

Для обоснования рационального порядка развития горных работ и определения перемещения фронта горных работ карьерное поле необходимо разбить на ряд элементарных участков, снабдить их необходимыми характеристиками. Эти показатели извлекаются из цифровой модели месторождения в виде геометрических объектов и геологических характеристик, входящих в состав карьерного поля.

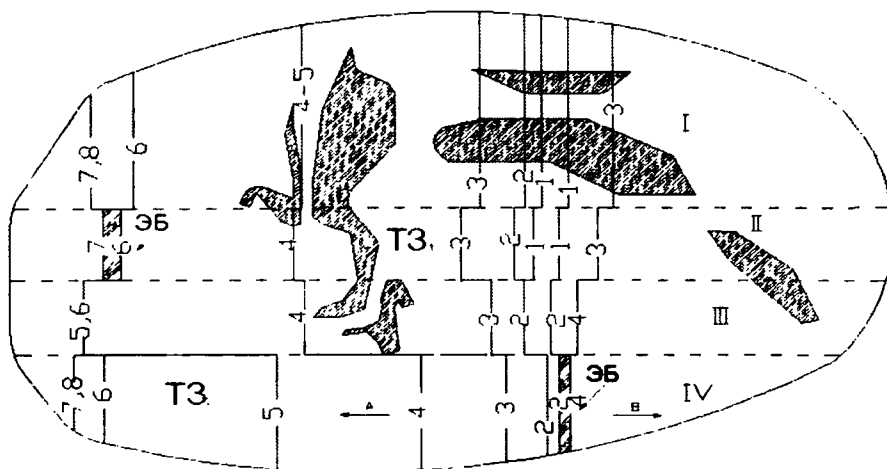
Для оптимизации решений на основе математической модели используется метод сепарабельного программирования.

Создание цифровой модели заключается в формировании базы данных с координатами геометрических объектов по горизонтальным планам и геологическим профилям.

Принципы организации информационного обеспечения обработки геометрических объектов изучались Табакманом И.Б. и

сго последователями [9]. При создании геометрической модели рабочей зоны карьера они использовали модель месторождения, которая отрабатывается рядом технологических зон.

Совокупность горизонтов также представляет собой геонформационную модель. Геометрическая модель месторождения, представленная планом горизонта, изображена на рисунке 3.3.



ЭБ – элементарный блок; ТЗ₁, ТЗ₂ – технологические зоны;
I- IV– участки уступа; А, В – направления перемещения фронтов уступа; 1-8–положения линий фронтов уступа на участках по годам.

Рисунок 3.3. План горизонта

При создании геометрической модели рабочей зоны карьера модель месторождения разбивается на горизонты, которые отрабатываются рядом технологических зон. План горизонта является элементом геонформационной модели. Технологическая зона может объединять несколько участков уступов. При определении положения рабочей зоны карьера необходимо учитывать направления перемещения фронтов уступов относительно главных осей месторождения. В плане карьер делится на совокупность прямоугольников, которые сориентированы по направлению подвигания фронтов уступов.

Данные прямоугольники являются основой для построения блоков, блок–участков уступа. Каждый блок принадлежит определенной рабочей зоне. Положение горных работ

описывается поуступно, в пределах одного уступа поблочно. Положение горных работ в одном блоке характеризуется одним числом – подвиганием относительно начала блока (для j -го блока i -го уступа положение горных работ в нем обозначаются x_{ij} ; горизонты нумеруются сверху вниз, а блоки на горизонте – слева на право по отношению к направлению развития горных работ).

Для подсчета запасов полезных ископаемых необходимо определение площадей пересечения элементарного блока и геологического блока.

Данная процедура на этапе исследования может быть проведена в системе Autocad, т.к. данная программа позволяет найти пересечение тел. Площадь пересечения двух многоугольников также легко подсчитывается.

Под математической моделью календарного планирования по д.т.н. Табакману И.Б. понимается синтез математической модели из отдельных блок – модулей, позволяющих решать задачи календарного планирования. К этим задачам относятся оптимизация интенсивности перемещения фронта работ на уступах, определение очередности новых уступов, определение положения разрезной траншеи при подготовке новых горизонтов, и расчет численности и расстановка выемочно-погрузочного оборудования.

3.3 Принципы математического моделирования комплексных месторождений

Становление математических методов решения задач в указанных направлениях было начато Б.И.Бокисем в 1902 г. работой «Выбор системы работ при разработке свиты пластов». Книга «Аналитический курс горного искусства» с подзаголовком «Проектирование рудников» вышла в свет в 1929 г. В ней были изложены способы решения различных задач проектирования горно-добывающего предприятия с помощью методов математического моделирования и дифференциального исчисления, математической статистики и рассмотрения

альтернативных вариантов качественных и количественных характеристик создаваемого объекта. Основополагающие монографии, создавшие базу теории проектирования, принадлежат А.И.Стещенко (1930г.), А.С.Попову (1932г.), П.З.Звягину(1935г.), Л.Д.Шевякову(1935г.), М.И.Агошкову (1948г.), П.И.Городецкому (1949г.).

Значительный вклад в методологию управления развитием горных работ внесли труды академика К.Н.Трубецкого, чл.-корр. РАН Н.Н.Мельникова, чл.-корр. АН КазССР А.М. Мустафиной, проф. А.И.Арсентьева, В.С. Хохрякова.

Информация о месторождении полезных ископаемых как о геологическом объекте служит базой для выработки решений по его хозяйственному использованию. С момента приобретения промышленной заинтересованности месторождение становится экономическим объектом, оцениваемым с точки зрения целесообразности его освоения и может рассматриваться как большая, управляемая во времени и в пространстве сложная система. Ее параметры, т.е. контуры и запасы балансовых руд, качественные характеристики полезного ископаемого, границы отработки, важнейшие горно-геологические, технологические и экономические характеристики поддаются регулированию и оптимизации. Управляемым объектом в такой системе можно считать балансовые запасы руд. Запасы могут регулироваться посредством изменения кондиций на минеральное сырье, в которых косвенно учитываются технологические процессы добычи, обогащения, металлургического передела, коммерческая цена конечных продуктов освоения комплексного месторождения на рынке сбыта, экономические и финансовые показатели добывающих и перерабатывающих предприятий. В этой связи, к вопросам оценки и подсчета запасов должен быть обеспечен системный подход.

Создаваемая система решения этих задач должна обладать способностью оперативной реакции на изменение внешних воздействий с целью обеспечения эффективности и стабильности функционирования горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Используемые в практике традиционные методы подсчета запасов до сего времени

включают еще большой объем ручных операций по геометризации, оконтуриванию, подразделению запасов, что требует значительных материальных, трудовых, временных затрат и, следовательно, не могут удовлетворить требованиям оперативности и системного подхода. Исключить возникшее противоречие возможно путем создания новой стратегии подсчета запасов, базирующейся на методах математического моделирования [66, 50-51].

Под математической моделью месторождения понимается формализованное описание формы, структуры и качественных характеристик месторождения в числовой или аналитической форме, позволяющее решать геологические, горно-геометрические, технологические и экономические задачи автоматизированного проектирования и планирования горных работ на ЭВМ и должна отвечать следующим требованиям.

Несмотря на то, что каждое месторождение является уникальным природным объектом, методика моделирования должна быть достаточно универсальной. Область ее применения не должна ограничиваться каким-то конкретным типом месторождения или определенными условиями залегания рудной залежи, так как использование типовых моделей месторождений в различных горно-геологических условиях без учета конкретных геологических особенностей приводит зачастую к значительным погрешностям и ошибкам.

Математическая модель должна учитывать и отражать основные характеристики месторождения, определенные в Классификации месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых Республики Казахстан, т.е.:

- форму залегания и элементы строения залежи;
- качественный состав полезных ископаемых и вмещающих пород;
- физико-механические свойства всех видов горной массы;
- инженерно-геологические и технологические условия разработки;
- экологическое воздействие горных работ на окружающую среду;
- технологические свойства полезного ископаемого,

оптимально удовлетворяющие полному извлечению сырья из недр и комплексному использованию всех полезных компонентов с наименьшими экологическими последствиями.

Математическая модель должна строиться в трехмерном пространстве и позволять выделять из нее планы, разрезы, профили для визуализации результатов моделирования.

При построении модели месторождения основой для оконтуривания рудных залежей должны стать математические процедуры, автоматизирующие традиционные апробированные и принятые геологами для данных горно-геологических условий принципы.

В процессе изучения и освоения месторождения при поступлении новых исходных данных модель месторождения должна динамически развиваться и корректироваться по мере отработки рудной залежи.

Модель должна быть достаточно гибкой, т.е. обеспечивать возможность оперативного пересчета запасов при изменении кондиций на минеральное сырье.

Постановка задачи объемного моделирования геологического объекта сводится к следующему [51]. В некоторой трехмерной области D , представляющей собой прямоугольный параллелепипед, размеры которого определяются пространственными границами рудной залежи или области моделирования, задается множество точек наблюдения P с координатами $\{x_i, y_j, z_k\}$. В каждой точке наблюдения известно значение геологического параметра $f(x_i, y_j, z_k)$. Необходимо во всей области восстановить значения некоторой функцией $U(x, y, z)$, значения которой в точках наблюдения совпадают со значениями $f(x_i, y_j, z_k)$. В дальнейшем функцию $U(x, y, z)$ можно использовать для вычисления значений в любой точке области D .

Например, если задана трехмерная координатная сетка, имеющая сеточно-узловую структуру и образующая область моделирования D , то на основании функции $U(x, y, z)$ и имеющихся значений в некоторых узлах сетки определяются значения геологического параметра во всех остальных узлах сетки. При выборе математического аппарата сделано допущение - распределение моделируемого параметра на

начальный момент наблюдения имеет потенциальную природу и может рассматриваться как потенциальное поле. Такая постановка задачи делает возможным производить интерполяцию геологических данных на основе аппроксимации функции вида $U = U(x, y, z)$, проходящей через точки наблюдения, уравнением Лапласа, вида

$$\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{d^2U}{dy^2} + \frac{d^2U}{dz^2} = 0.$$

Значение $U(x, y, z)$ в каждой конкретной точке определяется путем замены уравнения Лапласа в дифференциальной форме его конечно-разностным аналогом. При расчете значений геологических параметров с использованием уравнения Лапласа восстанавливающая функция обеспечивает минимум колебаний значений параметра между точками с известными данными. Например, при интерполяции содержания полезных компонентов происходит постепенное понижение содержания от участков с высокой концентрацией к участкам с более низким содержанием. Этим обуславливается область практического применения разработанной модели.

Модель позволяет учесть тектонические нарушения путем задания их пространственного положения. В этом случае на участке, характеризуемом наличием тектонического нарушения горного массива, происходит разрыв непрерывной функции интерполяции. Выделение рудных тел и блоков определенных сортов и типов при использовании данных по скважинам производится на основе пространственного оконтуривания посредством задания кондиционных ограничений на содержание полезных и вредных компонентов.

Если геологическая информация задана погоризонтными планами или геологическими разрезами, то контуры рудных тел и блоков выделяются не путем оконтуривания, а заносятся в модель с планов и разрезов как более достоверная информация. На участках между планами и разрезами геологические параметры восстанавливаются математическими методами. При наличии дополнительной информации по скважинам качественные характеристики полезного ископаемого

уточняются путем интерполяции в границах рудных тел и блоков.

В классификации месторождений Республики Казахстан в качестве параметра, характеризующего сложность геологического строения и распределения полезных ископаемых принят статистический показатель - коэффициент вариации. В соответствии с численным значением этого показателя все месторождения подразделены на три группы.

При математическом моделировании каждая группа проранжирована на две подгруппы в соответствии с формой рудного тела, которые определяют структуру математической модели, перечень параметров модели и стратегию моделирования. Несмотря на то, что общая структура модели может быть аналогична для различных групп, упомянутые характеристики для каждой из групп и подгрупп должны быть строго индивидуальны. Даже в границах конкретной подгруппы модели месторождения, имеющие общую структуру, будут отличаться одна от другой в соответствии с конкретным набором параметров модели и принятой стратегией моделирования (см. табл.3.1).

Таблица 3.1. Структура моделей в зависимости от группы месторождения

Группа месторождения по сложности геологического строения	Подгруппа по форме рудного тела	Структура модели
Первая группа: месторождения простого геологического строения с выдержанными мощностью, внутренним строением и качеством полезных ископаемых (коэффициент вариации $k_v=20-40\%$)	Штокверк	Трехмерная дискретная модель
	Пласт, совокупность пластов	Трехмерная дискретно-аналитическая модель
Вторая группа: месторождения сложного геологического строения с изменчивыми мощностью и	Штокверк	Трехмерная дискретная модель

внутренним строением тел полезных ископаемых, нарушенным залеганием и невыдержанным качеством ($k_v=40-100\%$)	Пласт, совокупность пластов	Трехмерная дискретно-аналитическая модель
Третья группа: месторождения очень сложного геологического строения, мощности и внутренне строение тел полезного ископаемого резко изменчивы, качество руды не выдержано, распределение ценных компонентов весьма неравномерно ($k_v > 100\%$)	Штокверк	Трехмерная дискретная модель
	Пласт, совокупность пластов	Трехмерная дискретно-аналитическая модель

Трехмерная дискретная модель по своей структуре представляет пространственную сеточно-узловую область, имеющую размерность $n \cdot r \cdot g$, где n - количество точек по оси X , r - количество точек по оси Y , g - количество точек по оси Z .

Трехмерная дискретно-аналитическая модель представляет в плане сеточно-узловую область, имеющую размерность $n \cdot r$, а по вертикали вдоль оси Z непрерывную линию, которая аналогична стратиграфической колонке скважины, т.е. несет в себе полную информацию о качественном строении месторождения в данной точке с дополнениями о количественном значении параметров, содержащихся в модели в данной точке.

В моделях часть информации формируется за счет данных опробования после их предварительной обработки (выделении кондиционных пересечений, разбивки по пластам и т.д.), но ее основная часть создается на основании математического моделирования. Размерность модели определяется количеством узловых точек по пространственным осям и зависит от размерности месторождения, сложности геологического строения, перечня задач, решаемых на основе модели месторождения. Методика моделирования предусматривает создание частных моделей для участков месторождения для решения локальных задач (краткосрочное планирование горных работ, расчет паспорта БВР и др.). Предусмотрена возможность пополнения (уточнения модели) по мере поступления новых геологических данных, что обеспечивает

возможность ее использования как для подсчета, пересчета, оценки и переоценки запасов, так и для решения задач проектирования карьеров и планирования горных работ в условиях действующего горнодобывающего предприятия.

Моделирование месторождения предусматривает восстановление геологической структуры и расчета геологических параметров в межскважинном пространстве, т.е. на участках, где геологические данные отсутствуют. Для этого используются как математические методы, так и процедуры, используемые геологами (геометризация, оконтуривание приемы построения выклинивания пластов и т.д.). Формализация этих процедур позволяет привлечь опыт и квалификацию геологов к математическому моделированию изучаемого объекта.

Набор параметров, содержащихся в математической модели месторождения не является фиксированным, а зависит от доступности и наличия перечня геологических данных, геологической структуры месторождения, во многом определяющих структуру модели, технологию моделирования. Таким образом, структура модели и ее параметры в значительной степени зависят от формы залегания рудного тела, изменчивости содержания полезных и вредных компонентов в границах залежи, особенностей выклинивания пропластков, способов оконтуривания балансовых запасов и т.д.. В зависимости от вышеперечисленных признаков общая методика моделирования может трансформироваться в конкретную модель, уникальную для моделируемого месторождения.

В качестве примера в табл.3.2 приведен перечень параметров, содержащихся в трехмерной дискретно-аналитической модели месторождения.

В процессе построения модели месторождения кроме информационных могут решаться различные прикладные задачи, имеющие определенную функциональную завершенность и обеспечивающие получение результатов, которые могут быть использованы соответствующими техническими службами проектных институтов и горнодобывающих предприятий. В табл.3.3 приведен краткий перечень некоторых задач, решаемых на различных стадиях построения модели месторождения.

Таблица 3.2. Перечень параметров, содержащихся в узловых точках математической модели месторождения

Количественные параметры	Качественные параметры
1. Содержание полезных и вредных компонентов	1. Сорт руды (порода) 2. Крепость горных пород
2. Мощность пласта	3. Номер пласта 4. Признак - отработанный или не тронутый участок горного массива
3. Маркшейдерская отметка дневной поверхности	5. Признак местоположения узловой точки модели - в граничных контурах карьера 6. Интерполяционные (расчетные) данные или введенные в модель на основе геологических данных
4. Маркшейдерские отметки почвы (кровли) пласта	7. Признак геологической выработки: - геологоразведочные; - эксплуатационные.
5. Значения углов инклинометрии	8. Признак, характеризующий прохождение на участке модели тектонического нарушения (разлом, сдвиг и т. д.)

Технология объединения пропластков. Если рудное тело представлено свитой пластов и пропластков, то при моделировании возникает задача определения участков взаимного объединения или разделения пропластков. Отсутствие среди геологов единого методологического подхода затрудняет математическую формализацию этой задачи для последующей ее реализации на ЭВМ.

В связи с этим возникает необходимость установления такого критерия, который в каждом конкретном случае позволял бы при моделировании получить однозначное решение, достаточно близкое к наиболее вероятному традиционному решению. На основе многолетних исследований в качестве такого критерия предлагается использовать условие, учитывающее взаимное пространственное положение пропластков [51-52].

Таблица 3.3. Задачи, решаемые на основе модели месторождения

Стадии обработки геологической информации и построения математической модели месторождения	Перечень задач, решаемых на основе модели месторождения
1. Предварительная обработка исходной геологической информации	1.1. Оптимизация интервалов опробования (выдача рекомендаций по выбору оптимальной мощности проб геолого-разведочных выработок) 1.2. Расчет значений статистических параметров (коэффициента вариации) для выбора структуры модели месторождения и обоснования стратегии моделирования 1.3. Выделение кондиционных пересечений (геометризация рудного тела на участке опробования)
2. Формирование математической модели месторождения	2.1. Моделирование формы и структуры рудного тела, оконтуривание запасов полезного ископаемого на основании заданных кондиционных ограничений. 2.2. Совершенствование метода численного решения уравнения Лапласа 2.3. Определение пространственной функции достоверности информации математической модели месторождения для ранжирования участков модели по категориям запасов и выработки научно-обоснованных рекомендаций по доразведке месторождения

3. Создание и использование модели месторождения	3.1. Подсчет запасов полезного ископаемого по месторождению, участкам, горизонтам, в технологических границах горных отводов 3.2. Геолого-экономическая оценка запасов месторождений полезных ископаемых 3.3. Трансформация модели месторождения в модель карьера для решения задач проектирования карьера и планирования открытых горных работ
--	---

Различные методы (режимы), оконтуривания, выклинивания и объединения пропластков, применяемые в различных горно-геологических условиях приведены в табл.3.4.

Таблица 3.4 Режимы автоматизированного оконтуривания залежей, выклинивания и объединения пропластков

Наименование процедуры	Устанавливаемые режимы
1. Оконтуривание	1. По середине расстояния между рудными и безрудными скважинами 2. По заданным ограничениям на содержание полезных и вредных компонентов 3. По заданному ограничению на мощность 4. По метропроцентам 5. По комплексу ограничений на содержание и мощность
2. Выклинивание	1. В виде прямоугольника 2. В виде треугольника на середине расстояния между рудным пластом и породой 3. В виде треугольника, вершиной опирающейся на породную линзу
3. Объединение пропластков	1. По номерам пластов и пропластков 2. По взаимному пространственному положению пластов и пропластков

Если при распространении данных со смежных геологоразведочных выработок, пропластки имеют общую область, то в дальнейшем они объединяются в единый пласт. В противном случае на этом участке производится выклинивание рудного пласта. Математически это условие можно представить в виде неравенства:

$$|Z_{g\ i,j} - Z_{g+1\ p,q}| \leq \max(0.5 * m_{g\ i,j}, 0.5 * m_{g+1\ p,q}), \quad (3.1)$$

где $Z_{g\ i,j}$ - расчетная отметка глубины залегания пропластка в i,j -ой точке модели на плане, отнесенной к g -ой выработке;

$Z_{g+1\ p,q}$ - расчетная отметка глубины залегания пропластка в p,q -ой точке на плане (смежной с i,j -ой точкой), отнесенной к $g+1$ -ой выработке;

$m_{g\ i,j}$, $m_{g+1\ p,q}$ - мощности рудных пропластков в соответствующих точках.

Если условие (3.1) не выполняется, то на данном участке производится выклинивание. На рис.3.4 приведены схемы, наглядно иллюстрирующие принцип действия предложенного критерия при математическом моделировании пластовых месторождений. Форма выклинивания принята в виде треугольника. При математическом моделировании данная процедура происходит в трехмерном пространстве. Для визуализации на рис.3.4 она представлена на поперечном разрезе. Смещение местоположения пропластков относительно горизонтали при разнесении данных обусловлено значениями углов инклинометрии, полученными на основании исходных геологических данных опробования.

Исходное распределение пропластков по выработке	Взаимное положение пропластков после разнесения данных	Результаты моделирования

Рис.3.4. Фрагменты восстановления формы рудной залежи посредством выклинивания и объединения пропластков при математическом моделировании месторождений

Технология оконтуривания. В основе процедуры оконтуривания при математическом моделировании месторождений лежат общепринятые в геологии положения, что значительно упрощает восприятие результатов моделирования, обеспечивает доверительное отношение к модели, позволяет

использовать модель как электронного советчика. Кроме того, вложенный в модель набор различных способов вносит определенный творческий вклад в саму процедуру оконтуривания и последующего подсчета и оценки запасов.

Оконтуривание производится на основании заданных ограничений на мощность рудного пласта, содержание полезных и вредных компонентов или пространственное расположение рудных и породных скважин на граничных участках.

Данные условия математически можно выразить следующим образом. Условно обозначим рудную залежь в границах математической модели месторождения, оконтуренную согласно заданных кондиционных ограничений, в виде пространственной области B . Так как область математического моделирования состоит из совокупности точек (условно рассмотрим на плане), то каждая точка с координатами $\{x_i, y_j\}$ может соответственно включаться в контуры рудного тела или нет.

Если условия оконтуривания определены только кондиционными ограничениями на мощность рудного пласта, то математически процедура оконтуривания будет выражена следующим выражением:

$$\text{Если } m_{i,j} \geq m_k, \text{ то } \{x_i, y_j\} \in B, \quad (3.2)$$

где $m_{i,j}$ - мощность пласта (пропластка) в $\{x_i, y_j\}$ точке модели месторождения;

m_k - кондиционная мощность оконтуривания рудного пласта.

Если условия оконтуривания определены только кондиционными ограничениями на содержание полезных и вредных компонентов, то математически процедура оконтуривания будет выражена неравенством:

$$\text{Если } c_{i,j}^s \geq (\leq) c_k^s, \text{ то } \{x_i, y_j\} \in B, s = 1, S, \quad (3.3)$$

где $c_{i,j}^s$ - содержание s -го компонента полезного ископаемого в $\{x_i, y_j\}$ -ой точке модели месторождения;

c_{sk} - кондиционное ограничение на содержание s -го полезного (вредного) компонента полезного ископаемого, используемое при оконтуривании;

S - общее количество полезных и вредных компонентов полезного ископаемого.

Знак $\leq$ используется для вредных компонентов, а знак $\geq$ для полезных.

Если условия оконтуривания определены не только на мощность, но и на содержание полезных и вредных компонентов, то математически процедура оконтуривания может быть выражена следующим выражением:

$$\text{Если } M_{i,j} \geq M_k \& C_{i,j}^s \geq (\leq) C_k^s, \text{ то } \{X_i, Y_j\} \in B, \quad s=1, S. \quad (3.4)$$

Если условия оконтуривания определены значением метропроцентов, то математически процедура оконтуривания может быть записана в виде:

$$\text{Если } m_{i,j} * c_{p,i,j} \leq MP_{pk}, \text{ то } \{x_i, y_j\} \in B, \quad p=1, P, \quad (3.5)$$

где P - количество компонентов, которые учитываемых в метропроцентах;

MP_{pk} - кондиционное ограничение на метропроценты по p -ому компоненту.

Возможность изменения (варьирования) параметров кондиций позволяет оперативно получать различные варианты оконтуривания, анализировать целесообразность применения различных технологий оконтуривания, а также оперативно уточнять контуры рудных тел в процессе ввода в модель новых геологических данных эксплуатационной разведки, полученных в процессе доразведки и эксплуатации месторождения.

Пример реализации описанной процедуры для пластового месторождения представлен на рис.3.5.

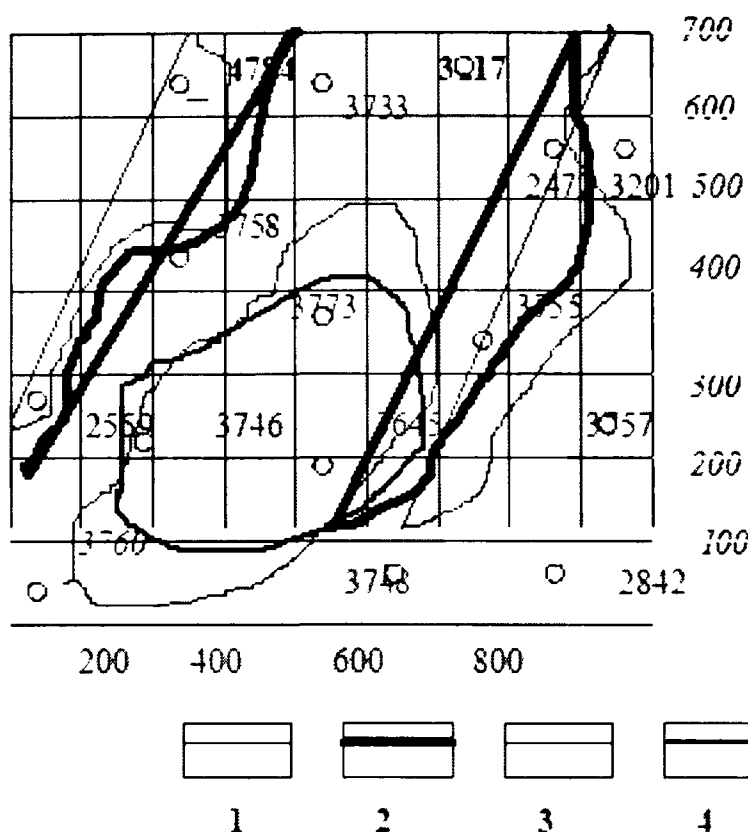


Рис.3.5. Оконтуривание рудных залежей традиционным способом и с использованием ЭВМ: 1,3 - нулевой и промышленный контур, построенный традиционным способом при ручной технологии; 2,4 - нулевой и промышленный контур, построенные автоматизированным способом с использованием ЭВМ; 5 - номер скважины.

Для сложноструктурных месторождений, представленных несколькими типосортами многокомпонентных руд, различающихся по качественным характеристикам (забалансовые, высококачественные, рядовые), одной из наиболее трудоемких задач на стадии первичной обработки геологической информации является выделение кондиционных пересечений - совокупности последовательно расположенных проб геологоразведочной выработки, удовлетворяющих кондиционным требованиям на минеральное сырье и определяющих фиксированный типосорт руды или породы.

Выделенные кондиционные пересечения являются основой для последующего оконтуривания рудной залежи и подсчета запасов. В виду сложности, многовариантности и важности задача часто решается вручную с привлечением высококвалифицированных геологов.

Специфика задачи заключается в том, что для сложноструктурных многокомпонентных месторождений может быть получено множество вариантов выделения кондиционных пересечений, в целом удовлетворяющих общим требованиям кондиций, но не обеспечивающих выбор оптимального решения с позиций заданного критерия. Кроме того, в силу субъективных факторов даже опытному специалисту не удастся избежать неточностей, которые в результате могут привести к искажению утверждаемых запасов по месторождению, а при календарном планировании горных работ к неоправданным потерям руд в следствие задания некорректных контуров отработки.

Как показывает опыт последних лет, использование ЭВМ при решении данной задачи позволяет повысить полноту извлечения запасов даже в рамках ранее утвержденных кондиций без их дополнительного пересмотра. Облегчается достаточно трудоемкий и длительный процесс переутверждения кондиций, требующий определенных капиталовложений.

Многовариантность решения задачи выделения кондиционных пересечений предопределяет задание определенного режима вычислений, обеспечивающего оптимальное значение выбранного критерия. В качестве такого критерия может быть выбрано одно из следующих условий:

- обеспечение максимальной мощности балансовых руд;
- приоритетное выделение высококачественных руд;
- обеспечение однородности руд различных типосортов;
- обеспечение максимальной выдержанности рудного пласта для применения одинаковой технологии его отработки.

Данные подходы и алгоритмы решения задачи подробно описаны в работах [50,51]. Кроме того, программное обеспечение, разработанное на основе этих алгоритмов широко

апробировано для полиметаллических, фосфоритовых, серных руд, месторождений золота и т. д.

В настоящее время в условиях рыночных экономических отношений основополагающее значение получили стоимостные показатели. В соответствии с этим практическое значение приобретают стоимостные критерии, которые позволяют экономически оценить различные варианты решения задачи и оперативно производить перерасчеты при изменении финансовых показателей, что особенно актуально для кризисных периодов экономики. Вышеизложенные причины предполагают введение нового подхода к решению задачи выделения кондиционных пересечений. Суть его показана на примере сложноструктурного месторождения, представленного залежами балансовых высококачественных и рядовых руд и забалансовыми рудами. В следствие разницы цен на высококачественную и рядовую руду приоритетное выделение высококачественных руд, даже за счет перевода части балансовых руд в забалансовые, может быть экономически оправдано и целесообразно. Следует только установить оптимальное соотношение высококачественных и балансовых руд, обеспечивающих максимальную прибыль. Причем в границах геологических блоков или добычных участков, планируемых к отработке, в виду уникальности каждого из этих участков, данные соотношения могут быть строго индивидуальны. А постоянное колебание цен на руду на рынке минерального сырья, предопределяет периодическое проведение перерасчетов с целью уточнения результатов.

В такой постановке критерий, используемый при выделении кондиционных пересечений, может быть выражен следующим математическим выражением:

$$\sum_{i=1}^N (M_{i}^{\text{выс}} / M_{i}^{\text{ряд}} - K)^2 \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

где $m_{i}^{\text{выс}}$, $m_{i}^{\text{ряд}}$ - соответственно мощность высококачественных и рядовых руд по каждой i -ой геологоразведочной выработке;

N - общее количество геологоразведочных выработок в границах подсчетного или эксплуатационного блока ;

k - оптимальное соотношение запасов высококачественных и рядовых руд соответственно в границах подсчетного или эксплуатационного блока, обеспечивающее получение максимальной прибыли.

Величина k определяется на основе решения классической оптимизационной задачи математического программирования:

$$c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 \rightarrow \max \quad (3.7)$$

$$x_1 \geq A \quad (3.8)$$

$$x_2 \leq B \quad (3.9)$$

$$x_1 = F(x_2) \quad (3.10)$$

$$x_1 + x_2 \geq \lambda (A + B) \quad (3.11)$$

где c_1, c_2 - доход, получаемый от реализации единичного объема высококачественной и рядовой руды соответственно;

x_1, x_2 - искомый объем высококачественной и рядовой руды;

A, B - запасы высококачественной и рядовой руды, получаемые в результате подсчета запасов руд по блоку в режиме выделения балансовых руд максимальной мощности;

λ - коэффициент допустимого снижения запасов балансовых руд при приоритетном выделении высококачественных руд (λ обычно выбирается в диапазоне от 0.9 до 1).

Отношение x_1/x_2 при достижении критерием оптимальности (3.7) максимального значения и будет определять искомую величину k . Ограничение (3.8) выражает условие приращения запасов высококачественных руд в режиме их приоритетного выделения. Условие (3.9) выражает условие снижения запасов рядовых руд при приоритетном выделении высококачественных руд. Зависимость (3.10) определяет закономерность снижения запасов рядовых руд при приращении запасов высококачественных руд в режиме приоритетного выделения высококачественных руд. Выражение (3.11) накладывает ограничение на допустимое снижение запасов балансовых руд, ориентировочно может выбираться в диапазоне 0.9 - 1.

Выражение (3.10) определяет класс задачи математического программирования. В случае, если выражение (3.10) имеет линейный характер $x_1 = d \cdot x_2 + c$, то в целом вся задача (3.7) - (3.11) упрощается и сводится к задаче линейного программирования, методы решения которых подробно исследованы и широко освещены в многочисленной литературе.

Реализации задачи выделения кондиционных пересечений при обеспечении максимальной прибыли выполняется в следующей последовательности:

- определение кондиционных пересечений в режиме максимального охвата балансовых руд и дифференцированный подсчет запасов забалансовых, рядовых и высококачественных руд;
- выделение кондиционных пересечений по выработкам в режиме приоритетного выделения высококачественных руд с целью получения зависимости (3.10);
- решение оптимизационной задачи (3.7)–(3.11) и определение соотношения k с использованием полученной зависимости (3.10);
- повторное выделение кондиционных пересечений и итоговый пересчет запасов в режиме обеспечения максимальной прибыли на основе критерия (3.6).

Графическая интерпретация решения задачи оптимального выделения кондиционных пересечений с позиций экономического критерия, обеспечивающего наибольший доход от добычи высококачественных и рядовых руд, представлена рис.3.6 и 3.7.

На рис.3.6 в квадрате II приведен график зависимости дохода (c_1) от объема добычи высококачественных руд (x_1). Как видно зависимость $c_1=f(x_1)$ явно линейная. В квадрате IV представлено изменение дохода (c_2) от объема добычи рядовых руд (x_2). Оно имеет также линейную зависимость, т.е. $c_2=f(x_2)$. В квадрате III изображен график снижения объема рядовых руд от увеличения объема высококачественных руд. Он построен на основе предварительного выделения кондиционных пересечений по геологическим выработкам в различных режимах (максимального выделения балансовых руд,

максимального выделения высококачественных руд и т. д.) при фиксированных значениях кондиционных пересечений. Рассмотренные графики в квадратах IV, II, III позволяют найти изображение $c_1 = f(c_2)$ в I квадрате.

На основе зависимостей, приведенных в I и III квадратах можно получить график зависимости $(c_1 + c_2) = f(x_1 + x_2)$. Он представлен на рис.3.7 и имеет явно выраженный оптимум (точка М), соответствующий достижению максимального дохода при совместной добыче высококачественных и рядовых руд. По значению $(c_1 + c_2)_{\max}$ определяется искомое соотношение x_1/x_2 , рекомендуемое при выделении кондиционных пересечений по геологическим выработкам для данного участка

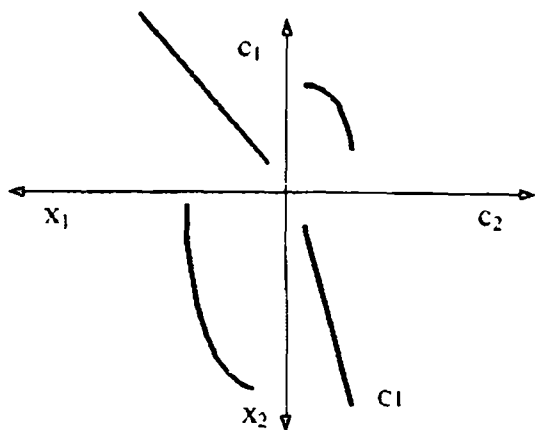


Рис. 3.6. График зависимости между доходами рядовых и высококачественных руд

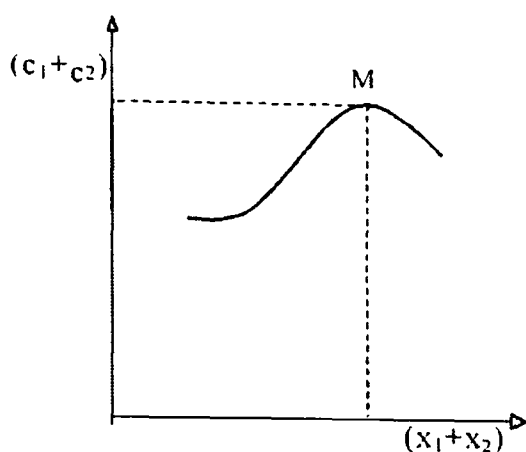


Рис. 3.7. Графическое определение максимального дохода при совместной добыче руд

Изложенный алгоритмический подход позволяет с позиций единого экономического критерия рассматривать все стадии решения задачи выделения добычных контуров при селективной отработке многокомпонентных руд. При оперативном планировании горных работ в карьере он создает предпосылки для регулирования объема отгружаемой руды в соответствии с требованиями к качеству сырья и управление технологическими процессами добычи. Автоматизированная обработка геологических и технологических характеристик полезного

ископаемого способствует повышению уровня полноты извлечения полезных компонентов из недр.

3.4 Математические модели месторождения

В связи с быстрым ростом горнодобывающей промышленности в 1970-х годах идет развитие геоинформационных технологий. Формируются и развиваются научные школы открытых и подземных горных работ. (Н.В.Мельников, В.В.Ржевский в Москве, А.И.Арсентьев в Ленинграде, В.С.Хохряков в Свердловске, О.А. Байконуров, А.М. Мустафина, С.В. Цой в Алма-Ате). Появляются теоретические обоснования и алгоритмы решения задач формирования и развития горных работ с большими объемами вычислительных операций.

Развитию этого научного направления в последующие годы посвящены работы многих ученых. Данные работы подробно изложены в трудах ученых: академика Е.И.Рогова, докторов технических наук В.М.Аленичева, Н.Д.Бевза, В.Г.Близнюкова, К.Е.Виницкого, В.В.Квитки, С.Д.Коробова, Г.Новожилова, Э.И.Ресентовича, С.С.Резниченко, И.Б.Табакмана, А.Ф.Цехового, Г.А.Холоднякова, Б.П.Юматова, кандидатов технических наук Е.И.Васильева, А.М.Валуева, В.А.Дунаева, Ю.Капутина, В.М. Кисляка, А.С.Танайно, Ю.К.Шкуты и др.

В зависимости от необходимой точности расчета, сложности геологических и технологических узлов и типа ЭВМ принимают три вида модели – простые геометрические, цифровые и аналитические. Простые геометрические модели используются для расчета на ЭВМ в тех случаях, когда месторождения представлены залежами и пластами, однородными по качеству и выдержанными по элементам залегания. Месторождение моделируют на поперечных сечениях в форме параллелограммов и трапеций. Объемная модель – параллелепипед или сумма объемов простых геометрических фигур. Борт карьера в предельном положении и динамику рабочей зоны моделируют на поперечных сечениях в виде некоторых линий. Объемы горной массы определяются как

сумма объемов правильных геометрических фигур. Запасы полезного компонента вычисляются по формуле:

$$V = mLN\alpha \quad (3.12)$$

где m - средняя мощность залежи;

L - длина залежи;

N - глубина залежи;

α - содержание полезного компонента.

При математическом моделировании широкое применение получает принцип, при котором участок горного отвода представляется в виде суммы микроблоков, каждый из которых характеризуется координатами в трехмерном пространстве и кодом качественных признаков. Цифровые математические модели, основанные на этом принципе, позволяют решать на ПК сложные геометрические, технологические и технико-экономические задачи при моделировании сложноструктурных многокомпонентных месторождений. Цифровые модели позволяют с высокой точностью учитывать геологические условия и геометрические параметры (форму рудных тел, контуры карьера, фронт работ на уступах и др.), качество рудных тел и горных пород.

Горизонтальные месторождения моделируют как сумму вертикальных призм различной высоты с различной или одинаковой плоскостью оснований.

Исходными геологическими материалами в этом случае являются планы изолиний кровли, почвы, рельефа поверхности и описание скважин с данными о качестве полезного ископаемого.

На крутых и наклонных месторождениях, о которых информация представлена погоризонтными планами, часто применяют послойные модельно – интегральные модели. Объем слоя равен сумме вертикальных призм с одинаковой или различной площадью основания. Если геологическая информация представлена поперечными сечениями, то объем слоя принимается равным сумме горизонтальных блоков, ширина которых определяется мощностью залежи на этом

горизонте, а длина – расстоянием между поперечными геологическими сечениями.

Для подсчета запасов полезных компонентов при использовании цифровой модели объемы элементарных блоков суммируются, т.е.

$$V = \sum_k \sum_i \sum_j l_{ij} a_j h_i \alpha_k, \quad (3.13)$$

где l_{ij} - длина интервала, образованного пересечением j -й осью раstra на i -м горизонте с k -м геологическим блоком; h_i - высота i -го уступа; a_j - ширина j -го слоя раstra; α_k - содержание полезного компонента в k -м геологическом блоке.

Математическая модель месторождения - это выражение формы и качественных характеристик месторождения с помощью цифр, математических зависимостей, достаточно формализованное для решения горно-геометрических задач на компьютере. В практике получили распространение три вида моделей: простые геометрические, цифровые и аналитические. Математическая модель месторождения является отображением геологического объекта топографической поверхности местности в цифровой форме в памяти вычислительной машины.

Формы залежей полезного ископаемого и открытых горных выработок - разнообразны и сложны. Поэтому они представляют определенную сложность для математического моделирования.

Математическое моделирование месторождений по данным разведочных скважин в ряде случаев чрезвычайно сложно и не всегда точно. Основная трудность заключается в интерпретации геологических закономерностей, которые не всегда поддаются математическому описанию. Повышение точности моделирования может быть достигнуто благодаря совместному использованию графических моделей и данным по скважинам. Последние позволяют уточнить распределения качественных признаков внутри контуров рудных тел или сортовых блоков,

построенных на основе поперечных сечений или погоризонтных планов.

В работе [11] предложена следующая классификация математических моделей месторождения. Математические модели месторождения делятся:

А. По способу распространения известных значений признака в точках опробования на область определения функции:

1) дискретные, 2) интерполяционные.

Б. По размерности пространства, в котором определяется геологический признак: 1) одномерные, 2) двумерные или плоские, 3) трехмерные или объемные.

В. По способу задания области определения признака – 1) сегментные, 2) блочные регулярные, 3) блочные нерегулярные, 4) контурные, 5) каркасные.

Наибольшее распространение среди зарубежных классификаций моделей месторождений получила следующая классификация математических моделей месторождений. В данной классификации модели делятся на:

- правильные объемные блочные,
- объемные блочные с переменными размерами блоков,
- сеточные пластовые,
- нерегулярные плоские блочные,
- нерегулярные объемные блочные модели.

В этой классификации основным признаком деления моделей являются:

форма и размеры блоков, которые могут быть объемными и плоскими, правильными и неправильными, регулярными и нерегулярными. Сеточные пластовые модели по существу являются так же разновидностью блочных моделей, так как при их построении предусматривается разбиение пласта на квадраты постоянного размера в плане. По вертикали размеры блоков могут меняться в зависимости от изменчивости мощностей пластов полезного ископаемого и покрывающих пород. Классификация охватывает только модели блочной структуры, то есть только тот класс месторождений, когда на

месторождении и (или) карьерном поле выделяются блоки, которые являются носителями информации, характеризующей тот или иной блок.

Существующие методы моделирования месторождений, разработанные для решения задач САПР-карьеров, в своей основе широко используют методологию традиционных методов подсчета запаса, которые основаны на том, что сложные по форме тела и залежи преобразуются в равновеликие им по объему простые тела.

Важной задачей открытых работ является обоснование рациональных размеров рабочей зоны карьера, в первую очередь числа рабочих уступов, объемов готовых к выемке запасов горной массы.

Аналитическое определение основных параметров рабочей зоны может быть положено в основу математической модели месторождения, научно-технического обоснования высоты уступа, их числа в рабочей зоне, длины фронта работ и т.д.

Рабочая зона карьера представляет собой объемную геометрическую фигуру. Под рабочей зоной понимают часть карьерного поля, в которой в рассматриваемый момент времени ведутся или намечаются подготовительные, вскрышные и добычные работы в соответствующих выработках. С развитием горных работ в пространстве и времени эта часть карьера находится в постоянном движении и изменении вплоть до последовательной постановки рабочих уступов в промежуточное или предельное положение. К основным параметрам рабочей зоны относятся: высота, ширина, угол откоса рабочего борта карьера, длина фронта работ каждого уступа, площади рабочих площадок, проекция рабочего борта на горизонтальную плоскость и объем породы в рабочей зоне в данный момент времени.

Постановка задачи. Обоснование рациональных размеров рабочей зоны карьера, динамики развития рабочей зоны.

Для решения задачи необходимо располагать математической моделью рабочей зоны [3]. В этих целях рабочую зону по длине следует разбить (поперечными разрезами) на несколько (m) характерных элементарных

участков длиной (l_g) и для каждого выделенного g -го участка на его поперечном сечении вычислить интересующие величины. Далее в зависимости от характера задачи путем их усреднения или суммирования можно найти искомые параметры рабочей зоны в целом. Задача в такой постановке является объемной.

Приведенные ниже расчетные формулы относятся к g -му участку рабочей зоны. Число и длина участков определяются в зависимости от выдержанности рабочей зоны по протяженности, для упрощения записи индекс g опускается.

Известно, что высота рабочей зоны (H_{pz}) равняется сумме высот (h) действующих (n) уступов, составляющих эту зону:

$$H_{pz} = \sum_{\mu=1}^m h_{\mu} \quad (3.14)$$

Все остальные искомые параметры рабочей зоны при известной H_{pz} являются функциями угла откоса рабочего борта карьера.

Рабочая зона может охватывать часть какого-либо борта, два или все борта карьера и состоять из зон вскрышных, добычных и подготовительных работ. В общей изменяющейся рабочей зоне можно выделить добычную зону, длина фронта работ на которой должна обеспечивать заданную производительность карьера по добыче с учетом установленного режима выдачи различных сортов руд. Для того, чтобы выдержать установленную производительность по горной массе, число рабочих уступов и длина фронта работ должна обеспечить необходимый объем вскрытых и готовых к выемке запасов полезного ископаемого и вскрыши.

На практике наблюдается закономерность, чем больше рабочая зона, тем больше затраты, расходуемые на создание фронта работ и его поддержание, опережающую выемку вскрыши, подготовку новых горизонтов, транспортирование горной массы на большие расстояния и др.

Поэтому для того, чтобы обеспечить сокращение затрат на проведение горных работ, необходимо, чтобы высота и ширина

рабочей зоны в любой момент были минимальными, но достаточными.

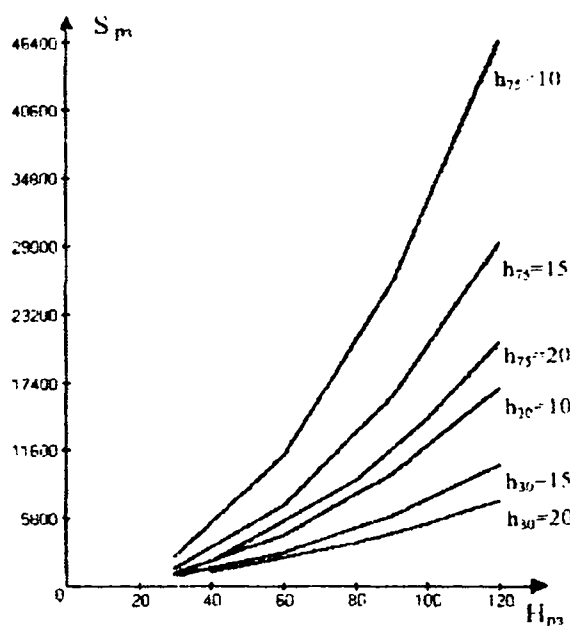


Рис. 3.8. Зависимость изменения объемов породы в рабочей зоне от H_{pz}

На практике извлекаемый объем ограничивается положением текущего контура рабочей зоны.

Проведенный анализ подтверждает, что аналитическое определение основных параметров рабочей зоны, может быть положено в основу научно-технического обоснования высоты уступа, их числа в рабочей зоне, длины фронта работ. При этом окончательное решение должно приниматься с учетом комплексного взаимовлияния горно-геологических, технико-технологических и эколого-экономических факторов.

Выводы

В данной главе изложен современный подход к проектированию как к процессу, являющемуся началом изменений в естественной и созданной человеком средах. Выявлено преимущество применения геоинформационных методов моделирования. Доказано, что основой математических моделей является точечно-цифровая информация, либо данные разведочных скважин или координаты точек с геологических разрезов или планов.

В главе обосновывается системный подход к вопросам оценки и подсчета запасов, сформулировано требование к системе:

создаваемая система решения этих задач должна обладать способностью оперативной реакции на изменение внешних воздействий.

В главе дано описание математической модели месторождения, выявлены требования: *методика моделирования должна быть достаточно универсальной.* Область ее применения не должна ограничиваться каким-то конкретным типом месторождения или определенными условиями залегания рудного тела.

Используемые в практике традиционные методы подсчета запасов включают большой объем ручных операций по геометризации, оконтуриванию, подразделению запасов. Это требует значительных материальных, трудовых, временных затрат. Следовательно, традиционные методы не могут удовлетворить требованиям оперативности и системного подхода.

Выход из создавшейся ситуации возможен путем:

1) создания новой стратегии подсчета запасов (объемов), базирующейся на методах математического моделирования. Создаваемая система решения задач должна обладать способностью оперативной реакции на изменение внешних воздействий, с целью обеспечения эффективности и стабильности функционирования горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

2) применения современных методов геолого-промышленной оценки месторождений.

Для принятия оптимальных решений при геоинформационном моделировании карьеров необходимо рассмотреть и задачи, характеризующие параметры рабочей зоны карьера.

Важной задачей открытых работ является обоснование рациональных размеров рабочей зоны карьера, в первую очередь числа рабочих уступов, объемов готовых к выемке запасов горной массы.

В главе рассмотрены методы обоснования решений, приведены принципы математического моделирования комплексных месторождений, рассмотрены рациональные параметры карьера. методы определения оптимального направления углубки.

Предлагаемые принципы, критерии оптимизации и методика их использования позволяют в процессе поиска оптимальных решений:

1. Учитывать естественную закономерность изменения геологических и других условий, комплексность минерального сырья, а также технологические возможности добычи и переработки минерального сырья.

2. Осуществлять с учетом технологических ограничений выбор местоположения, форм, размеров текущего дна карьера и площадей всех вышележащих горизонтов в процессе развития рабочей зоны.

При представлении карьера как сложной технологической системы. динамично развивающейся в пространстве и во времени, добыча руд должна рассматриваться как многошаговый процесс принятия решений, влияющий на эффективность отработки месторождений. При этом необходимо применение новых геоинформационных моделей карьера, которые учитывают конструктивные и технологические параметры, интенсивность развития горных работ.

Для решения этой задачи необходимо применение метода геоинформационного моделирования с использованием соразмерного перемещения руды и вскрыши в карьере, метод экономико-математического моделирования, влияющий на эффективность недропользования.

4. ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КАРЬЕРА

В теории проектирования, а также для повышения эффективности отработки месторождений можно надеяться на принципиально новые результаты, если основные методические подходы будут построены на перспективных, прогнозируемых параметрах и показателях и на новом, более высоком качественном уровне использования во всей полноте геологической информации.

4.1 Краткая горно-геологическая характеристика Житикаринского месторождения хризотил-асбеста

Житикаринское месторождение хризотил-асбеста, являющееся вторым по величине (после Баженовского) в СНГ, находится на территории Житикаринского района Кустанайской области Республики Казахстан.

Запасы месторождения составляют более миллиарда тонн руды с содержанием в ней нескольких десятков миллионов тонн асбеста, 85% которого содержит залежь Основная. Вследствие этого залежь Основная является первоочередным объектом эксплуатации.

Разработка Житикаринского (Джетыгаринского) месторождения ведется открытым способом - одним карьером, подчиненным горнообогатительному комбинату «Костанайские минералы». Вскрытие осуществляется двумя съездными траншеями, заложенными на южном и восточном бортах карьера. Система разработки - транспортная, с доставкой пород вскрыши и некондиционных руд во внешние отвалы. Вскрышные и добычные работы ведутся слоями с уклонами $i=0,0025$ высотой $12\div15$ м и с применением буровзрывных работ. Отвал пустых пород ёмкостью до 200 млн. м³ располагается на расстоянии 1,7 км от борта карьера.

Горизонт подземных вод залегает на глубине 18-28 м и приурочен к верхней трещиноватой зоне ультраосновных пород мощностью 40÷60 м. Крепость руд и пород по шкале профессора М. Протодяконова $f=8-10$, объемный вес $\gamma = 2,5$ т/м³.

Добытая руда направляется на обоганительную фабрику, расположенную за границей возможной асбестоносности на расстоянии 1,5 км к северо-востоку от борта карьера. На фабрике руда проходит стадии крупного и среднего дробления, сушится и подвергается многостадийному мелкому дроблению, в процессе которого вскрывается асбестовое волокно. Далее производится извлечение черновых асбестовых концентратов, их пересчетка и разделение на товарные сорта.

Хризотил-асбест месторождения образует жилы, в которых волокна асбеста располагаются преимущественно перпендикулярно стенкам трещин. В зависимости от строения жил и их расположения среди вмещающих пород выделяется пять зон асбестоносности: 1) редких одиночных жил; 2) сложных жил; 3) крупной сетки; 4) мелкой сетки; 5) просечек.

Промышленный интерес представляют руды типа крупной и мелкой сетки, сложных жил, частично - редких одиночных жил. Просечки промышленного значения не имеют.

Все запасы асбеста распределены по сортам условно называемым геологическими. Сортность определяется минимальной длиной волокна, которая составляет: для I сорта - 8 мм, II - 6 мм, III - 4 мм, IV - 2,8 мм, V - 1,6 мм, VI - 0,5 мм, VII - 0,25 мм. В табл.4.1 приводится распределение содержания асбеста по сортам для рассмотренных типов асбестоносности по сумме всех категорий запасов (B, C₁ и C₂).

Таблица 4.1. Распределение содержания асбеста по сортам и зонам асбестоносности Основной залежи

Зоны асбестоносности	Содержание асбеста по сортам, %					Итого I-VI	II	Всего
	II	III	IV	V	VI	I-VI	VII	I-VII
Сложных жил	0,044	0,05	0,26	0,72	3,17	4,20	3,49	7,69
Крупной сетки	0,01	0,09	0,38	1,12	3,21	4,82	2,40	7,22
Мелкой сетки	0,005	0,02	0,16	0,49	2,63	3,31	2,09	6,40
Просечек	0,0001	0,0002	0,0002	0,04	0,25	0,39	0,75	1,14
В целом по залежи	0,003	0,04	0,18	0,98	2,68	3,88	3,03	6,91

Из таблицы видно, что руды Основной залежи богаты по валовому содержанию асбестового волокна. Однако в общей массе товарного волокна (сумма I-VI сортов) преобладают I и VI сорта; III и IV сорта содержатся в малом количестве, текстильные сорта (I и II) практически отсутствуют.

При объединении всех промышленных типов асбестоносности Основная залежь имеет форму пластообразного тела, падающего на восток под углами от $10\div 30^\circ$ до $70\div 85^\circ$. Длина тела по простиранию - 3,2 км, мощность колеблется от $50\div 100$ до $250\div 300$ м, составляя в среднем 180 м. До глубины $300\div 400$ м от поверхности отмечается постепенное увеличение мощности, далее мощность уменьшается.

По простиранию залежь делится на три участка, отличающихся друг от друга средним содержанием асбеста в руде:

1) северный участок с содержанием волокна $1\div 3\%$, ограниченный на севере естественным выклиниванием, на юге разведочной линией 10;

2) центральный участок (наиболее богатый) с содержанием асбеста $4\div 5\%$, примыкающий к северному и ограниченный на юге разведочной линией 23;

3) южный участок, имеющий содержание $3\div 4\%$, расположенный между линиями 23 и 32.

Для месторождения в целом характерна высокая изменчивость качественных показателей руд.

Разведанные запасы Житикаринского месторождения (в пределах однопроцентного промышленного контура) и принятая проектная мощность комбината (800 тыс. т асбестового волокна в год) определяют срок существования рудника в 40 лет.

Геологическое строение месторождения

Сырьевой базой предприятия АО «Костанайские минералы» является Житикаринское месторождение хризотил-асбеста, которое расположено в одноименном массиве ультрамафитов Притобольско-Аккаргинского комплекса (S2 – D1) и относится к баженовскому геолого-промышленному типу.

Житикаринское месторождение состоит из пяти промышленных залежей хризотил-асбеста: «Основная» залежь; «Лидийская» залежь; «Гейслеровская» залежь; «Малая» залежь; «Новая» залежь.

Добыча асбестовых руд производится полосой 300÷400м в меридиальном направлении протяженностью 3900м, их мощность колеблется от 30÷90м на севере до 210÷450м на юге, составляя в среднем 180м. Залежь имеет пластообразную форму с восточным падением под углом в среднем 70 град., а распространение волокна асбеста в промышленных концентрациях прослеживается на глубину до 500м, а на юге до 800м.

Асбестная зона приурочена к контактной зоне серпентинитов, серпентинизированных перидотитов, перидотитов. Основная залежь - самая крупная на месторождении, в ней сосредоточено 80% запасов месторождения. Она приурочена к восточному контакту Малого ультрамафитового ядра и протягивается в виде широкой (300-400м) дуги на 3900 м. Залежь имеет пластообразную форму и падает согласно с контактом ультрамафитового ядра на восток. С глубиной мощность залежи уменьшается. Отмечается более пологое падение лежачего бока залежи и более крутое висячего бока. Угол падения лежачего бока до глубины 200 - 250 м составляет 60°, еще глубже (до 800 м) увеличивается до 65 - 88°. Висячий бок залежи более неровный и извилистый. В пределах Основной залежи выделены 6 типов асбестоносности, которые характерны для всего месторождения. При выделении типов асбестоносности учитывались не только геологические факторы (форма жилкования, длина волокна и т.п.), но и промышленное содержание асбеста класса крупности +0,5мм.

В зависимости от морфологии жилок хризотил-асбест выделяются следующие типы: зоны одиночных жил; сложных жил; мелкопрожил; крупная и мелкая сетка и просечек.

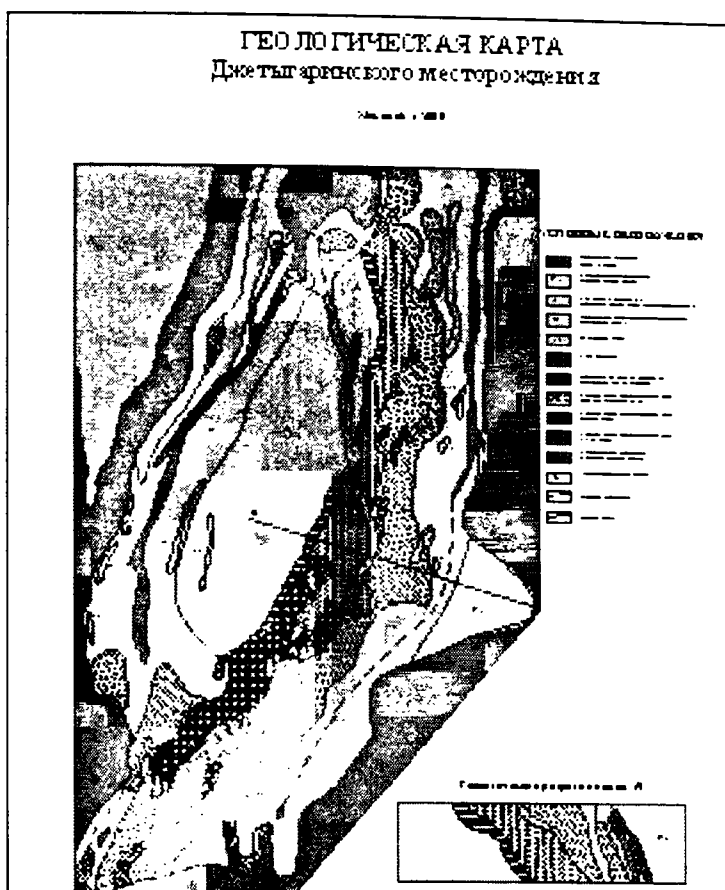


Рис.4.1. Геологическая карта месторождения

Одиночные жилы хризотил - асбеста имеют мощность 5-20 мм, редко 25÷30 мм, они залегают в серпентинизированных перидотитах и окаймлены оторочками массивного плотного темно-зеленого серпентинита. Мощность оторочек в зависимости от мощности асбестовых жил колеблется от 2÷3 см до нескольких десятков сантиметров.

Сложные жилы представлены сериями жил хризотил - асбеста, ориентированных параллельно друг другу, которые залегают среди серпентинитов и серпентинизированных перидотитах. Мощность серий колеблется от 10÷20 до 50 см, количество жил в серии 20÷50, мощность жил в сериях варьирует в пределах 2÷15 мм.

Мелкопрожил визуально сходен с типом сложных жил и отличается от него меньшей мощностью жил хризотил-асбеста.

В типичном мелкопрожиле отдельные жилы имеют мощность $1\div 3$ мм, причем мощность жил в серии почти одинакова.

Крупная сетка состоит из разноориентированных крупных простых жил хризотил-асбеста, залегающих в серпентинитах с ядрами перидотитов. Мощность жил и длина волокна в них колеблется от 2 до $20\div 25$ мм. Размеры ячеек пород между жилами хризотил - асбеста изменяются от 10×10 см до 50×90 см.

Просечки магнетита встречаются редко. Содержание асбеста класса + 0,5 мм - 4,46%.

Мелкая сетка по морфологии жилкования аналогична крупной и отличается от нее лишь меньшей мощностью жил хризотил - асбеста и меньшим размером ячеек пород, заключенных между жилами асбеста. Магнетитовые просечки редки. Содержание асбеста класса - 0,5 мм - 2,61%.

Просечки - непромышленный тип асбестоносности, образованный мелкими одиночными маломощными жилами асбеста. Они объединяются в три морфологические разновидности:

- 1) единичные просечки;
- 2) просечки, наблюдающиеся иногда в виде пучков и ориентированные в одном направлении;
- 3) просечки сетчатого типа.

Из трех выделенных разновидностей наиболее распространена первая.

Для каждой зоны характерен определенный тип асбестоносности. Кроме того, в пределах залежи наблюдается рудная зональность, обусловленная составом и структурой вмещающих пород: вдоль лежачего бока просечки и одиночные жилы асбеста в серпентинизированных перидотитах и дунитах; более богатые сложные и крупносетчатые жилы в серпентинитах с ядрами перидотитов в осевой части; бедные сложные жилы и крупная сетка, мелкосетчатые жилы, мелкопрожил и просечки - в серпентинитах вдоль висячего бока.

Рудные залежи размещаются в серпентинизированных ультрамафитах и серпентинитах в экзоконтактах крупных ультрамафитовых ядер или их блоков. В отличие от мелких залежей в эндоконтактах больших залежей месторождения

(Основная, Гейслеровская) наряду с крупными ультрамафитовыми ядрами наблюдаются многочисленные рассеянные мелкие ядра гарцбургитов.

Асбестоносность отдельных участков зависит не только от благоприятного вещественного состава вмещающих пород. Определенную роль в количественном распределении асбеста играют также структурно-тектонические особенности участка, где эти породы встречаются.

Вскрытие карьерного поля выполнено двумя траншеями: северной полутраншей внутреннего заложения с выходом на ст. «Северная», расположенной на северо-восточном борту карьера и южной траншей с выходом на ст. «Предотвальная».

Геометрические параметры карьера следующие: длина - 4 км; ширина - 1.3 км; глубина - 250 м.

Верхние горизонты восточного борта карьера (+274м-+215м) вскрыты прямыми заездами с Южного поста с выходом на станцию «Предотвальная». С поста «Западный», расположенного на уступе +230м западного борта карьера вскрыты горизонты +215м - +185м. Горные работы на гор. + 230 м., + 215 м, + 185 м производятся с погрузкой на ж.д. транспорт, на горизонте + 155 м применяется комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт, а ниже указанных горизонтов применяется автомобильный транспорт.

Система разработки - углубочная однобортная. Высота рабочих уступов - 15м, ширина рабочих площадок в зоне ж.д. транспорта - 45м, в зоне работы автомобильного транспорта 35м, ширина транспортных берм 25м, берм безопасности - 12 м.

Технология ведения горных работ цикличная с применением буровзрывных работ.

Разрабатывается самая крупная залежь месторождения - Основная. Залежь приурочена к висячему боку малого ядра южной части Джетыгаринского ультраосновного массива. С запада она непосредственно примыкает к перидотитовому ядру.

С востока ограничивается дайками диоритовых порфиринов, на юге резко обрывается интрузией плагиогранит-

порфиров, на севере тянется в виде слепого рудного тела, постепенно выклинивающегося.

Залежь имеет пластообразную форму с восточным падением под углом в среднем 70 град. Длина залежи 3900 м, мощность колеблется от 30-90 м на севере до 210-450 м, на юге, составляя в среднем 180 м. Распространение волокна асбеста в промышленных концентрациях прослеживается на глубину до 500 м, на юге до 800 м.

В зависимости от морфологии жилкок хризотил-асбеста выделяется 6 типов асбестоносности: зоны одиночных жил, сложных жил, мелкопрожила, крупной и мелкой сетки, просечек. Все зоны, кроме просечек, имеют промышленное значение. Граница между типами асбестоносности условная. Наиболее богатые по общему содержанию асбеста руды типа сложных жил и крупной сетки; среднее содержание асбеста в них составляет 6.25% и 5.8% соответственно. В зависимости от петрографического состава вмещающих пород, типа асбестоносности, длины волокна, выделено 8 типов руд, которые, объединены в три группы обогатимости.

I группа - легкообогатимые

II группа - среднеобогатимые

III группа - труднообогатимые

По насыщенности руд хризотил - асбестом и по обогатимости залежь Основную можно разделить на три участка: северный, центральный, южный.

По результатам эксплуатационной разведки 1983 - 1991г.г. в слое 245 - 35 м Основной залежи по состоянию на 1.01.1992г. утверждены ЦКЗ при ГАП концерна "Строительные материалы Республики Казахстан" (протокол N 10 от 10 декабря 1992 года) запасы руды и волокна хризотил-асбеста в количестве: руда - 125069 тыс. тонн, волокно 3893.8 тыс. тонн.

В результате уточнения контуров рудного тела, породных включений, кондиционных руд значительно изменилась конфигурация и длина контактов руды с породой.

Предельная глубина карьера в новых границах составляет 390 метров.

Geological map of the Brestskaya area. The map shows a complex geological structure with various rock units and faults. The legend on the right side of the map provides a key for the symbols used.

Восстановленный геологический разрез по Б.В. 27+00
Залеска, Брестская.
Условные обозначения:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Основная залежь самая крупная на месторождении (80% запасов месторождения) приурочена к восточному контакту Малого ультрамафитового ядра и протягивается в виде широкой (300÷400 м) дуги на 3900 м. Залежь имеет пластообразную форму и падает согласно с контактом ультрамафитового ядра на восток. Отмечается более пологое падение лежащего бока залежи и более крутое висячего бока.

Таблица 4.2. Характеристика физико-механических свойств вскрышных пород и руды

Показатели	Выветренные загнурованные выветривание м породы и руды	Свежие, неаггированные выветриванием породы			
		Из зоны дробления серпентиниты и перидотиты	Серпентиниты асбестоносные и безрудные	Перидотиты серпентинизированные	Диоритовые порфиры плаггиограниты
1. Категория по буримости	IV – V	IV – V	V – VI	VI – VII	IX – X
2. Коэфф. крепости по Протодакинову	6–7	6–9	6–9	6–10	11–18
3. Объемная масса, т/м ³	1,7 – 2,5	2,46	2,57	2,74	2,58 –
4. Водопоглощение, %	0,7 – 1,8	1,45	0,1 – 1,2	0,5	3,14
5. Пористость, %					0,1 – 0,7
А) кажущаяся	2,0 – 32,0	3,6	1,5	0,6	
Б) истинная	0 – 1200	4,6	2,8	1,8	
6. Предел прочности при сжатии, кг/см ²		50 – 1200*	165* – 400	800 – 2560	1000 – 1200

Скальные породы – неизменные и слабо измененные процессами выветривания серпентинизированные перидотиты, серпентиниты, диоритовые порфиры, плаггиогранит-порфиры.

Важными факторами, влияющими на устойчивость бортов карьера, являются структурные особенности залежей (зоны крупных разломов) и степень выветривания пород. На месторождении можно условно выделить три типа пород: неустойчивые, ограниченно устойчивые, устойчивые.

4.2 Методика математических расчетов при геoinформационном моделировании

Основы методики математических расчетов при геoinформационном моделировании приведены в работе [45].

Вычисления объемов, полей структур и других элементов геoinформационного пространства имеют в своей основе математические операции с точками, а применяемые

математические модели относятся к различного вида дискретным и дискретно-аналитическим.

Математический аппарат, который используется для расчетов площадей и объемов в трехмерном пространстве, основан на методах аналитической геометрии.

При выборе системы координат необходимо, чтобы значения координат соответствовали пространству правой системы декартовых координат, в котором на плане по оси абсцисс откладываются значения координат X , по оси ординат Y . Вид расчетных формул, которые используются для геоинформационных расчетов, при этом не меняется, но следует иметь в виду, что знаки по оси аппликат должны соответствовать положительным значениям.

1. Расчет длины отрезка между двумя точками

Длина отрезка между двумя точками 1 и 2 с координатами X_1, Y_1, Z_1 и

X_2, Y_2, Z_2 в трехмерном пространстве равна:

$$L_{1-2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (4.1)$$

Но в данных расчетах необходимо учитывать, что любая точка как исходная, так и искомая характеризуется не только координатами X_i, Y_i, Z_i , но также индентификаторами качественных признаков: $k_1, k_2, \dots, k_n$. Также при расчетах необходимо учесть, что математические модели должны быть ориентированы на использование вычислительных средств, электронных банков данных, а также на необходимость и возможность использования графических форм представления информации.

С учетом этих, а также ряда других специфических требований, определяемых условиями конкретных задач, создаются различные геоинформационные модели месторождений полезных ископаемых, горных разработок и других объектов.

В настоящее время существует ряд моделей, основанных на дискретном представлении информации о месторождениях полезных ископаемых, где источниками информации являются данные по скважинам.

Однако в современных условиях численные методы решения геометрических задач горной геоинформатики требуют разработки новых математических методов и приемов, исследования аспектов формирующейся теории геоинформационного математического моделирования.

При решении геометрических задач геоинформационного моделирования можно выделить следующие задачи:

1. Определение размеров и положения в трехмерном пространстве линий, объемов сложных форм с учетом качественных признаков.

2. Описание процесса перемещения в трехмерном пространстве (в рабочей зоне карьера) данных элементов.

2. Расчет площади элементарного контура

Площадь рабочей зоны на профиле формируется из элементарных контуров. Выделяются верхние и нижние границы контуров. Площадь вычисляется методом обхода по контуру. Применяется следующая формула:

$$S = 1/2(Y_1 - Y_2)(Z_1 + Z_2) + (Y_2 - Y_3)(Z_2 + Z_3) + \dots + (Y_n - Y_{n-1})(Z_n + Z_1) \quad (4.2)$$

Одновременно вычисляется центр тяжести площади:

$$C = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.3)$$

где y_i – абсциссы порядковых точек контура.

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

$$S = \frac{h}{2} (Z_0 + 2Z_1 + \dots - 2Z_{n-1} + Z_n) \quad (4.4)$$

где n – шаг интегрирования.

Практическое приложение данные геоинформационные методы моделирования горных работ получили в компьютерных системах планирования открытых разработок.

4.3 Исследование геоинформационного моделирования с использованием теории графов

Теория графов находит применение во многих отраслях промышленности, например: в химии, информатике, программировании, в коммуникационных и транспортных системах, в экономике, инженерной графике, логистике, в схемотехнике и в геоинформационных системах (ГИС).

Теория графов — раздел дискретной математики, изучающий свойства графов. В общем смысле граф представляется как множество вершин (узлов), соединённых рёбрами.

Родоначальником теории графов принято считать математика Леонарда Эйлера (1707-1783г.). Многие ученые занимались теорией графов. Известны работы Басакер Р., Кристофидеса Н., Бержа К., Кормен Т. Х., Уилсона Р., Новожилова М.Г., Цоя С.В., С.М. Цхая, Букейханова Д.Г., Ибраева А.М., Бекмурзаева Б.Ж., Съедина В.Ф. Среди современных работ в области геоинформационных систем широко применяется метод Лерча-Гроссмана.

В информатике и программировании данная теория представляет граф-схему алгоритма. В коммуникационных и транспортных системах применяется, в частности, для маршрутизации данных в Интернете.

Из истории возникновения теории: Леонард Эйлер в 1736 году в одном из своих писем формулирует и предлагает решение задачи о семи Кёнигсбергских мостах, ставшей впоследствии одной из классических задач теории графов. Город Кенигсберг (ныне Калининград), включает два берега реки Перголя, два острова в ней и семь соединяющих мостов. Задача состоит в том, чтобы обойти все четыре части суши, пройдя по каждому мосту один раз, и вернуться в исходную

точку. Эта задача была решена (показано, что решение не существует) Эйлером в 1736 году.

Однако теория графов многократно переоткрывалась разными авторами при решении различных прикладных задач.

В настоящее время целый ряд горнотехнических задач может быть успешно решен с применением математической теории графов и ее разновидности – теории о потоках в сетях.

Теория графов, основанная на топологических принципах, для открытых горных работ может быть успешно применена для решения ряда транспортных задач – о минимальной стоимости, кратчайшем пути и пропускной способности системы съездов при различных видах карьерного транспорта и др.

Весьма успешно, теория графов применяется при планировании и управлении горными работами с помощью сетевых методов планирования и управления, основанных на отыскании пути максимальной величины или так называемого критического пути. Методы СПУ используются при строительстве карьеров, монтаже и ремонте технологического оборудования.

Сетевой график с точки зрения теории графов представляет собой направленный граф, вершинами которого служат события сетевого графика и дугами – его работы.

В последние годы теория графов проникает во многие области науки и техники. По своей сущности теория графов носит абстрактный характер, но она легко отражает реальные процессы.

Графом называется схема, состоящая из нескольких точек и соединяющих их линий. Точки $X_1, X_2, \dots$ называются вершинами графа. Множество всех вершин обозначается через X . Линии, соединяющие вершины графа и называемые ребрами, отражают определенные отношения, связи в множестве X , представленном вершинами графа. При этом ребра могут иметь определенную ориентацию. Ориентированные ребра называются дугами.

Методы нахождения дерева, независимых циклов и маршрутов на любом графе

Данные методы подробно изложены в книге С. Цоя, С.М. Цхая «Прикладная теория графов». Одним из важных разделов в теории графов является определение дерева, независимых циклов и маршрутов.

Деревья и независимые циклы используются во многих расчетах, связанных с решениями сложных задач в сетевой постановке: расчеты по вентиляционным, гидравлическим сетям, транспортные задачи в сетевой постановке, некоторые задачи синтеза оптимальной сети и т. д.

Определение дерева, тем более независимых циклов и маршрутов на сложных графах большой размерности представляет довольно трудную проблему. Поэтому отыскание простого и удобного алгоритма для реализации его не только вручную, но и на компьютере будет способствовать эффективному применению теории графов для решения практических прикладных задач оптимизации (оптимизации рабочей зоны карьера, поиску рационального направления горных работ).

На рисунке 4.3 приводится графическое изображение графа.

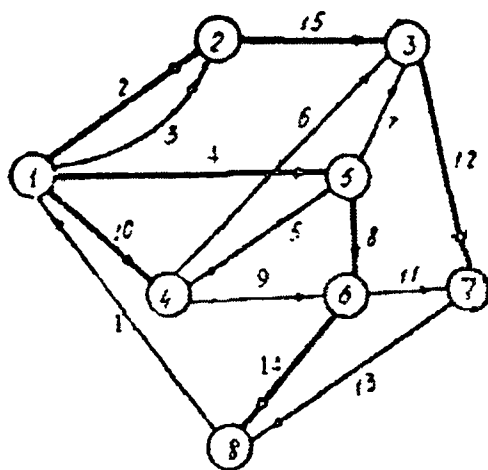


Рисунок 4.3. Графическое изображение графа

Алгоритм определения дерева на графе

Выше было сказано, деревом называется связный частичный граф, не имеющий контуров (циклов). Поскольку граф частичный, то в дереве некоторые дуги или ребра могут отсутствовать.

Известно, что дерево должно иметь не менее двух висячих узлов и $N-1$ ребер или дуг, где N — общее число вершин на графе. Эти свойства и будут использованы при обосновании методов.

Рассмотрим один из возможных алгоритмов определения дерева на графе, численная реализация которого на ЭВМ приведена в работе [41].

Пусть задан сильно связный ориентированный мультиграф.

Поиск дерева можно начать с любого узла. Действие алгоритма состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Возьмем любой узел j_0 . Рассмотрим все дуги, выходящие из узла j_0 , т.е. $U j_0 j_k$. Здесь j_k ($k = 1, 2, \dots, S$) образует множество S смежных вершин к j_0 . Так как граф может быть мультиграфом, то в дерево D включаем только одну дугу из множества дуг, соединяющих две вершины j_0 и j_k . Очевидно, что выбранные таким способом дуги не образуют между собой циклов.

Итак, после первого шага мы получаем множество узлов $j_0, j_1, \dots, j_s$. Обозначим его через M_0 .

Шаг 2. Возьмем любой из узлов $j_k \in M_0$. Рассмотрим снова все дуги, выходящие из j_k . В дерево D включаем только те из этих дуг, конечные вершины которых между собой не совпадают и они не являются элементами множества M_0 . В результате этого мы расширяем множество M_0 до M_1 и увеличиваем число кодов (дуг) в D .

Шаг 3. Необходимо выяснить, закончено ли построение дерева?

Для выяснения этого необходимо проанализировать множество M_1 (при последующих повторениях шага 2 будем получать множество вершин $M_1, M_2, M_3, \dots, M_l$). Если M_l содержит все узлы исходного графа, то дерево построено и мы

переходим к шагу 4. В противном случае снова выполняем шаг 2, но вместо M_0 рассматриваем множество M_1 .

При каждом повторении шага 2 мы получаем очередное расширенное множество M .

Шаг 4. Печать кодов дуг дерева. На этом действие алгоритма заканчивается.

Заметим, что при выполнении шагов 1–4 мы получаем прадерево графа. Как известно, прадеревом называется дерево, в любую вершину которого входит только одна дуга, а выходить может несколько. Тот узел, из которого дуги только выходят, а входящих в него дуг нет, называют корнем прадерева.

Действие данного алгоритма на конкретном примере выглядит следующим образом.

Пусть дан граф, представленный на рисунке 4.3.

Цифры в кружках означают номера вершин, на дугах представлены номера дуг.

Шаг 1. В качестве j_0 выберем узел 1. Выпишем дуги, выходящие из узла 1: $u_{1,2}=2$, $u_{1,3}=3$, $u_{1,5}=4$, $u_{1,4}=10$.

Узлы 1 и 2 соединены двумя дугами. Поэтому в дерево включаем только одну из них, например дугу с номером 2. Тогда после первого шага имеем: дугами дерева D являются дуги $u_{1,2}=2$, $u_{1,5}=4$, $u_{1,4}=10$, а узлы, составляющие множество M_0 , будут

$$M_0 = \{j_0, j_1, j_2, j_3\} = \{1, 2, 5, 4\}. \quad (4.5)$$

Шаг 2. В качестве j_k возьмем узел 2. Находим дуги, выходящие из узла 2 и не оканчивающиеся в узлах множества M_0 . В нашем случае такой дугой будет $u_{2,3}=15$, которую включаем в дерево.

Итак, дугами дерева являются: $u_{1,2}=2$, $u_{1,5}=4$, $u_{1,4}=10$, $u_{2,3}=15$,

$$M_1 = \{j_0, j_1, j_2, j_3, j_4\} = \{1, 2, 5, 4, 3\}. \quad (4.6)$$

Шаг 3. Множество M_1 состоит из 5 узлов. Для нашего примера дерево, по определению, должно иметь 8 узлов, поэтому построение дерева продолжаем.

Переходим снова к шагу 2. Вместо M_0 рассматриваем M_1 , вместо $j_k = 2$ возьмем любую из оставшихся вершин, например узел 3, принадлежащий M_1 .

Шаг 2. Относительно узла 3 находим только одну дугу $u_{3,7} = 12$, которую включаем в массив D . Вершина j_5 пополнит массив M_1 :

$$M_2 = M_1 + j_5 = \{j_0, j_1, j_2, j_3, j_4, j_5\} = \{1, 2, 5, 4, 3, 7\}. \quad (4.7)$$

Шаг 3. В M_2 не вошли узлы 6 и 8, поэтому дерево еще не построено. Выполняем шаг 2.

Шаг 2. В качестве следующего j_k возьмем узел 5. Относительно узла 5 находим дугу $u_{5,6}=8$ и включаем ее в D . Множество M_2 расширится за счет вершины j_6 :

$$M_3 = M_2 + j_6 = \{j_0, j_1, j_2, j_3, j_4, j_5, j_6\} = \{1, 2, 5, 4, 3, 7, 6\}. \quad (4.8)$$

Выполнив еще раз шаг 2 относительно $j_k=6$, находим окончательно дерево, состоящее из дуг с номерами 2, 4, 10, 15, 12, 8, 14 и вершин

$$M_4 = \{1, 2, 5, 4, 3, 7, 6, 8\}.$$

На рисунке 4.3 дерево выделено жирными линиями.

Алгоритм определения дерева на несильно связном графе

Данный алгоритм разработан в работе [41]. До сих пор мы предполагали, что анализируемый граф сильно связный и на нем определяли прадерево с корнем в узле j_0 .

Пусть задан ориентированный несильно связный граф. Необходимо найти для него дерево. Рассмотрим случай, когда компонента связности равна 1.

Очевидно, на таком графе может не существовать прадерева, в то время как дерево всегда существует. Алгоритм определения дерева в этом случае состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Нахождение ствола дерева.

Выбираем любой узел j_0 . Определяем любой узел j_1 , смежный с выбранным j_0 .

Указанный процесс продолжается до того момента, когда пройти дальше от очередного выбранного узла j_k уже нельзя. Это может быть тогда, когда j_k является висячим узлом или смежный с ним узел j_{k+1} уже имеется среди найденных узлов ствола дерева $j_0, j_1, \dots, j_k$. Обозначим это множество вершин через M_s . После выполнения шага 1 мы получаем два массива чисел: ствол дерева - массив $\langle D \rangle$, состоящий из дуг, смежных попарно, и множество M_s .

Шаг 2. Определение ветвей ствола.

Возьмем узел j_0 . Находим смежный с ним узел j_{k+1} . Если j_{k+1} не содержится во множестве M_s , то дугу $u_{j_0 j_{k+1}}$ или $u_{j_{k+1} j_0}$ включаем в $\langle D \rangle$ как дугу дерева, а узел j_{k+1} - во множество M_s . В результате этого массив $\langle D \rangle$ увеличился на одну дугу, а множество M_s расширилось на один узел.

Продолжая аналогично поиск дуг дерева, находим ветвление относительно узла j_0 (один узел может иметь несколько ответвлений).

Выполняя этот процесс и для остальных узлов множества M_s , находим другие ветвления ствола. Шаг 2 повторяется до тех пор, пока во множество M_s не войдут все узлы исходного графа.

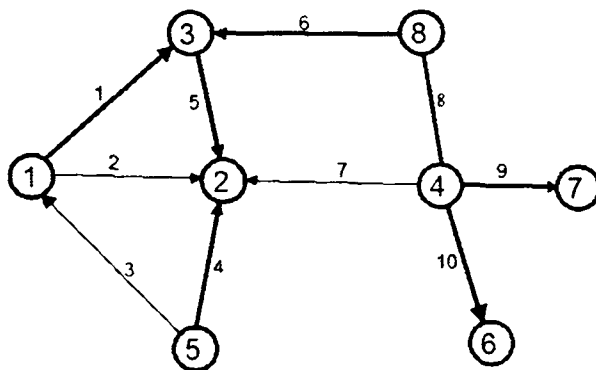


Рисунок 4.4. Исследуемый граф

Рассмотрим этот алгоритм на примере. Пусть дан граф (рисунок 4.4).

Шаг 1. Выбираем в качестве узла j_0 узел 1. Находим любой смежный с ним узел. Пусть им будет $j_1 = 3$. Дуга $u_{1,3}$ записывается в $\langle D \rangle$, узлы 1 и 3 входят во множество M_c . С узлом 3 связаны узлы 8 и 2. В качестве j_2 возьмем узел 8. Тогда дуга $u_{8,3}$ включается в $\langle D \rangle$, а узел 8 — в M_c . Затем находим дугу $u_{4,8}$ узел 4, дугу $u_{4,7}$ и узел 7. Далее продолжать этот процесс мы не можем, так как узел 7 является висячим.

После первого шага в $\langle D \rangle$ вошли дуги $u_{1,3}$, $u_{8,3}$, $u_{4,8}$, $u_{4,7}$. Они и составляют ствол дерева. Узлами ствола являются элементы M_c 1, 3, 8, 4, 7.

Шаг 2. Производим ветвления от узлов ствола дерева. Начать можно с любого узла. Выберем узел 3. Находим смежный с ним узел 2 и дугу $u_{3,2}$. Их соответственно включаем в M_c и $\langle D \rangle$. Продолжая дальнейшее ветвление, находим дугу дерева $u_{5,2}$ и узел 5. Построение дерева еще не закончено, ибо в M_c попали не все узлы графа.

Относительно узла 8 нельзя определить ветвление, ибо нет смежных с ним узлов, не принадлежащих M_c . От узла 4 существует ветвление: дуга $u_{4,6}$ с узлом 6.

Дерево построено, так как охвачены все узлы, и число дуг равно $N-1=8-1=7$.

На рисунке 4.4 дуги дерева выделены жирными линиями.

Для численной реализации этого алгоритма на ЭВМ можно использовать кодировку топологии сети.

Предположим, что граф несвязный и компонента связности больше 1. Тогда на нем нельзя отыскать частичный связный граф, охватывающий все узлы и $N-1$ ребер или дуг. В этом случае под деревом будем понимать любой частичный граф, состоящий из $N-p$ ребер или дуг, не образующих циклов, и включающий все узлы исходного графа. Здесь p — значение компоненты связности.

Чтобы отличить дерево связного графа от дерева несвязного, назовем последнее квазидеревом. Построение квазидерева можно произвести, используя только что описанный алгоритм.

В случае, когда из всех узлов M_s нельзя найти вствление и само дерево еще полностью не построено, присоединяем к M_s любой, не вошедший в него узел, взятый из другого составного подграфа и производим вствление.

Алгоритм определения независимых циклов

Как было указано, циклом на неориентированном графе называется цепь, начальная и конечная вершины которой совпадают. Если дан ориентированный граф, то можно говорить о контуре и пути.

Введем понятие цикла на ориентированном графе. Представим временно ориентированный граф как неориентированный, т. е. временно снимем все направления у дуг. На преобразованном графе найдем любой цикл. Теперь ребрам этого цикла необходимо приписать прежние направления. Полученный в результате цикл будет циклом на ориентированном графе.

Следовательно, цикл от контура на ориентированном графе отличается тем, что в цикле не соблюдается очередность следования дуг. В частном случае цикл может совпадать с контуром.

Будем рассматривать только элементарные циклы, т. е. такие, в которых любая дуга или ребро встречается не более одного раза.

Поскольку в один цикл могут входить дуги с разным направлением, будем присваивать им определенный знак.

Рассмотренная теория графов, алгоритмы определения дерева на несильно связном графе, определения независимых циклов являются методологической базой при трехмерном моделировании в графической среде.

Выводы

На примере Житикаринского месторождения хризотил-асбеста проанализирована система организации и производства работ в карьере.

В зависимости от морфологии жил хризотил-асбеста выделяется 6 типов асбестоносности: зоны одиночных жил, сложных жил, мелкопрожила, крупной и мелкой сетки, просечек. Все зоны, кроме просечек, имеют промышленное значение.

На основании анализа организации производства на данном месторождении и изучения геологических условий можно сделать вывод, что в зависимости от группы для месторождения применима трехмерная дискретно-аналитическая модель.

Геологоразведочные данные позволяют в последующем эффективно принимать решения при геолого-экономической оценке изучаемого объекта.

В главе приведена методика математических расчетов при геотехническом моделировании. Данная методика позволяет определить размеры и положения в трехмерном пространстве линий, объемов сложных форм с учетом качественных признаков.

В настоящее время целый ряд горнотехнических задач может быть успешно решен с применением математической теории графов. Определенные отношения, связи в множестве, представленном вершинами графа, можно использовать при расчетах, связанных с решениями задач в сетевой постановке: оптимизации рабочей зоны карьера, поиску рационального направления горных работ. Эффективное применение теории графов для решения практических прикладных задач оптимизации позволит модернизировать изучение геологической и др. информации в горнотехнических решениях.

5. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

5.1 Классификация геоинформационных моделей месторождений и карьеров

Данные вопросы широко исследуются в последние годы. Созданы научные принципы решения задач, характеризующие геоинформационные модели месторождений и карьеров.

В работе д.т.н., проф. Бекмурзасва Б.Ж. «Геоинформационные технологии и объектно-ориентированные методы в системе автоматизированного проектирования техногенных геосистем» была дана следующая классификация геоинформационного моделирования месторождений:

1. Геоинформационное моделирование месторождений на основе данных опробования геологоразведочных выработок.
2. Геоинформационное моделирование месторождений на основе графических моделей.
3. Геоинформационное моделирование месторождений на основе геостатистических моделей.

Геоинформационное моделирование месторождений на основе данных опробования геологоразведочных выработок.

Результатом выполнения предыдущих этапов формирования геоинформационной объемной модели месторождения, с учетом выделенных кондиционных пересечений, является конечное множество точек пространства: $NP = \{(x_i, y_j, z_k)\}$, в которых заданы значения геологических параметров $\Phi_m(x_i, y_j, z_k)$. Этап формирования модели реализуется двумя последовательными шагами.

1 Получение сеточного аналога функции Φ , в случае модели с регулярной равномерной сеткой, так как в случае неравномерной сетки процедура сноса не нужна.

2 Построение интерполирующей и аппроксимирующей функции $\Phi(x, y, z)$.

Трехмерное моделирование месторождения заключается в описании поверхностей рудных тел и блоков полигональными сетками (рисунок 5.1.)



Рисунок 5.1. Трехмерная модель рудного блока месторождения

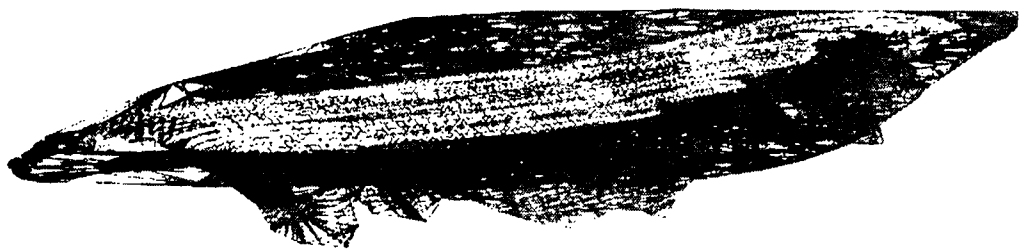


Рисунок 5.2. Трехмерная модель месторождения

В случае применения способа вертикальных разрезов для подсчета запасов геометрия каждого подсчетного блока определяется контурами рудных залежей на двух смежных разрезах. По контурам залежей на смежных разрезах можно иметь представление о поверхности подсчетного блока. Модель представляет собой геометрическую интерпретацию подсчетных блоков, определенных изогипсами и их характеристиками, построенными по не обязательно параллельным вертикальным разрезам. Для построения изогипс

подсчетного блока, построенный многогранник ссечется горизонтальными плоскостями, и полученные точки соединяются отрезками, в результате чего получаются замкнутые контуры изогипс на горизонтах [11].

При использовании геоинформационного моделирования месторождений на основе данных опробования геологоразведочных выработок при построении поверхности подсчетного блока рабочей зоны применяется схема, поясняющая разбиение поверхности подсчетного блока на погоризонтные планы (Рисунок 5.3).

Подсчетный блок является трехмерной моделью, которая выступает базисом работы системы при формировании модели карьера и планировании развития горных работ.

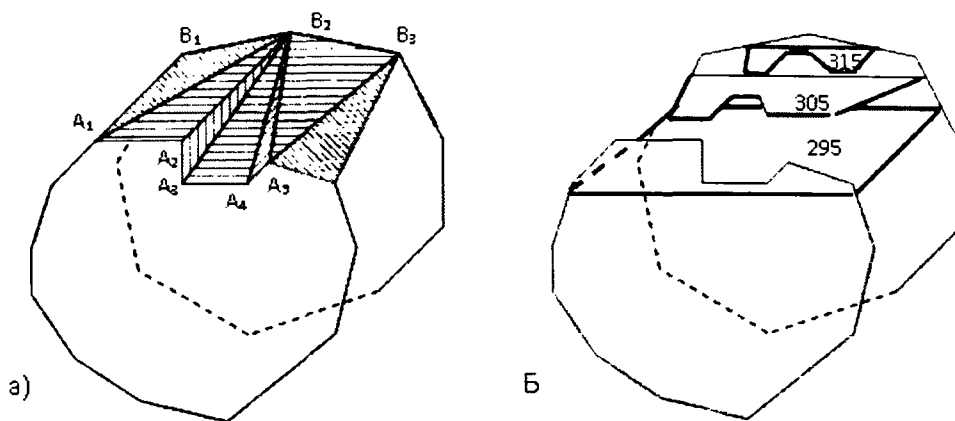


Рисунок 5.3. Схема, поясняющая построение поверхности подсчетного блока (а) и его разбиение на погоризонтные планы (б)

При построении поверхности подсчетного блока большое значение имеет правильное соединение вершин многоугольников продольными ребрами. Продольными ребрами соединяются вершины, имеющие одинаковые номера.

«Применяя предлагаемый метод с построением описывающего выпуклого контура, с последующим использованием операций объединения и пересечения объемных тел, можно строить поверхности объемных тел с несколькими основаниями на одном разрезе, каждое из которых

может иметь сложную конфигурацию с вогнутыми участками, с последующим сечением горизонтальными плоскостями» [11].

Затем можно приступать к следующим шагам формирования модели - моделирования параметров карьера, его горно-геометрическому и экономическому анализу.

Геоинформационное моделирование месторождений на основе графических моделей.

При геоинформационном моделировании месторождений на основе графических моделей, последние представлены такими объектами, как погоризонтные планы, геологические разрезы, топоосновы участка месторождений и т.п.

Поскольку исходной информацией для геоинформационного моделирования геометрических объектов открытой разработки месторождения являются геологические планы, вертикальные и горизонтальные сечения, то элементарными объектами геоинформационного моделирования являются контуры рудных тел различной формы на плоскости, пространственное распределение того или иного признака качества в замкнутом контуре на плоскости.

При моделировании сложных залежей контуры рудных тел на погоризонтных планах аппроксимируются с помощью многоугольников. Такой подход упрощает расчет объемов горных работ (руды и вскрыши) без потери точности [20] и позволяет использовать при подготовке исходной горно-геологической информации дигитайзер, т.е. автоматизировать процесс съема геологической информации.

При считывании геологической информации для ввода ее в компьютер погоризонтные планы и геологические разрезы ориентируются в единой системе координат.

Для снятия необходимой информации, с целью разработки геоинформационных моделей месторождения и карьера, производства горно-геометрического анализа карьерного поля, а также других горно-экономических расчетов, на каждый погоризонтный план наносятся: отметка горизонта; координатная сетка; линии разведочных профилей; контуры

рудных тел (залежей) с выделением сортов и типов руд; скважины и другие разведочные выработки; контуры горных пород с выделением их типов; конечный (проектный) контур карьера; текущее положение горных работ на горизонтах (промежуточные контуры).

Рудные тела на погоризонтных планах, разграниченные по сортовому, качественному и другим признакам, описываются многоугольниками. Каждому из них присваивается свое имя.

Каждый многоугольник (замкнутый контур), в пределах двух смежных горизонтов, характеризует собой однородный блок горной массы с высотой, равной высоте рудного тела. Считывание координат вершин любого многоугольника производится последовательно по контуру, т. е. точки следуют одна за другой. Замыкание многоугольника производится программно на компьютере путем рассмотрения отрезка, соединяющего последнюю вершину с первой.

Совокупность моделей всех горизонтов представляет геoinформационную модель.

Геoinформационное моделирование месторождений на основе геостатистических моделей

Появление новых методов моделирования месторождений, реализация которых стала возможной только при компьютерной технологии (блоковые модели, геостатистический анализ – вариограммы, кригинг), вызывает необходимость рассмотреть применение геостатистических методов.

В основе геостатистических методов моделирования месторождений находится представление о пространственной изменчивости показателей месторождения. Погрешность оценивания также является функцией пространственной корреляции между содержаниями в пробах и содержанием в блоках.

Исходные данные – координаты проб и значения показателей в них. Уравнение вариограммы определяется на основе рассчитанного графика. Вариограммы применяются для анализа распределений исследуемых величин месторождения,

прежде всего – содержания полезных компонентов в руде. Обычно вариограммы этих направлений отличаются только величиной зоны влияния проб.

Зона влияния оценивается визуально значением, где вариограмма становится горизонтальной. Обычно модель вариограммы получают как результат анализа двух или трех отдельных моделей.

Параметры вариограмм используются при выборе размеров эллипса влияния для применения кригинга в блочных моделях.

Обычная технология создания блочных моделей рудных тел и/или месторождений, которые могут быть построены без определения каких-то геологических границ и распространяться на все пространство месторождения. Но в большинстве случаев все рудные тела, зоны, литологические типы пород, поверхности тектонических нарушений и т.д. Предварительно оконтуриваются с помощью каркасных (триангуляционных) моделей поверхностей или замкнутых объемов.

Основными геоинформационными объектами моделирования при автоматизированном проектировании и планировании открытых разработок являются:

- месторождения полезных ископаемых;
- рельеф местности и земная толща, в пределах которой располагаются карьерное поле и горный отвод;
- открытые горные выработки, отвалы.

Основными вариантами использования геоинформационной модели месторождения является решение следующих задач и выполнения операций:

- построения различных геологических карт и поверхностей, контуров залежей для отдельных видов и сортов руд и пород, изолиний высотных отметок и качественных параметров руды и вскрыши;

- выделения из модели для оценки и корректировки горизонтальных, вертикальных и наклонных слоев и сечений, отдельных геологических и технологических блоков, рудных тел и их частей с последующим восстановлением целостности модели.

Геоинформационные модели месторождения и развития карьера в первую очередь предназначены для решения на ЭВМ следующих задач:

- генерации множества поэтапных, промежуточных и конечных положений карьера в соответствии с системой вскрытия и системой разработки и их параметрами [11];

- интерполяции и экстраполяции высотных отметок и геологических параметров руд и пород вскрыши в пределах выделенных контуров в случае сеточной модели месторождения;

- подсчета площадей и объемов полезного ископаемого и породы, полезных и вредных компонентов дифференцированно по качественным признакам как в целом по месторождению или карьерному полю, так и отдельно между смежными положениями карьера, в слоях, между различными сечениями, а так же в геологических и технологических блоках;

- отображения горно-геологической и технологической информации в виде различных карт, планов, схем, а так же в виде различных графиков и других чертежей.

На основе решений данных задач разрабатываются функции для решения следующих задач:

- производства горно-геометрического анализа карьерного поля;

- установления оптимальных контуров карьера;

- выбора рационального направления развития горных работ;

В зависимости от характера решаемых задач и особенностей карьер и его развитие моделируется и отображается на основе использования объектов: разрезов с последующей их пространственной увязкой, погоризонтных планов, каркасных объемных тел.

Классификация геоинформационных моделей месторождений и карьеров, широко используемых в последние годы, представлена в виде пакетов унифицированного языка моделирования UML на рисунке 5.4

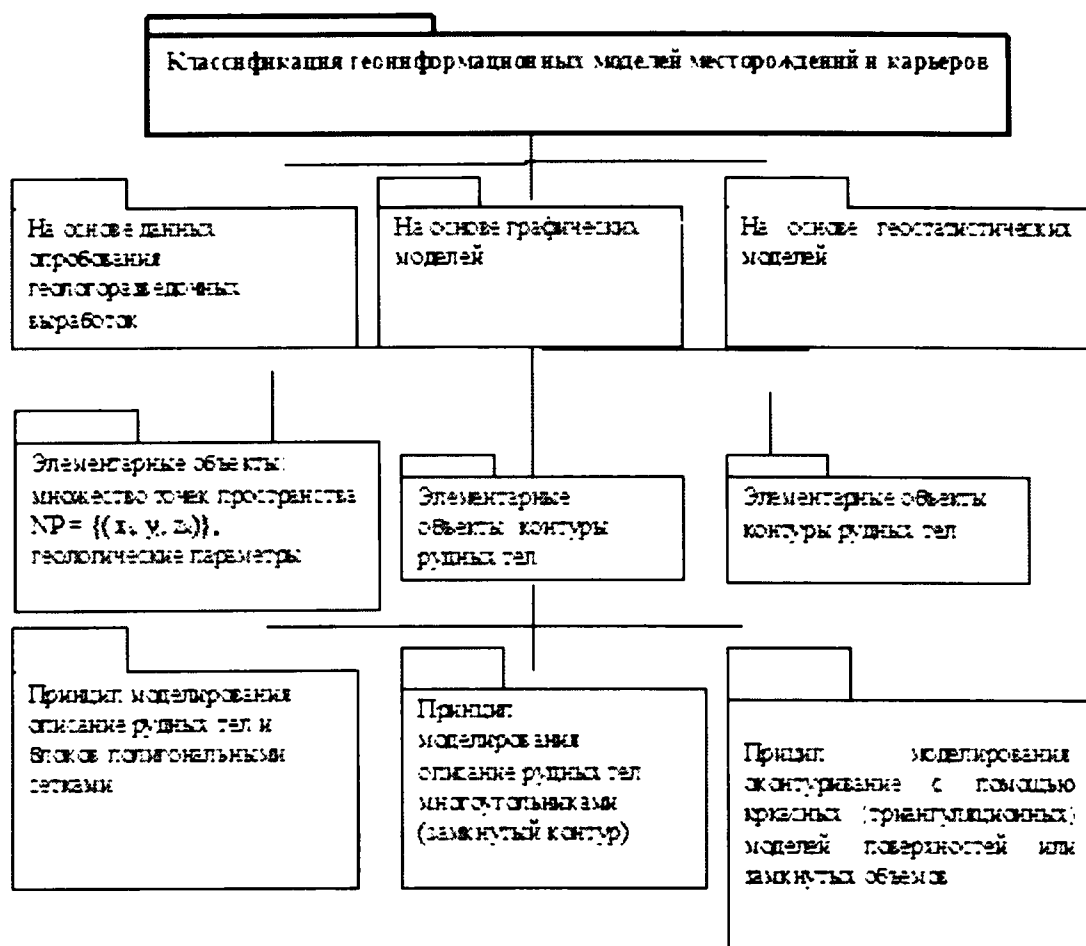


Рисунок 5.4. Классификация и принцип геоинформационных моделей месторождений и карьеров.

Структурная схема с применением трехмерной модели месторождения представлена на рисунке 5.5. Данная схема построена аналогично построению структурных схем исследуемых моделей.

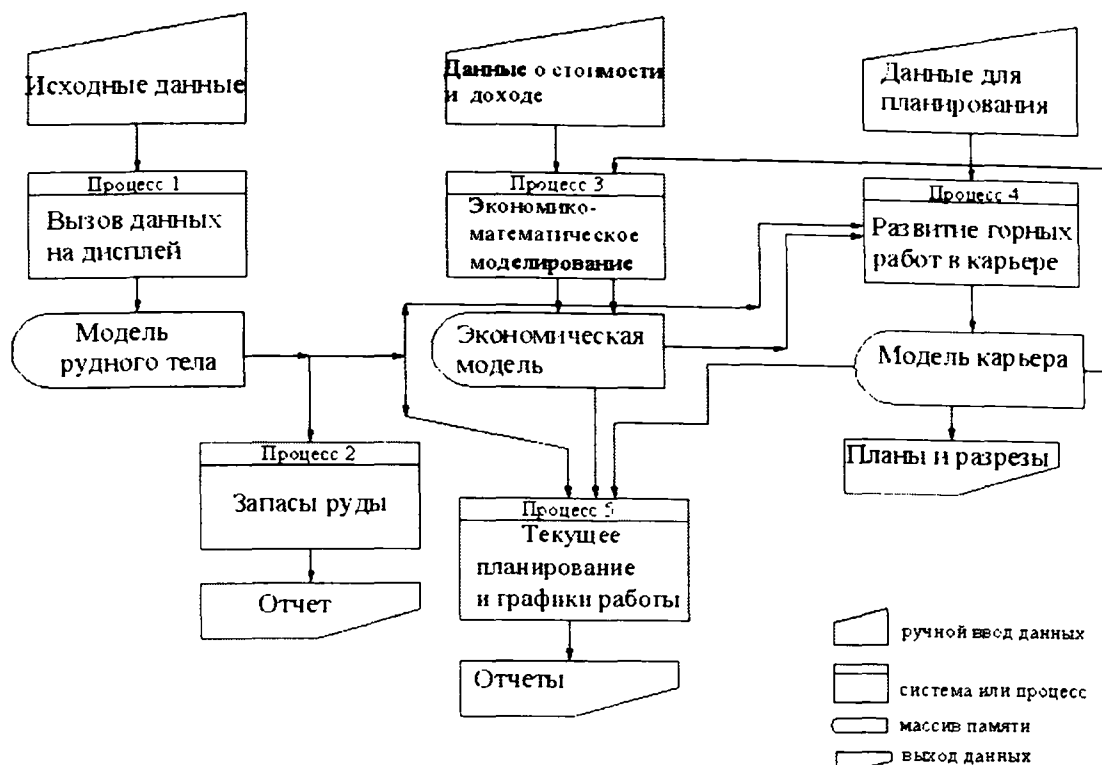


Рисунок 5.5. Структурная схема при проектировании и планировании горных работ с применением трехмерной модели месторождения.

5.2 Исследование структуры и типов моделей

Моделирование пространственной структуры рудного объекта - задача комбинированная. Модели раскрывают весь спектр важнейших решений, которые необходимо рассматривать при разработке такой сложной системы, как карьер.

Моделирование различных пространственных характеристик объекта требует разных подходов, с различными наборами промежуточных моделей и со структурно-разными результирующими моделями. В настоящее время существует древовидная иерархия моделей. Структура в общих чертах следующая:

1. Данные опробования.
2. Модель обработки.
3. Точечная модель опробования.

4. Модель изменчивости.
5. Блочная модель.
6. Твердотельная модель.
7. Модель запасов.
8. Модель проекта отработки.
9. Финальная экономическая модель

Отдельные модели и связки моделей реализованы полностью или имеются частичные решения в работах следующих ученых [10,17,18].

Исходные и предобработанные данные. Считается, что исходные данные располагаются в базе и являются данными опробования в широком смысле. Структура и иерархия исходных данных в большой степени индивидуальна, поэтому исходные данные должны восприниматься только совместно с множеством запросов на генерацию "рабочих выборок" с фильтрацией по горным породам, типам опробования и анализа, телам, участкам.

При автоматизации геолого-маркшейдерского обеспечения открытых горных работ применяется следующая схема геологических моделей. Существующие типы геологических моделей подразделяются на скважинную, картографическую, объемно-каркасную, объемно-блочную.

Геологическая модель месторождения и модель поверхности карьера необходимы для реализации компьютерных технологий. В настоящее время имеется следующая технология формирования моделей, которая представлена в виде схемы на рисунке 5.6.

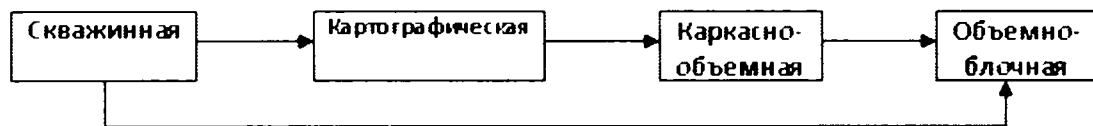


Рисунок 5.6. Схема формирования структуры геологических моделей для подсчета запасов полезных ископаемых.

Функциональные возможности каждой из указанных моделей можно описать следующим образом.

Скважинная модель представляет месторождение совокупностью геологоразведочных выработок (обычно это скважины колонкового бурения), пройденных в соответствии с принятой системой разведки. Под документацией понимается вся установленным образом зафиксированная информация по скважине (ее конструкция, данные инклинометрии, геологического описания и опробования керна, каротажа.). Скважинная модель отражает пространственное распределение первичных задокументированных данных о месторождении.

Построение скважинной модели начинается с позиционирования пространственного положения стволов скважин, для чего необходимы идентификатор (номер) скважины, координаты ее устья, данные инклинометрических замеров (значения азимутального и зенитного углов касательной к оси скважины в точке замера, т.е. на определенном расстоянии от устья скважины).

Суть такого позиционирования – расчет координат точек, в которых выполнены инклинометрические замеры по стволу скважины с использованием алгоритма расчета координат двух соседних точек кривой на основе известного направления касательных к ней в каждой точке и расстояния между ними по стволу скважины [123-124]. Начальной точкой с известными координатами является устье скважины. Таким образом, последовательно рассчитываются координаты всех точек, в которых проведены инклинометрические замеры. Между этими точками кривая трассы ствола скважины описывается гиперболическим сплайном. Пространственное положение ствола скважины может быть представлено в виде проекции на горизонтальную плоскость (плана) или в 3-мерном изображении.

Скважинная модель служит главным образом фактографической основой более сложных моделей месторождения для выполнения ряда процедур, позволяющих установить важные особенности месторождения. Кроме того, на основе этой модели строятся погоризонтные планы в изолиниях содержания компонентов руд.

Картографическая модель отображает геологическое строение месторождения системой параллельных сечений (горизонтальных – планов или вертикальных – разрезов). Понятие "геологический" в данном контексте условное. На разрезах могут быть отражены любые тематические слои (например, блокировка рудных тел по степени разведанности, расчленение руд на технологические сорта и т.п.).

Базовая цифровая картографическая модель месторождения создается по материалам геологоразведочных работ с подсчетом (пересчетом) запасов, путем сканирования оригиналов (геологических разрезов) и последующей их векторизации.

Картографическая модель позволяет "след в след" по традиционной методике выполнить подсчет запасов методом вертикальных (горизонтальных) разрезов. На основе цифровой картографической модели можно редактировать и воспроизводить на бумаге геологическую графику, выполнять компьютерный подсчет запасов методом вертикальных (горизонтальных) сечений. Вместе с тем, будучи дискретной, картографическая модель обладает рядом недостатков. Основные из них – невозможность автоматического построения геологического разреза месторождения по любому заданному сечению и подсчета запасов в любом заданном участке месторождения (например, подсчет запасов в проектном контуре карьера по горизонтальным эксплуатационным слоям). Этих недостатков лишена каркасно-объемная геологическая модель.

Каркасно-объемная модель представляет месторождение набором объемных геологических тел, каждое из которых описывается оболочкой (триангулированной поверхностью тела), натянутой на каркас – систему контуров (границ тела в плоскости разведочного сечения).

Визуализация в объеме (аксонометрии) системы контуров (или геологических разрезов как элементов картографической модели) выполняется методом пересчета координат на основе матрицы геометрической трансформации.

Построение каркасно-объемной модели осуществляется поэтапно между смежными сечениями. Вначале интерактивно

задают линии связки между топологическими узлами контуров. Контуры тела в плоскости сечений и линии связки образуют каркасную модель тела. Затем каждая грань просцируется на плоскость и разбивается на треугольники (триангулируется). Триангуляция поверхностей граней производится автоматически методом Делоне.

Каркасно-объемная модель геологического (в частном случае рудного или сложенного определенным типом руд) тела наиболее полно и достоверно описывает его форму. При этом достигается более высокая, чем при использовании картографической модели, достоверность подсчета объема тела.

Каркасно-объемная модель месторождения обладает одним существенным недостатком – не учитывает особенностей пространственного распределения компонентов, регламентирующих качество полезного ископаемого, не дает возможности оценки их содержания в любой точке залежи по результатам анализа проб.

Объемно-блочная модель. Данная проблема решается созданием блочной геологической модели. Простота, сравнительно легкая программная реализация, высокая оперативность подсчета запасов обусловили широкое применение блочного моделирования месторождений полезных ископаемых. Кроме того, применяемые при блочной модели интерполяционные методы дают возможность оценки степени разведанности месторождения и погрешности подсчета запасов в любой его точке.

К недостаткам блочной модели относится упрощенное отражение строения месторождения, невозможность перехода к графическим моделям, т.е. она необратима и не позволяет получить горно-геологическую графику в традиционной форме, трудность корректировки при появлении дополнительных данных. Следует также отметить, что формирование блочной модели связано с трудоемкими предварительными расчетами. Эта модель резко увеличивает объем информации, подлежащей хранению и обработке. Поэтому для крупных геологических объектов сложной структуры наиболее приемлемо сочетание

картографического, каркасно-объемного и блочного моделирования.

Суть блочного моделирования заключается в том, что геологически однородные тела, как элементы каркасно-объемной модели месторождения, разбиваются на множество элементарных блоков прямоугольной формы по равномерной сетке с осями X (запад-восток), Y (север-юг) и Z (снизу-вверх). Высоту элементарного блока для месторождений, отрабатываемых открытым способом, берут равной высоте уступа, форма блока в плоскости XY принимается квадратной, а размер стороны квадрата равной или близкой высоте уступа.

Формирование выборки для каждого элементарного блока производится методом скользящего окна, которое представляет собой трехосный эллипсоид вращения. Он описывается длинами 3-х его осей (радиусами окна), азимутом и углом наклона одной из них. Оси имеют разную длину и перпендикулярны между собой. Параметры осей и их наклон задаются так, чтобы направление самой длинной из осей совпало с направлением минимальной изменчивости месторождения.

Как правило, изменчивость месторождения изучается методами геостатистики. При этом строят вариограммы, на основе анализа которых определяются направления максимальной и минимальной изменчивости месторождения.

Модель поверхности карьера. Под поверхностью карьера понимается совокупность уступов, имеющих верхнюю и нижнюю бровки, верхнюю берму и поверхность откоса или взорванной горной массы. Вся поверхность карьера можно описать характерными точками, линиями верхней и нижней бровок, а в промежутках между точечно-линейными объектами сетью непересекающихся треугольников, построенной с помощью алгоритма Делоне (рисунок 5.7). Модель поверхности карьера (маркшейдерская модель) является динамической, отражая состояние горных работ и изменение в ситуационном плане карьера на каждую дату маркшейдерской съемки.

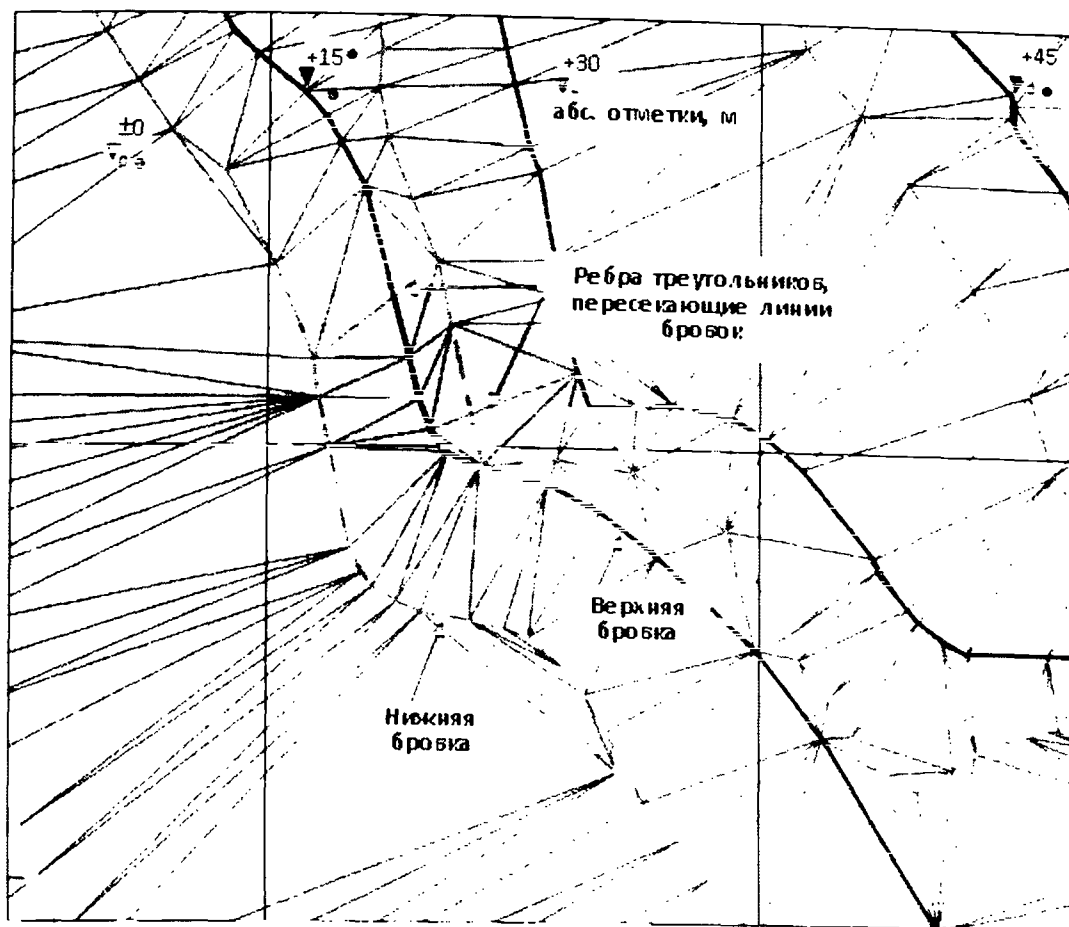


Рисунок 5.7. Фрагмент модели поверхности карьера, триангулированной с помощью алгоритма Делоне

Делоне Борис Николаевич (1890-1980 гг.) - российский математик, член-корреспондент АН СССР (1929г.). Труды по геометрии, теории чисел, математической кристаллографии. Триангуляция Делоне – это разбиение нерегулярного множества опорных точек на такую сеть треугольников, которая отвечала бы сформулированной еще в 30-е годы теореме Делонс о пустом шаре.

Рассмотрим теоретическую часть алгоритма Делоне. Первоначально необходимо разбить множество точек, по которым проводятся изолинии, на сетку – прямоугольную или треугольную. Затем выполняется проведение изолиний.

1 Триангуляционная сетка и автоматизация ее построения

1.1 Общие положения

Триангуляционная сетка есть совокупность непересекающихся треугольников, образующих замкнутый контур. В вершинах треугольников (узлах) могут быть заданы значения каких-либо величин или параметров.

Применение триангуляционной сетки весьма широкое. Она используется и в компьютерной графике, и в сетях связи, и в горном деле (геодезии и маркшейдерии). Назначение же сетки практически во всех областях одно и то же – построение цифровых моделей поверхностей.

1.2 Математическая модель.

Триангуляционная сетка задается координатами точек – узлов сетки. Для построения по этим точкам триангуляции необходимо разбить все множество точек на непересекающиеся треугольники в соответствии с каким-либо дополнительным условием.

Существует множество способов построения триангуляции. Одним из условий является условие построения сетки с треугольниками наиболее правильной формы. Одним из способов построения такой триангуляции является триангуляция Делоне.

1.3 Триангуляция Делоне.

Триангуляция Делоне является одним из самых популярных в последнее время способов построения триангуляционной сетки. Она применяется во многих ГИС - системах для построения моделей рельефа.

Создание каркасных моделей месторождения

На основании изучения имеющихся моделей, целесообразно применение каркасной и блочной модели при выполнении геоинформационного моделирования.

Создание каркасных моделей месторождения включает оконтуривание рудных тел и зон минерализации. Каркасно-объемная модель представляет месторождение набором объемных геологических тел, каждое из которых описывается

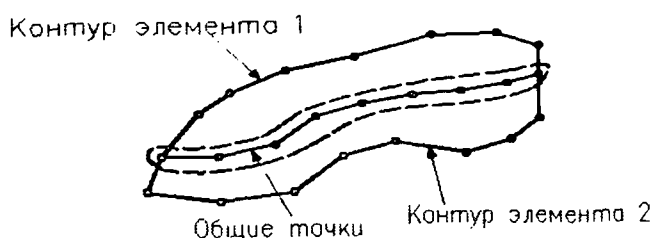
оболочкой, натянутой на каркас систему контуров. Контурами являются границы тела в плоскости разведочного сечения.

При этой модели достигается достоверный подсчет объема рудного тела.

Каркасные модели могут быть слоевыми и поверхностными. Слойная каркасная модель применима к геологическим телам не пластообразной формы залегания. Полилинии соединяют точки контуров на соседних разрезах по замкнутому контуру. Каркасная модель позволяет создавать модели поверхности любой степени сложности. Она строится в два этапа: сначала формируется модель, на границе которой тело имеет нулевую мощность, затем эти границы автоматически уточняются, исходя из кондиционной мощности.

Созданию каркасных моделей месторождения может предшествовать формирование скважинной и картографической модели.

На рисунке 5.8 представлена модель ввода контуров различных элементов по данным опробования.



Контакты разновидностей руд и пород

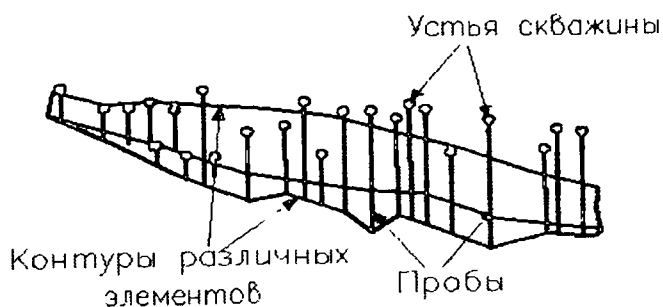


Рисунок 5.8. Изображение контуров руды и породы.

Скважинная модель-это геологоразведочные выработки. Это вся документация, где имеется информация по скважине (ее конструкция, данные инклинометрии, геологическое описание).

Блочное моделирование месторождений

Следующим этапом создания модели является блочное моделирование.

Блочная модель позволяет с высокой степенью достоверности оценить геологические запасы, провести быстрый расчет необходимых показателей.

Формирование блочной модели возможно при наличии каркасной модели.

Схема компьютерной системы моделирования месторождений предусматривает получение геолого-экономической оценки рудных объектов и модели рудных объектов путем построения блочных моделей.

На рисунке 5.9 представлен прототип блочной модели.

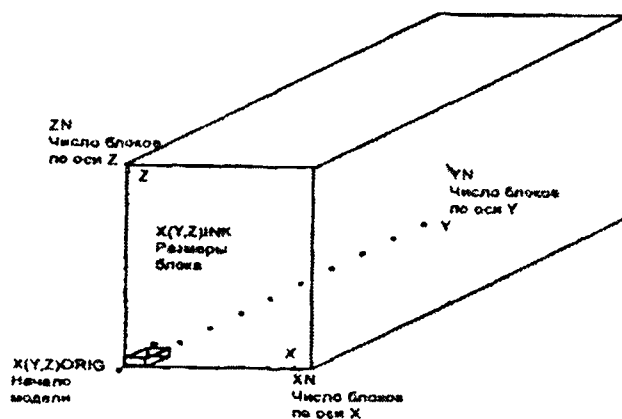


Рисунок 5.9. Прототип блочной модели

Целью блочного моделирования является точное представление качества, запасов месторождения, его границ и внутренней структуры. Эта цель достигается применением различных методов интерполяции для создания модели [17,19]. Любой тип модели описывает регион в трехмерном пространстве. Модель обычно представляет собой совокупность

зон рудных тел, подсчетных блоков, которые рассматриваются и интерполируются отдельно. Простейший тип трехмерной модели месторождения – это прямоугольная пространственная решетка, где каждая ячейка имеет одинаковую ориентацию и содержит единственную характеристику для каждой переменной. Это наиболее общий тип модели, используемый в большинстве горных систем, потому что его структура наиболее удобна в компьютерных расчетах. Горизонтальный слой пространственной решетки изображен ниже.

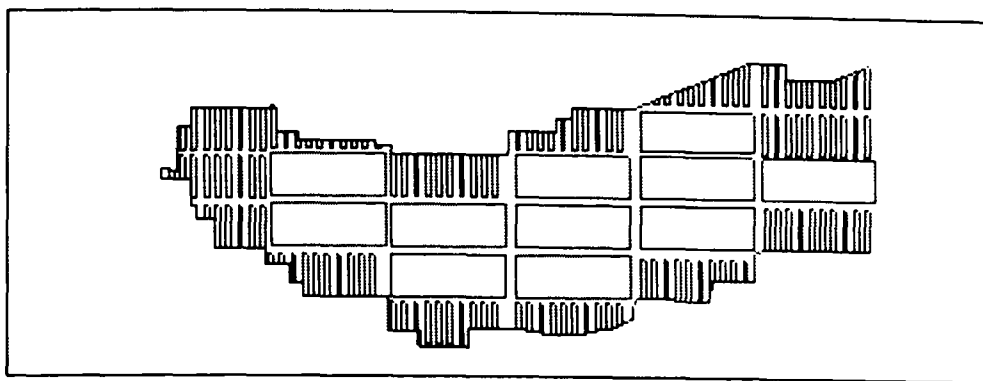


Рисунок 5.10. Слой блочной модели в системе Датамайн

Компьютерное решение задач в исследуемом массиве выполнимо в системах Датамайн, Micromine, а также предлагает австралийская компания Сноуден в программе VISOR. Процесс интерполяции содержаний в Micromine осуществляется одновременно с созданием блочной модели. Необходимо, чтобы интерполяция содержаний проходила в пустую блочную модель, которую необходимо перед этим создать. Далее необходимо выбрать размер элементарного блока. Он выбирается в зависимости от:

- густоты буровой сети;
- изменчивости содержаний;
- точности расчетов;
- размера конечной модели.

Размер элементарного блока должен быть равен или меньше расстояния между скважинами буровой сети. После выбора размера элементарного блока и параметров блоковой

модели, необходимо создать пустую блоковую модель, используя функцию Моделирование/3D Оценка блока/ Метод обратных расстояний (IDW). После того, как расставлены метки для всех возможных доменов, зон, рудных тел, оставшиеся пустые блоки должны быть удалены (Файл/ Фильтр/ Выборка в файл). В созданной модели не должно быть слишком много блоков Их количество должно быть в пределах от нескольких сотен до первых тысяч. Также блочная модель создается одновременно с интерполяцией содержаний. Созданная блочная модель должна быть проверена на предмет выявления потенциальных ошибок. Блочная модель позволяет с высокой степенью достоверности оценить геологические запасы, провести быстрый расчет необходимых показателей.

На рисунке 5.11 приводится конструктивная схема способов создания блочных моделей.

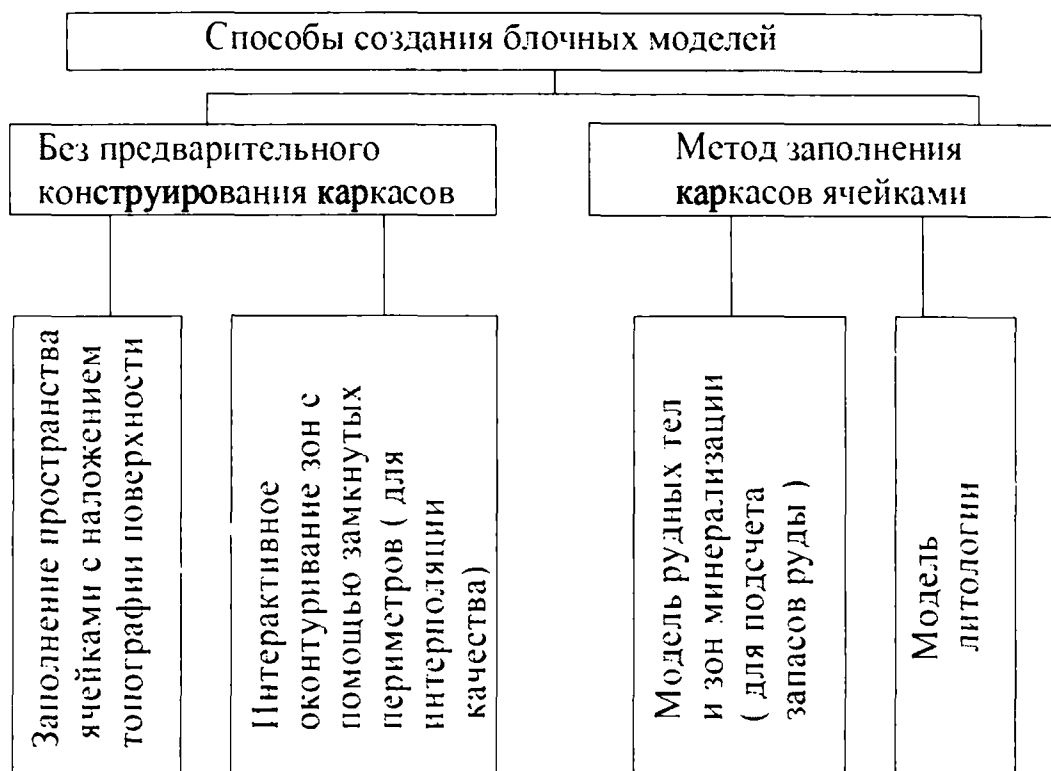


Рисунок 5.11. Способы создания блочных моделей

Рассмотренные приемы по формированию моделей применяются для решения задач обоснования рациональных технологических параметров развития горных работ в карьере, влияющие на эффективность отработки месторождений.

Трехмерное блочное моделирование и геостатистический метод подсчета запасов очень важны на различных этапах освоения месторождения. Под созданием геометрической модели карьера необходимо рассматривать форму и пространственное положение месторождения. Обычно модель месторождения состоит из моделей нескольких геологических тел, разделенных естественными (например, свита пластов или несколько зон минерализации) или условными (например, балансовые и забалансовые руды единой зоны минерализации) границами. В зависимости от ситуации эти объекты могут быть включены в одну модель или в разные. Если геологические тела удобно моделировать на одной системе разрезов (сечений), то они могут быть представлены как элементы одной модели объекта. Если это удаленные друг от друга тела или их сечения представлены разными системами разрезов, то они моделируются разными объектами.

Достоверность подсчета объема рудного тела достигается при каркасно-объемной модели геологического тела, который наиболее полно и достоверно описывает его форму. Слоевая каркасная модель применима к геологическим телам не пластообразной формы залегания. Полилинии соединяют точки контуров на соседних разрезах по замкнутому контуру. Каркасная модель позволяет создавать модели поверхности любой степени сложности. Она строится в два этапа: сначала формируется модель, на границе которой тело имеет нулевую мощность, затем эти границы автоматически уточняются, исходя из кондиционной мощности. Затем приступают к формированию блочной модели месторождения. Блочная модель месторождения позволяет учитывать особенности пространственного распределения содержания полезного ископаемого.

Фрагмент формирования каркасной и блочной модели представлен на рисунке 5.12.



Рисунок 5.12. Фрагмент каркасной и блочной модели

Модель должна строиться в трехмерном пространстве. Суть блочного моделирования заключается в том, что тела каркасно-объемной модели месторождения разбиваются на множество элементарных блоков прямоугольной формы по равномерной сетке с осями X , Y , Z . Высота элементарного блока равна высоте уступа, форма блока в плоскости XY принимается квадратной, а размер стороны квадрата равной или близкой высоте уступа. Целью блочного моделирования является точное представление качества, запасов месторождения, его границ и внутренней структуры.

Автоматизировать решение данных задач позволяют различные пакеты программ, которые классифицируются как горные системы общего назначения. Эти системы стандартно включают в себя такие разделы, как: геологическое моделирование, оценка запасов, проектирование и планирование горных работ, календарное планирование и маркшейдерия. В мире имеется несколько лидирующих компаний. К ним относятся Gemcom, Maptek, Mintec, Surpac, Datamine, Micromine.

Выполнение моделирования рабочей зоны карьера и блочной модели

Для оптимизации производительности горных предприятий необходимо выполнить моделирование рабочей зоны карьера и блочную модель.

Научные разработки в данной области идут в разных направлениях. Этими работами занимаются проектировщики разных научных институтов стран СНГ.

Например, известны работы Капутина Ю.Е. в области горных технологий и геостатике, работы Дунаева В.А. при моделировании месторождений полезных ископаемых при автоматизации открытых горных работ. Дунаевым В.А. рассмотрены различные типы геологических моделей (скважинная, картографическая, объемно-каркасная и объемно-блочная) и модель поверхности карьера, изложена технология формирования и показаны функциональные возможности каждой из указанных моделей. В исследованиях работы выполняются методом скользящего окна для формирования выборки для каждого элементарного блока. Метод скользящего окна представляет собой трехосный эллипсоид вращения. Он описывается длинами 3-х его осей (радиусами окна), азимутом и углом наклона одной из них. Оси имеют разную длину и перпендикулярны между собой. Параметры осей и их наклон задаются так, чтобы направление самой длинной из осей совпало с направлением минимальной изменчивости месторождения.

Большой объем исследований ведется в лаборатории проектирования освоения недр отдела геотехнологии, горной систематологии и недропользования РГП «НЦ КПМС РК» под руководством д.т.н., профессора Д.Г.Букейханова. Наиболее существенное влияние на распределение объемов горных работ в карьере оказывает направление развития горных работ. В качестве базовой модели разработан метод установления рационального направления горных работ в карьере на объемном графе с циклами, особенностью которого является то, что он учитывает не только углубку карьера, но и развитие горных работ на горизонте. Математическое моделирование развития рабочей зоны карьера заключается в воспроизведении и оценке множества промежуточных положений карьера в карьерном пространстве от поверхности до конечной глубины и всевозможных путей их перехода из одного положения в другое.

При решении данных задач формируется граф многовариантности развития рабочей зоны. Работы в данном направлении ведутся в решении метода плавающего конуса для блочных моделей.

Данный метод описан в работе [11].

Метод Лерча – Гроссмана

Метод Лерча – Гроссмана – метод определения оптимальных карьеров,

основан на использовании теории графов и таких понятий теории графов, как: ориентированный граф, вершины и ребра графов, деревья, закрытия и максимальное закрытие на графах. Метод Лерча – Гроссмана – метод, решающий основные проблемы метода плавающего конуса.

Метод последовательно сканирует все блоки, отыскивая рудные блоки. Но в данной матрице имеются дуги, указывающие на нерудные блоки. Когда обнаруживается подобная ситуация, то необходимо что-то предпринять, так как желательно добыть рудный блок без отработки лишних вышележащих породных блоков. Способ, с помощью которого находится выход из подобных ситуаций, т.е. решается данная задача, составляет ядро метода Лерча - Гроссмана.

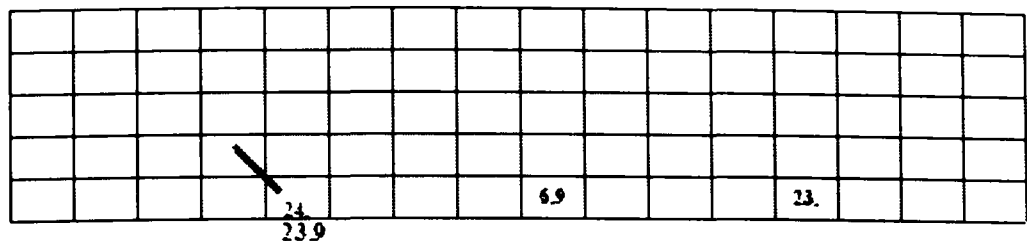
Следующие рисунки поясняют суть подобного поиска:

Модель представляет собой матрицу длиной 16 и высотой 5 блоков. Значения трех рудных блоков показаны на рисунке. Все другие блоки содержат только пустую породу и имеют стоимость -1, но для удобства оформления на рисунке это не показывается.

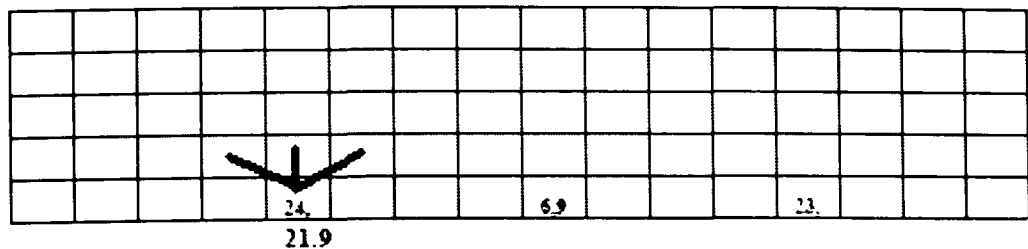
				24.			69			23.					

Рисунок 5.13. Начальное состояние модели

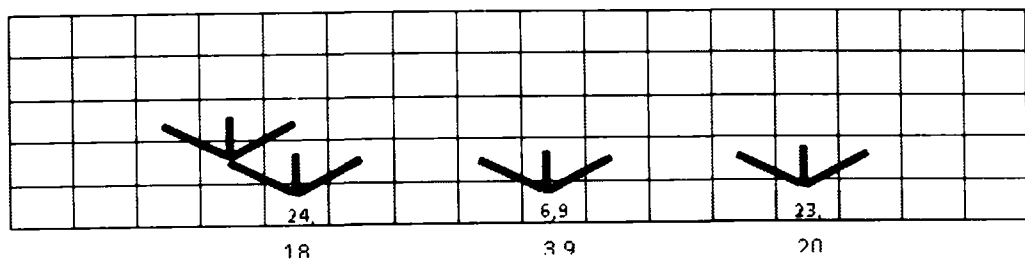
Первая дуга от исходного блока, которую мы находим, направлена к верхнему левому блоку. Стоимость полученного звена из двух блоков составляет 23.9.



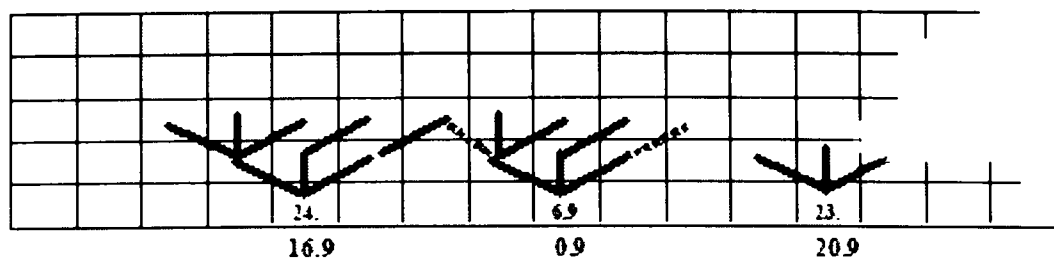
Аналогично поступаем с двумя дугами, исходящими из данного блока. Стоимость звена из четырех блоков составляет 21.9.



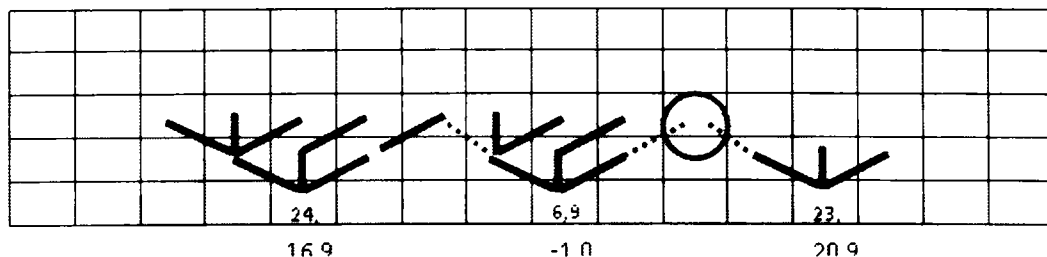
Продолжаем таким же образом вдоль второго снизу слоя, а затем вдоль следующего. Помечаются и блоки с пустой породой, если они принадлежат положительной ветви.



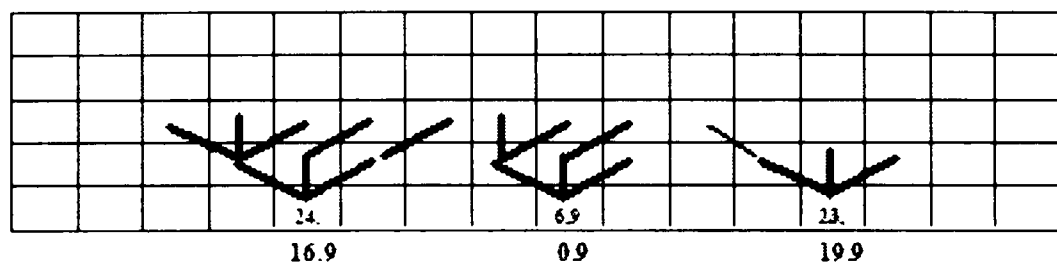
Если на один и тот же блок выходят две дуги, то оставляется только одна дуга.



В случае, когда стоимость блока становится отрицательной, ищется возможность передать стоимость отрицательной дуги другой ветви.



В данном случае происходит передача стоимости общего блока от средней ветви к правой.



Таким образом, продолжается процесс постройки ветвей до самой дневной поверхности.

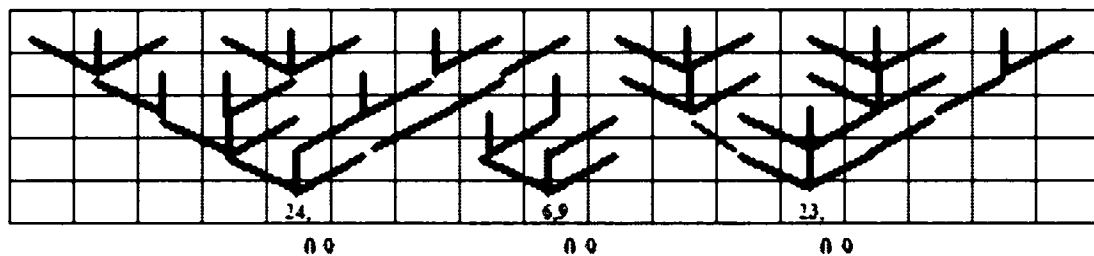


Рисунок 5.14. Конечное состояние модели

Математическая постановка метода реализована в работе.

В методе Лерча – Гроссмана используются два особенных графа:

1) "Наклонный граф". Это ориентированный граф, вершины которого представляют блоки руды и породы в модели. Ориентированные дуги этого графа указывают вверх на другие вершины (блоки), которые должны быть добыты прежде, чтобы сохранить приемлемые углы наклона бортов карьера (в наших определениях – для построения «трафарета»). Этот граф не изменяется в ходе алгоритма. Цель алгоритма состоит в нахождении максимального закрытия этого графа.

2) "Дерево графа". Дерево графа изменяется в ходе работы алгоритма. Это всегда корневое дерево. Ребра дерева – всегда ребра наклонного графа (в одном направлении или в другом).

Кроме вершин, представляющих блоки модели месторождения, в граф вводится дополнительная вершина называемая "фиктивным корнем". Она принята с условием, чтобы быть ниже остальной части модели и иметь отрицательную ценность. Введем дополнительно несколько терминов, используемых в описании метода.

"Поддержка". Каждое ребро дерева графа поддерживает массу. Масса, поддерживаемая ребром – сумма масс вершин на ветви, опирающихся на ребро в противоположной от корня стороне.

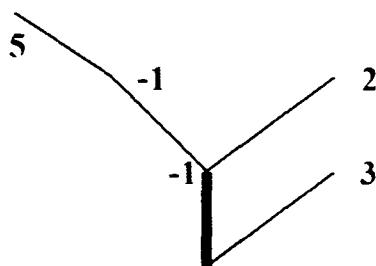


Рисунок 5.15. Дерево графа

На этом рисунке синес (толстая линия) ребро поддерживает массу $5+2-1-1=5$. Иногда удобнее обращаться к массе, поддержанной вершиной, чем ребром. Очевидно, это означает сумму масс всех вершин на ветви.

Р (плюс) ребра и М (минус) ребра. Плюс ребро графа дерева - такое что, направлено от корня и имеет то же самое направление, как и в наклонном графе.

Сильные и слабые ребра. Сильное ребро – это любое Р ребро, которое поддерживает положительную массу. М ребро сильно, если оно поддерживает массу ноль или отрицательную. Все другие ребра - слабые. Ветвь, поддержанная слабым ребром, называется слабой ветвью и т.д.

4) Нормализованное дерево. Дерево нормализовано, если все сильные ребра начинаются в фиктивном корне. Другими словами, только фиктивные грани могут быть сильными, все остальные слабы. Чтобы "нормализовать" дерево, необходимо заменить все сильные не фиктивные ребра, удаляя их и соединяя разъединенную ветвь фиктивным ребром.

5) Сильные вершины. Вершина сильна, если есть, по крайней мере, одно сильное ребро между ним и корнем.

Алгоритм, приведенный в работе состоит из трех основных шагов, четвертый шаг - просто выход из процесса.

Шаг 0 – настройка.

Инициализация графа дерева состоит из построения ребер от каждого блока до фиктивного корня. Это - очевидно нормализованный граф.

Шаг 1 – обнаружение такой пары вершин (а, b) направленного ребра (дуги) в наклонном графе, что а является сильной вершиной, а b - нет? Если такой пары нет - перейти к шагу 4 и Конец.

Шаг 2 – корректировка графа после нахождения пары.

Пара, найденная в шаге 1, добавляется к графу дерева. На мгновение, граф дерева прекратил быть деревом, поскольку мы имеем структуру с двумя входами в лист дерева. Чтобы исправлять эту ситуацию, фиктивное ребро, поддерживающее (прежнюю) сильную ветвь удаляется.

Шаг 3 – нормализация.

Необходимо снова нормализовать графа, чтобы перейти к шагу 1. Мы уже знаем, как нормализовать граф, Однако, только небольшая часть полного графа должна быть проверена. Так как граф был нормализован перед шагом 1, мы только должны

проверить новую ветвь, которую мы создали, от листьев назад к корню. Внешняя часть этой ветви будет теперь иметь различный смысл направления по отношению к корню, и все вершины на этой ветви, вероятно, изменят их поддерживающую массу.

Шаг 4 – Окончание.

Набор сильных вершин - набор, который поддержан сильными фиктивными ребрами. Окончание работы.

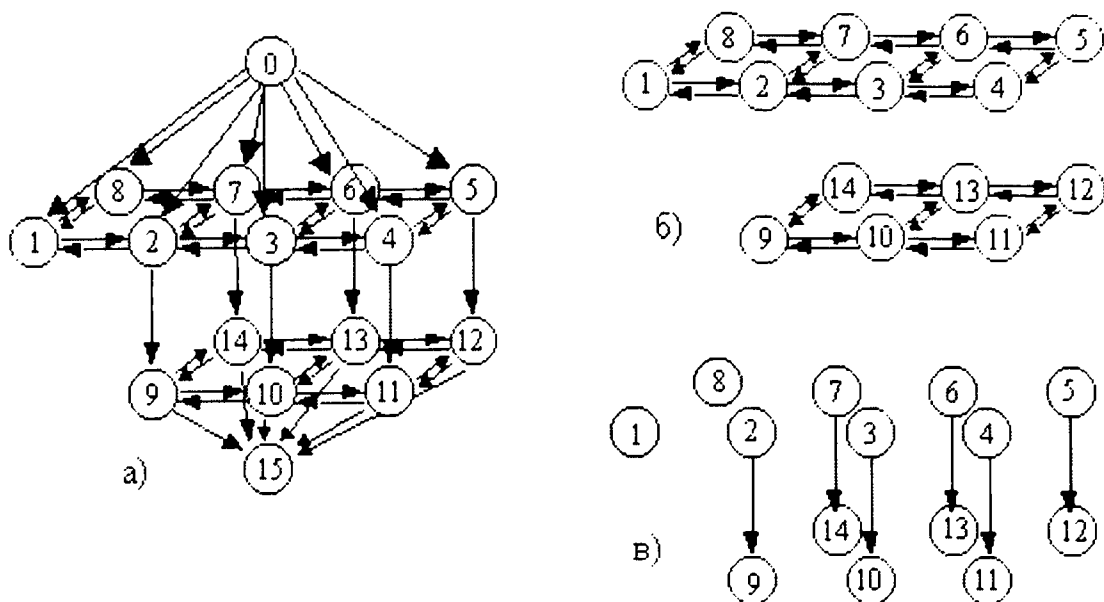
В процессе работы по данному алгоритму обосновывается оптимальный контур карьера, ведется поиск рациональных параметров. Основной принцип при работе данного алгоритма - поиск закрытия дерева, который заключается в изменении нормализованного дерева путем добавления слабых узлов выше сильных.

Для обоснования области и выбора рациональных вариантов направления развития горных работ в карьерном пространстве в работе [11] использована подсистема «Направление развития горных работ».

Структура подсистемы состоит из блока управления и программно-функциональных комплексов выбора системы разработки, горно-геометрического анализа карьерного поля, анализа и оформления результатов расчетов.

Горно-геометрический анализ карьерного поля предусматривает построение конечного множества промежуточных положений горных работ S_i ($i=1,2,...,n$), начиная с первого горизонта от дневной поверхности до конечной глубины карьера H , количество которых определяемых формой и параметрами рабочей зоны. Построение промежуточных положений горных работ осуществляется в соответствии с рассматриваемой системой разработки [5]. Построенные положения фиксируются, определяются контуры их пересечений и подсчитываются в них объемы руд и пород с учетом их качественных характеристик, построения возможных путей развития рабочей зоны из одного i -го положения в другие j -ые положения и оценкой этого развития по комплексному показателю. На основе построения промежуточных положений рабочей зоны и полученных показателей формируется

трехмерный граф многовариантности развития горных работ в карьере $G(EG)=G(EH)$ (рисунок 5.16).

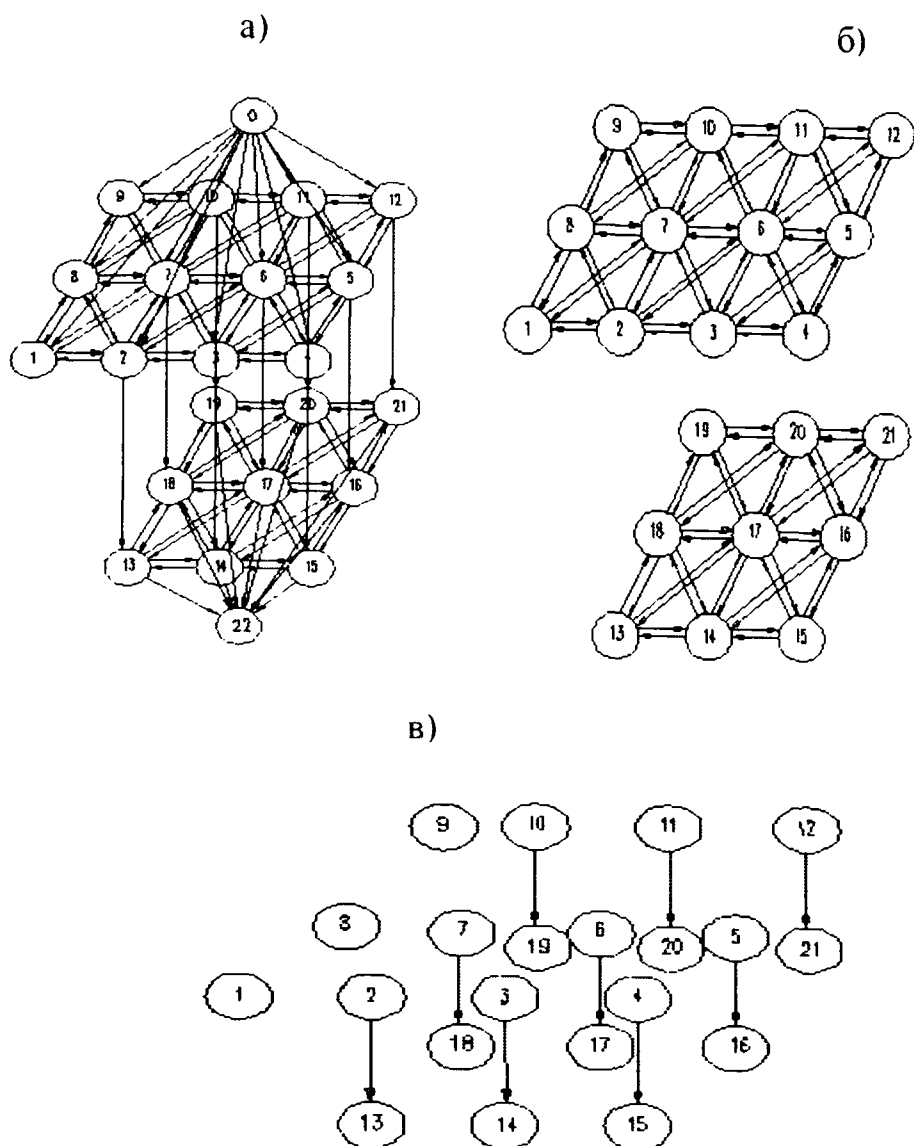


а) Граф $G(EG)$, б) сильно связанный подграф (G_h), в) частичный подграф (G_m)

Рисунок 5.16. Граф многовариантности развития горных работ

Каждой дуге (x_i, x_j) графа G ставится в соответствие число l_{ij} (длина дуги), выражающая разность состояния системы S в инцидентных вершинах, а каждая вершина графа – событие [25].

Данный граф многовариантности развития горных работ был модифицирован, при этом дополнительно было введено четыре направления развития горных работ на горизонте для эффективного ведения горных работ, что обеспечивало улучшение надежности работы системы.



а) Граф G (ЕГ), б) сильно связанный подграф (G_h), в) частичный подграф (G_m)

Рисунок 5.17. Модифицированный граф многовариантности развития горных работ

«Задача установления рационального направления развития горных работ сводится, во-первых, к оценке каждого i -го промежуточного положения горных работ; во-вторых, к формированию графа многовариантности направлений развития рабочей зоны и, в-третьих, к отысканию на нем оптимальной

траектории движения рабочей зоны из начального положения (миноранты) в конечное (мажоранту)».

Теоретическая часть сохраняет первоначальные математические положения. Граф $(\exists! X_i, \in E) \Gamma - I \{x_i, \} - 0$ или $(\forall x_i,)(x_i, \in E) \Rightarrow (x_i \leq x_j) = (EI)$ является объемным графом порядка «n», $|E| = n$. Его элемент $x_i \in E$ представляет собой вершины графа, а каждая пара (x_i, x_j) ($x_i \neq x_j$) $x_j \in \Gamma x_i$ – дуги графа. Среди дуг $G(E\Gamma)$ имеются дуги, представленные петлями $(\forall x_i \in E) x_i, x_i \notin I (\forall x_j \in E) x_j, x_j \in I$.

Исходный граф $G(E\Gamma)$ состоит из асимметричного частичного графа G_m , т.е. каждая пара смежных вершин соединена лишь в одном направлении.

Индексы вершин $x_i, \in E$ исходного графа G и сильно связанных подграфов G_h упорядочены по возрастанию.

Исходный граф G имеет одну миноранту, т. к. $(\exists! X_i, \in E) \Gamma - I \{x_i, \} - 0$ или $(\forall x_i,)(x_i, \in E) \Rightarrow (x_i \leq x_j)$, а также одну мажоранту, т. к. $(\exists! X_i, \in E) \Gamma - I \{x_i, \} - 0$ или $(\forall x_i,)(x_i, \in E) \Rightarrow (x_i \geq x_j)$.

В связи с тем, что частичный граф G_m можно представить в виде мультиграфа, соединяющего вершины (x_i) и (x_n) , то существует хотя бы один элементарный путь μ из (x_i) в (x_n) , т.е. $(\exists p \in I_m) x_j \in \Gamma p x_i$, а также транзитное замыкание.

Таким образом, граф $G(E\Gamma)$ является транзитивным графом. Для установления рационального направления развития горных работ на графе $G=(E\Gamma)=(EI)$ требуется найти минимальный (максимальный) элементарный путь, соединяющий начальную и конечную вершины.

$$L = \sum_{(ij) \in I\Delta} l_{ij} \rightarrow \min \quad \text{или} \quad L = \sum_{(ij) \in I\Delta} l_{ij} \rightarrow \max$$

Оптимальная длина участка пути, соединяющая начальную вершину x_1 с вершинами x_v и x_n ($x_p \in A_{n-1}$, $x_n \in A_n$), лежащих на оптимальном пути находится по формуле:

$$l_{or}^* = \min \left\{ l_{or}^* + l_{vr}, \min_{i \in I_{(r-10)}, i \neq r} \left[l_{oi}^* + l_{i,j} + \sum_{i_1=j}^{r-1} l_{i_1(i+1)}, l_{oi}^* + l_{ij} + \sum_{i_1=j}^{r+1} l_{i_1(i-1)} \right] \right\} \quad (5.1)$$

где

$$l_{I,II}^1 = l_{Iv}^* + l_{Iv}, (x_v, x_{II}) \in I_m$$

Оптимизация направления развития горных работ производится по программно-функциональному комплексу. При этом после установления оптимального направления развития горных работ отыскиваются оптимальные варианты. В результате формируется область рациональных решений и конкретное число вариантов.

Выходная информация состоит из:

- системы последовательных положений карьера в карьерном пространстве (дна карьера или подготавливающей выработки на каждом уступе или по этапам и контура на поверхности и (или) на конечных бортах) с нанесенными бровками;
- графика динамики запасов руды и объемов вскрыши;
- отображения траектории рабочей зоны на графе G;
- погоризонтных планов и разрезов с контурами рудных тел с указанием их категории, типа и сорта и последовательными положениями рабочей зоны от поверхности до конечной глубины.

5.3 Расчет объемов карьерного пространства

Формы представления данных в геоинформационных моделях весьма разнообразны. Однако к настоящему времени сложился некоторый стереотип их представления в виде реляционной (табличной) модели данных. Кортежами в модели являются отдельные узловые точки, описывающие объект. Число их зависит от требуемой точности представления модели (аппроксимация линейных контуров при описании уступов

борта, съездов, трасс коммуникаций и плотность трехмерных сетей при описании поверхностей рельефа, контактов горной массы и т.д.).

Атрибуты модели – это характеристики отдельной точки, то есть ее трехмерные координаты и совокупность качественных признаков, выраженных в виде идентификаторов.

На основе базовой реляционной модели данных производится моделирование на различных уровнях их представления для пользователя.

Приведенный уровневый принцип представления данных позволяет создать технологические схемы использования геoinформационных моделей для решения горно-геологических и горно-технических задач. В качестве характерного примера рассмотрена задача подсчета объемов карьерного пространства.

Карьерное пространство представляет собой геометрически сложный объект, который условно можно разделить на две зоны по глубине. Верхняя зона карьерного пространства – это группа горизонтов, не выдержанных по высоте уступа (выклинивающиеся уступы или пересекающиеся с рельефом местности). Нижняя зона – группа уступов, выдержанных по высоте. Граница между зонами – граница карьера по замкнутому контуру. Геoinформационная модель базового уровня для данного объекта представлена массивами точек (X, Y, Z, k) для каждой из бровок каждого горизонта.

Методика подсчета объема карьерного пространства (V) включает подсчет объемов по каждой зоне отдельно с последующим их суммированием:

$$V = V_{hb} + V_{hh} \quad (5.2)$$

Горизонты, выдержанные по высоте зоны, описываются двумя массивами точек (X, Y, Z) для контуров по верхней и нижней бровке уступа (K^B и K^H):

$$K^B = P_i^b \{x_i^b, y_i^b, z_i^b\}, \quad (5.3)$$

$$K^H = P_i^h \{x_i^h, y_i^h, z_i^h\}. \quad (5.4)$$

5.4 Методика ведения горных работ, влияющая на эффективность отработки рабочей зоны карьера

Для эффективности ведения горных работ в рабочей зоне применяется следующий принцип.

Каждый блок принадлежит определенной рабочей зоне.

В разработанной математической модели положение горных работ описывается в пределах одного уступа поблочно. Положение горных работ в блоке характеризуется подвиганием относительно начала блока (для j -го блока i -го уступа положение горных работ в нем обозначаются x_{ij} ; горизонты нумеруются сверху вниз, а блоки на горизонте – слева на право по отношению к направлению развития горных работ).

Геометрически и технологически приемлемая форма борта описывается в виде совокупности соотношений, характеризующих положение горных работ в одном секторе на смежных уступах и в смежных секторах. Первое условие означает, что нижележащий блок (i, j) отстает от вышележащего $(i-1, j)$ на расстояние, которое складывается из минимальной ширины площадки на $(i-1)$ -м уступе и горизонтальной проекции откоса уступа – D_{i-1} [18]. Если параметры оборудования, определяющие ширину площадки, отличаются по геометрически разграниченным зонам, то вводим номер зоны z . Тогда величина D связывается с номером зоны z , к которой относится блок $(i-1, j)$, – D_z . Если разделение на сектора на смежных уступах не совпадает, то для блока j -го блока i -го уступа выделяется множество вышележащих блоков $I_1(i, j)$.

Для пары блоков с номерами (i, j) , $(i-1, l)$, где $l \in I_1(i, j)$, вводится величина d_{ijl} , показывающая опережение начального положения блока $(i-1, l)$ относительно блока (i, j) . Если к началу моделируемого периода горные работы не были начаты, и блоки еще не находились в работе, то в качестве начального положения принимается начало блока. В этом случае возможно отрицательное значение величины d_{ijl} . Допустимое взаиморасположение блоков смежных уступов описывается соотношениями для всех $i > 1, j$,

$$l \in I_1(i, j): \quad X_{ij} \leq X_{i-l} + d_{ijl} - D_{i-l} \quad (5.5)$$

$$X_{ij} \leq X_{i-l} + d_{ijl} - D_z$$

где

$$l \in I_z(I-1, z)$$

где x_{ij} – величина перемещения фронта горных работ;

d_{ijl} – величина, показывающая опережение начального положения блока

$(i-l, l)$ относительно блока (i, j) ;

l_{ij} – величина, показывающая опережение (или отставание) начального положения $(j-1)$ -го блока i -го уступа по отношению к j -му блоку;

$I_1(i, j)$ – множество вышележащих блоков;

D_{i-l} – горизонтальная проекция откоса уступа;

Z – номер зоны, к которой относится блок.

Ограничение по взаимному расположению соседних блоков одного горизонта записывается в виде:

Для всех i и $j > 1$

$$|X_{ij} - (X_{ij-1} + l_{ij})| \leq D_0 \quad (5.6)$$

где D_0 – величина, определяющаяся возможностями транспортного обеспечения работ.

Ограничения (5.5) и (5.6) на форму борта карьера относятся к блокам, в которых ведутся горные работы. Однако их применение можно расширить, допустив фиктивные положения горных работ для блоков, в которых работы еще начаты. Условное подвигание в таких блоках будет совпадать с реальным подвиганием в вышележащих блоках.

На основании соотношений (5.5) и (5.6) для задания условных начальных положений имеем:

$$X_{ij} = \min \{ X_{ij-1} + l_{ij} - D_0, \min_{l \in I_1(i, j)} X_{i-l} + d_{ijl} - D_{i-l} \} \quad (5.7)$$

Графически данную модель ведения горных работ можно представить в виде рисунка 5.18.

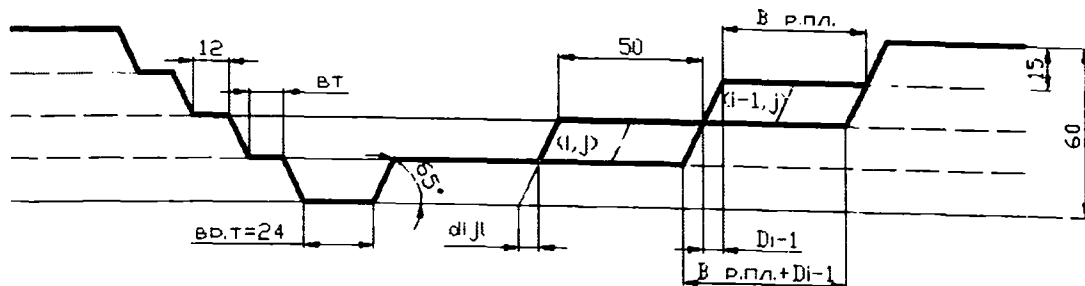


Рисунок 5.18. Ведение горных работ при соразмерном перемещении горных пород.

Данная модель рабочей зоны участка месторождения позволяет рассмотреть различные задачи оптимизации годовых и этапных положений горных работ.

При формировании рабочих площадок отработка ведется послойно в направлении сверху вниз с высотой блока 15м. 1,2,.....6 – порядок отработки блоков.

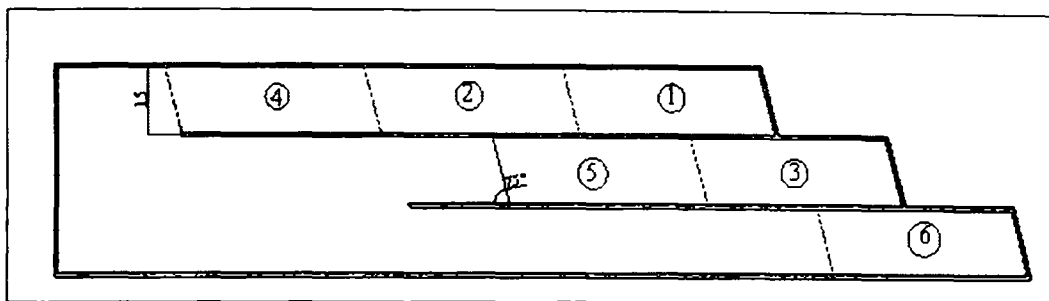


Рисунок 5.19. Порядок ведения горных работ при формировании рабочих площадок

В созданной модели не должно быть слишком много блоков. Их количество должно быть в пределах от нескольких сотен до первых тысяч. Также блочная модель создается одновременно с интерполяцией содержаний.

Блочная модель позволяет с высокой степенью достоверности оценить геологические запасы, провести быстрый расчет необходимых показателей.

Рассмотренные методы применяются для решения задач соразмерного перемещения в рабочей зоне карьера, что обеспечивает непрерывное повышение надежности и экономичности проектирования горнодобывающих предприятий.

На основе анализа литературных источников ниже приведен алгоритм формирования блочной модели.

Алгоритм блочного моделирования.

Необходимо выполнить четыре главные операции:

1. Создание пустой блочной модели.
2. Кодирование блочной модели всеми каркасными моделями (присвоение) с созданием факторов или суб-блоков.
3. Выкопировка блоков в пределах каркасных моделей (если ненужные блоки не удалены автоматически при кодировании).

4. Интерполяция содержаний.

1. Создание пустой блочной модели.

1.1. Выберите метод интерполяции и заполните форму:

1.1.1. Название файла на выходе.

1.1.2. Параметры модели:

Координаты центра левого нижнего блока модели

Количество блоков во всех направлениях

Размер блоков во всех направлениях

Координаты правого верхнего блока рассчитываются автоматически – проверьте размеры модели.

1.1.3. Названия полей координат блочной модели.

Создание пустой блочной модели.

Выберите «Создать пустую MPT?»

Рекомендуется сразу добавить такие поля, как:

Номер интерполяции.

Коды каркасных моделей.

Если используются факторы, то поле для факторов.

Запустите процесс (ОК).

2. Кодировка модели каркасами.

2.1. Закодируйте модель всеми ЦМП (топография, карьер, окисление и пр.).

2.1.1. Для каждой ЦМП должно быть отдельное поле.

2.2. Закодируйте модель всеми закрытыми каркасами.

2.3. Можно кодировать одним каркасом или набором.

2.3.1. Рекомендуется использовать User Value (код, выбранный пользователем)

2.3.2. Если используется набор каркасов, которые пересекаются, а коды записываются в одно и то же поле, то их последовательность в форме будет определять код в таких блоках.

2.3.3. Выберите: Присвоить атрибуты частичным блокам, если используются факторы.

2.3.4. Установите параметры суб-блоков, если необходимо.

2.4. Удалите блоки за пределами каркасов, если необходимо.

3. Выкопировка блоков.

3.1. Выкопировка может делаться при кодировании каркасами, если необходимо.

3.2. Если блоки не выкопированы при кодировании, то установите параметры фильтра для выкопировки нужных блоков в пределах каркасов.

3.3. Запустите процесс выкопировки.

3.3.1. Количество блоков в модели на выходе уменьшится значительно

3.4. Загрузите модель в 3D или Визекс вместе с каркасами и проверьте визуально.

4.1. Интерполяция содержаний – запуск 1.

4.1.2. Уберите галочку из “Создать пустую MPT?”.

4.1.3. Укажите файл с пробами на вводе (композиты).

4.1.3.1. Они должны быть закодированы теми же каркасными моделями, что и блочная модель.

4.1.3.2. Применяйте фильтры для выбора проб в пределах необходимого домена при интерполяции содержаний в этот домен.

4.1.4. Выберите “Использовать блоки из файла?”

4.1.4.1. Укажите название модели.

4.1.4.2. Примените фильтр для необходимого домена.

4.2. Интерполяция содержаний – запуск 1.

4.2.1. Установите “Дискретизацию”

4.2.1.1. При этом будет происходить более точная оценка содержания в блоке, а не только в его центральной точке.

4.2.2. Установите параметры поискового эллипса («Поиск данных»).

4.2.2.1. Обычно параметры эллипса зависят от параметров вариограмм.

4.2.3. Установите параметры вариограмм («Параметры»), если используется кригинг.

4.2.3.1. Может быть использована или одна всенаправленная вариограмма, или три ортогональных вариограмм.

4.2.3.2. Процесс проверит, что вариограммы ортогональны и имеют одинаковые значения порогов и эффектов самородка.

4.3. Интерполяция содержаний – запуск 1.

4.3.1. Рекомендуется в «Добавить поля» указать номер интерполяции в соответствующем поле (1 или радиус поиска).

4.3.2. Рекомендуется записывать количество точек и считать количество скважин (в IDW), участвующих в оценке блоков.

4.3.2.1. Эти параметры могут использоваться для оценки надежности интерполяции, т.е. для категоризации запасов.

4.4. Интерполяция содержаний – последующие запуски.

4.4.1. Укажите на входе название модели, которая была на выходе при предыдущем запуске, на выходе – новый файл.

4.4.2. Измените номер интерполяции в «Добавить поля».

4.4.2.1. Номер интерполяции характеризует надежность оценки содержаний.

Интерполяция содержаний – последующие запуски.

4.4.3. Измените параметры поиска данных (необходимо увеличить радиус).

4.4.3.1. Обычно радиус увеличивается пропорционально параметрам вариограмм. Например, первый запуск – $2/3$

рейнджей, 2-й запуск – рейнджи варнограмм, 3-й – 2 рейджа варнограмм и т.д.

4.4.4. Если интерполируется другой домен, то измените фильтры для модели и проб.

4.4.5. Запустите процесс (OK).

На рисунке 5.20 представлен прототип блочной модели рудного тела.

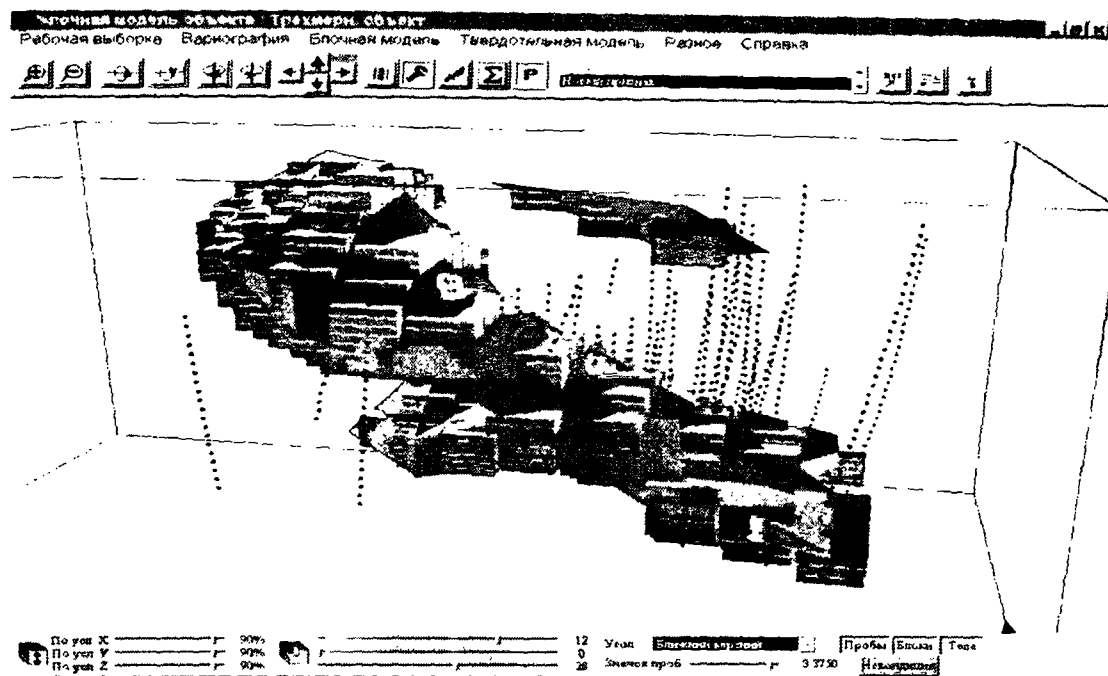


Рисунок 5.20. Прототип блочной модели

5.5 Экономико-математическое моделирование с применением геоинформационных методов

В связи с тем, что в настоящее время большое значение имеет поиск методов для экономичной эксплуатации месторождения, в главе необходимо отразить данные вопросы.

Решение таких задач проекта, как выбор режима и соответствующего ему календарного плана горных работ производится на основе экономической оценки сравнения рассмотренных вариантов. Экономически эффективный режим

и календарный план горных работ должен обеспечивать стабильную добычу требуемого количества полезного ископаемого нужного качества с минимальными затратами и максимальной прибылью. Прибыль, являющаяся обобщенным показателем, определяется разностью стоимости продукции (доходы) и полной суммой эксплуатационных расходов (затраты) по результатам деятельности предприятия в рассматриваемом году. Стоимость реализуемой продукции определяется ее объемом, качеством и ценой на рынке сбыта.

Наряду с этим существенным фактором в оценке экономической эффективности является время вложения затрат и получения прибыли. Поэтому при расчетах экономической эффективности проекта за весь срок существования предприятия необходимо соизмерять экономические результаты во времени, т.е. оценить фактор времени количественно и выразить его в денежной форме [12].

Дисконтирование затрат и доходов. С целью количественного учета фактора времени разновременные затраты и доходы приводятся к одному моменту оценки по сложным процентам. Только при этом условии разновременные затраты и доходы становятся сопоставимыми и могут быть суммированы.

Затраты и доходы, приведенные к одному моменту оценки, называют дисконтированными (от английского "discount" - считать). Для дисконтирования необходимо действительные затраты каждого года умножить на соответствующий коэффициент приведения прошлых или будущих лет (в зависимости от того времени, когда были сделаны затраты). При оптимизации горных предприятий шаг времени обычно принимают равным одному году, т.е. условно считают, что ежегодные затраты осуществляются дискретно в конце года. Для удобства технико-экономического сравнения и более точного расчета целесообразно приводить затраты к моменту сдачи объекта в эксплуатацию. Весь рассматриваемый срок делится на период строительства и эксплуатации. Затраты, произведенные в период строительства, рассматриваются по

отношению к моменту приведения как затраты прошлых лет, а затраты, произведенные в период эксплуатации, - как будущие.

Приведенные затраты или прибыль любого прошлого года по отношению к моменту оценки определяются по формуле:

$$З_{пт} = З_i K_d t = З_i (1+E)t, \quad (5.8)$$

где $З_i$ - действительные (доходы, прибыль), произведенные t лет назад; K_d - коэффициент дисконтирования ($K_d=1+E$); t - отдаленность затрат, т.е. период, отделяющий время вложения затрат от момента их оценки, годы; E - норма дисконта (в долях ед.); в рыночной экономике определяется, исходя из депозитного процента по вкладам с некоторым увеличением за счет инфляции и риска.

$$T = t_n - t_3; \quad (5.9)$$

t_n - момент оценки, т.е. год, к которому приводятся затраты;
 t_3 - год, в котором произведены затраты.

Критерии экономической оценки. При решении оптимизационных проектных и плановых задач горного производства применяют следующие четыре критерия, наименования которых приведены ниже в различных модификациях.

1-й. Чистый дисконтированный доход (ЧДД), интегральный эффект, суммарная дисконтированная прибыль, чистая современная стоимость (NPV).

2-й. Индекс доходности (PI), индекс прибыльности, рентабельность капитальных вложений.

3-й. Внутренняя норма доходности (ВНД), предельно допустимая ставка кредита или нормы дисконта, внутренняя ставка прибыли (IRR).

4-й. Срок окупаемости.

В практике технико-экономических оценок используются различные наименования и различные символьные обозначения для одного и того же критерия. Например, термины "чистый

дисконтированный доход" или "интегральный эффект", носят в зарубежной практике название "чистая современная стоимость" (Net Present Value - NPV). В отечественной практике этот критерий имеет названия "суммарная дисконтированная прибыль", "чистая прибыль".

При экономической оценке и выборе оптимального варианта рекомендуется в одной и той же задаче использовать все четыре указанных критерия, так как основанные на одних и тех же принципах и рассчитанные на основе одних и тех же исходных данных, они не являются альтернативными, но, представляя результаты расчета в разной форме, облегчают принятие более обоснованного решения. Например, чистый дисконтированный доход, являясь основным критерием, не позволяет оценить относительную эффективность капиталовложений, особенно в тех случаях, когда варианты различаются длительностью оцениваемого периода, сроками вложения капитальных затрат и др. Для учета этих факторов необходимо дополнительно использовать индекс доходности.

Показатели внутренней нормы доходности (предельного дисконта) и срока окупаемости необходимы при выборе источника инвестирования, оценки конъюнктуры финансового рынка.

Внутренняя норма доходности равна тому максимальному проценту, под который можно взять кредит с тем, чтобы расплатиться из доходов от реализации проекта в течение установленного срока. Для инвестора она характеризует минимально допустимую отдачу на вложенный капитал.

Чистый дисконтированный доход. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) или интегральный эффект (Эинт) определяется по формуле, которая дает общий подход к решению задачи

$$\text{ЧДД} = \text{Эинт} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (5.10)$$

где R_t - результаты, достигаемые на t -ом шаге расчета; Z_t - затраты (включая капитальные) на том же шаге; T - горизонт расчета, т.е. длительность оцениваемого срока; E - норма дисконта, доли единицы.

Чистый дисконтированный доход определяется как разность между дисконтированными суммами ежегодных положительных и отрицательных значений потока финансовых средств в течение оцениваемого периода, приведенных к настоящему времени.

Если величина ЧДД положительна, проект является эффективным при данной норме дисконта. Чем больше ЧДД, тем эффективнее проект.

Индекс доходности - отношение суммы приведенных эффектов к величине суммы дисконтированных капиталовложений (K), определяется по формуле:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (5.11)$$

где Z_t - затраты без капиталовложений.

Индекс доходности характеризует сравнительную рентабельность инвестиций в оцениваемых вариантах, особенно в тех случаях, когда они различаются по срокам оценки.

Если индекс доходности больше единицы, что имеет место при положительном значении чистого дисконтированного дохода, то инвестиции эффективны, если $\text{ИД} < 1$, то оцениваемый вариант не экономичен.

Внутренняя норма доходности. Официальные методические положения определяют этот критерий как норму дисконта ($E_{\text{вн}}$), при которой чистый дисконтированный доход равен нулю.

Предельную норму дисконта - ВНД практически удобнее находить методом вариантов по обычной формуле подсчета дисконтированной прибыли (ЧДД). Если капиталовложения осуществляются за счет кредита, то значение ВНД указывает на ту максимальную процентную ставку, под которую можно взять кредиты с тем, чтобы иметь возможность расплатиться за него из доходов за время T , принятое в данном расчете.

Для инвестора ВНД представляет то минимальное значение процентной ставки, при которой можно дать безубыточный кредит.

Срок окупаемости – тот минимальный временной интервал, за пределами которого интегральный эффект (доход, прибыль) становится и в дальнейшем положительным.

Экономические основы проекта.

Создание горного предприятия, в том числе карьера, требует больших капитальных вложений, значительного времени для строительства и для освоения производственной мощности. Во время эксплуатации горному предприятию требуются значительные оборотные средства. Эти обстоятельства ставят перед проектировщиками задачу выбора варианта с меньшими капитальными затратами, сроками строительства и эксплуатационными расходами. Кроме этого, при проектировании карьера необходимо учитывать некоторые особенности, присущие открытой разработке месторождения полезного ископаемого. Это — влияние ограничивающих условий открытой разработки месторождения, в первую очередь коэффициента вскрыши; увеличение затрат по мере развития горных работ; усложнение условий, а следовательно и затрат, с глубиной разработки, что существенно увеличивает эксплуатационные расходы.

Проект конкретного карьера отражает не только технические показатели строительства и эксплуатации, но и главные экономические результаты разработок, которые позволяют оценить и сравнить данное предприятие с другими действующими или проектируемыми карьерами по определенным технико-экономическим показателям.

К таким показателям относятся:

- возможная по горным условиям и экономически целесообразная производственная мощность по полезному ископаемому (млн. т в год);
- сроки строительства до пуска первой очереди и до достижения полной проектной производительности (месяцев);
- общие и капитальные удельные затраты (на 1 т годовой добычи) до пуска в эксплуатацию первой очереди карьера и до освоения проектной производительности;

- капитальные дополнительные затраты (по этапам разработок) на освоение района, не входящие непосредственно в смету строительства карьера (дороги, жилой фонд, электростанции, порты, железнодорожные станции, водоводы и т. д.);

- полная себестоимость добываемого полезного ископаемого и эксплуатационные затраты на 1 м³ вскрышных работ;

- производительность труда (в тоннах полезного ископаемого на трудящегося в месяц) применительно к главным этапам горных работ.

Горные предприятия должны быть рентабельны, т.е. обеспечивать превышение доходов за реализованную продукцию над расходами, связанными с добычей и переработкой сырья. Во всех случаях оценкой проектных решений в конечном итоге обычно служит допустимая и расчётная себестоимость полезного ископаемого у потребителя, которая определяет величину прибыли.

В качестве показателя допустимой себестоимости в проектах часто принимается себестоимость добычи данного полезного ископаемого, его отпускная цена или допустимая его себестоимость в данном экономическом районе.

При определении допустимой величины себестоимости на полезное ископаемое C_d (тенге/м³) возможны следующие принципиальные случаи:

1. На месторождении добывается один вид полезного ископаемого определенного качества, которое имеет цену C_i , допустимая себестоимость для таких предприятий обеспечивается при условии получения минимальной прибыли P_{min} .

$$C_d \leq C_i - P_{min}, \quad (\text{тенге/м}^3) \quad (5.12)$$

Вместо отпускной цены C_i в проектных расчетах могут фигурировать другие показатели предельной стоимости продукции. Например, если при создании нового угольного карьера ещё отсутствуют потребители, принимающие на месте уголь по отпускной цене, должны быть соблюдены следующие условия: себестоимость угля не должна превышать стоимость

привозного топлива, или электроэнергия, получаемая при сжигании угля, должна быть конкурентоспособна с электроэнергией, получаемой за счет сжигания природного газа или нефти, либо энергии, получаемой из другого района.

2. Если на месторождении по горным условиям добывается совместно несколько видов или сортов полезных ископаемых, каждый из которых имеет свою цену или предельно допустимую стоимость по другим условиям, то применяем формулу (5.13).

При объемах фактической добычи каждого вида или сорта полезного ископаемого $q_1, q_2, \dots, \text{м}^3(\text{т})$ и соответствующих отпускных ценах или допустимой стоимости этих сортов $\Pi_1, \Pi_2, \dots$, средняя допустимая себестоимость добываемого полезного ископаемого в данном карьере составляет:

$$C_d = \frac{q_1 \Pi_1 + q_2 \Pi_2 + \dots}{q_1 + q_2 + \dots}, \text{ тенге/м}^3 \quad (5.13)$$

Аналогично, если на карьере наряду с добычей основного полезного ископаемого, в составе разрабатываемых вскрышных пород имеется «попутное» полезное ископаемое, которое может быть реализовано по определенной цене, то такая реализация повышает экономическую эффективность открытых горных работ и допустимая величина себестоимости основного полезного ископаемого, вычисленная по приведенной формуле повышается. К таким попутным полезным ископаемым часто относится щебень из крепких вскрышных пород, мел, глина, песок и т.п.

3. На месторождении добывается сырье (например, руды черных и цветных металлов, химическое сырье и т.п.), реализуемое перерабатывающими предприятиями на месте. При этом карьер входит на правах цеха в комбинат, и его экономика подчинена экономике комбината; отпускные цены на сырье обычно не устанавливаются, а экономичность горного производства оценивается по показателям конечного продукта (металл, концентрат и т.п.). В этом случае допустимая себестоимость полезного ископаемого является допустимой величиной составляющей себестоимости конечного продукта.

Установленная величина допустимой себестоимости добычи полезного ископаемого необходима, прежде всего, для определения целесообразности разработки данного месторождения.

Определение капитальных затрат

Размер капитальных затрат на строительство карьера определяется природными, экономическими и географическими факторами.

В наибольшей степени на абсолютную величину капитальных затрат влияют объемы горно-капитальных работ по вскрытию залежи, для их уменьшения разрезные траншеи располагают обычно вблизи выходов залежи под наносы. Объем горно-капитальных работ зависит от условий залегания полезного ископаемого, топографии поверхности, глубины заложения вскрывающих траншей и длины фронта, необходимого для расстановки оборудования при сдаче карьера в эксплуатацию.

Часть объема горно-капитальных работ, необходима для создания фронта добычных работ и вскрытых (на 4—12 месяцев) запасов полезного ископаемого к моменту сдачи карьера в эксплуатацию и зависит от принятой производственной мощности предприятия. Большая часть капитальных вложений в строительство карьера входит в состав расходов сводного сметно-финансового расчета. К ним относятся затраты на проведение капитальных внешних и внутренних траншей, выемку в необходимых объемах покрывающих и вмещающих залежь пород, попутную добычу полезного ископаемого. Кроме этого учитываются затраты на осушение и дренаж месторождения, приобретение основного горного и транспортного оборудования, строительство железных и автомобильных дорог для транспорта вскрышных пород и полезного ископаемого в пределах карьера, строительство отвалов и складов, оборудование контактной сети и т.п.

Затраты на поверхностные здания и сооружения относятся к затратам по строительным объектам. Аналогично затраты на железнодорожные депо, гаражи и другие объекты карьерного

транспорта относятся к затратам по объектам транспортного хозяйства и связи.

Если карьер является составной частью горного или горно-обогатительного комбината, то в каждую главу его расходов входит доля общекombинатских затрат. Распределение их между карьером, дробильно-сортировочной и обогатительной фабриками происходит пропорционально суммам затрат на объекты и распределению персонала общих цехов. Обычно в комбинатах такие «дополнительные» общие затраты составляют от 40 до 70% от непосредственных затрат на карьер. Увеличение объемов горно-капитальных работ и сложности перерабатывающего комплекса обычно ведет к снижению доли дополнительных общих затрат.

Поскольку ввод карьера в эксплуатацию может быть произведен при неполном освоении его производственной мощности, то расчет капитальных затрат производится на момент сдачи карьера в эксплуатацию и на момент полного освоения его проектной мощности. Объемы горно-строительных (по вскрыше) работ после ввода карьера в эксплуатацию, связанные с наращиванием производительности (при условии, что затраты на них относятся на себестоимость добываемой продукции в рамках рентабельности предприятия), могут не включаться в объемы горно-капитальных работ. Действительно произведенные капитальные вложения (за исключением затрат на подготовку кадров и возврата средств за счет разбираемых временных зданий и сооружений и строительного оборудования) закрепляются за карьером в качестве его основных фондов на расчетный год и подлежат амортизации.

Для сравнительной экономической оценки предприятий или вариантов проекта капитальные вложения K делят на годовую проектную мощность карьера по полезному ископаемому P , устанавливая удельные капиталовложения

$$K_y = K / P \quad (\text{тенге/т}) \quad (5.14)$$

Определение эксплуатационных расходов

Полная себестоимость добычи полезного ископаемого складывается из затрат на собственно добычные и вскрышные работы, которые дополняются общескарьерными и общекombинатскими расходами. Ее определение осуществляется двумя способами.

Первый заключается в сборе и статистической обработке данных практики в аналогичных условиях. При этом учитывают, что себестоимость зависит не только от горногеологических условий, но и от способа вскрытия, системы разработки, комплексной механизации и других факторов. Стоимостные показатели изменяются со временем, и их следует усреднять за ряд лет с целью учета случайных изменений и тенденций.

Второй способ заключается в составлении калькуляций на основе предварительных (эскизных) проектов производства горных работ; иногда в одном проекте используют оба способа определения себестоимости.

Калькуляции составляют на конкретный (один или несколько) расчетный год и относят к 1 м^3 или 1 т добычи, вскрыши и некондиционных полезных ископаемых. Расходы рассчитывают по первичным элементам затрат: заработной плате (основной и дополнительной), начислениям на заработную плату, материалам, электроэнергии, тепловой энергии и воде, амортизации основных фондов и другим неучтенным расходам. Затем расходы разделяют на две категории — расходы на вскрышные работы и расходы на добычные работы и по известным объемам вскрышных и добычных работ устанавливают два основных эксплуатационных показателя: затраты на 1 м^3 (т) вскрышных работ C_v и затраты на собственно добычу 1 т (м^3) полезного ископаемого C_i .

При определении полной себестоимости добычи полезного ископаемого учитывают установленный для каждого периода плановый коэффициент вскрыши K_p (коэффициент погашения вскрыши).

Следует отметить, что экономические результаты разработки месторождения взаимно связаны с решениями по

системе разработки, ее элементам, вскрытию рабочих горизонтов, комплексной механизации, организации производства и компоновке генерального плана карьера. На них также влияют и главные параметры карьеров — глубина, размеры в плане, производительность по полезному ископаемому и вскрыше, изменение условий развития рабочей зоны в плане и в глубину. Главные параметры карьера, в свою очередь, существенно влияют на технические решения. Указанные взаимосвязи сложны, что предопределяет неизбежность последовательного приближения к приемлемым экономическим показателям разработки месторождения решениями, принимаемыми по технологии горных работ, главным параметрам карьера и др.

Экономико-математическая модель карьера с применением геоинформационных методов

Экономико-математическое моделирование используется при решении задач планирования на нижних уровнях иерархии горнопромышленных систем. Применяются различные математические методы, основными из которых являются методы линейного и динамического программирования, сетевого планирования, имитационного моделирования и др.

При таком способе моделирования почти не используется пространственная информация. Необходимая информация о размещении объектов учитывается опосредовано через цены, тарифы на перевозки и др. Основные сложности построения информационной базы заключается в большой размерности задач и обеспечении достоверности статистических данных.

В настоящее время большое значение имеет применение современных методов для экономической эксплуатации месторождения. Одним из главных критериев при эксплуатации месторождения является максимальный доход акционеров компании, которые вложили собственные средства в этот проект. Решение таких задач проекта, как выбор режима и соответствующего ему календарного плана горных работ производится на основе экономической оценки и сравнения рассмотренных вариантов развития карьера за весь срок его

существования и выбора оптимального варианта. Постановка вопроса заключается в том, что экономически эффективный режим и календарный план горных работ должны обеспечивать стабильную добычу требуемого количества полезного ископаемого нужного качества с минимальными затратами и максимальной прибылью. Прибыль, являющаяся обобщенным показателем, определяется разностью стоимости продукции (доходы) и полной суммой эксплуатационных расходов (затраты) по результатам деятельности предприятия в рассматриваемом году. Стоимость реализуемой продукции определяется ее объемом, качеством и ценой на рынке сбыта. На величину себестоимости влияет множество факторов, связанных с горно-геологическими, технологическими, техническими, организационными, экономическими, климатическими, социальными условиями производства горных работ.

В данном случае оптимизация открытых горных работ при разработке месторождения является определенной целью или объективной необходимостью. Оптимизация параметров карьера касается и других аспектов планирования, например, такого критерия, применяемого на предприятии, как понятие наличный поток. Необходимо выделить некоторые понятия, которые присутствуют при реализации данного критерия. Условно можно разделить их следующим образом:

1. Вычисление ценности блока
2. Дискретизация
3. Проблемы уклонов
4. Смешивание
5. Время и деньги
6. Норма возврата
7. Чистая текущая стоимость

Данные критерии характеризуют практику работы западных предприятий, где логическим завершением является расчет чистой текущей стоимости. Чистая текущая стоимость, хотя концептуально более простая, чем норма прибыли, является более важным и трудным в контексте обращения к карьере.

Отсюда следуют выводы:

1. Оптимизация карьера требует установленных затрат/ценности, связанной с каждым блоком.
2. Дисконтированный денежный поток требует последовательности добычи и добывающей нормы.
3. Реалистично обесцененные наличные вычисления потока должны применяться к полному проекту. Они главным образом заинтересованы сравнением конкурирующих планов и их способностью быстро возместить инвесторам затраты.

В данной главе определена оптимальная последовательность извлечения блоков модели по критерию: Максимум NPV. Программа будет искать последовательность извлечения блоков, которая даст самый высокий NPV. Так как, 4 года – средний цикл изменения цен на продукцию, вертикальный разрез карьера приведем за четыре года отработки. Последовательность извлечения запасов месторождения по критерию NPV продемонстрирована на условном разрезе [17].

Последовательность извлечения запасов месторождения

П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	Начало отработки
Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	
П	П	П	П	П						Год 1 Доход
Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	
										Год 2 Доход
Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	
										Год 3 Доход
Р	Р	Р	Р	Р						
										Год 4 Доход

Рисунок 5.21. Условный вертикальный разрез карьера

Графически последовательность извлечения блоков руды и вскрыши представлена на рисунке 5.21. Высота выемочного блока принята 15м. Ширина и длина блока равны между собой и приняты равным ширине рабочей площадки. Подсчет объемов руды и породы произведен для различной модификации (размеров) подсчетного блока. Были подсчитаны объемы для моделируемого карьера при размерах блока 50х50х15, 50х100х15, 50х25х15м.

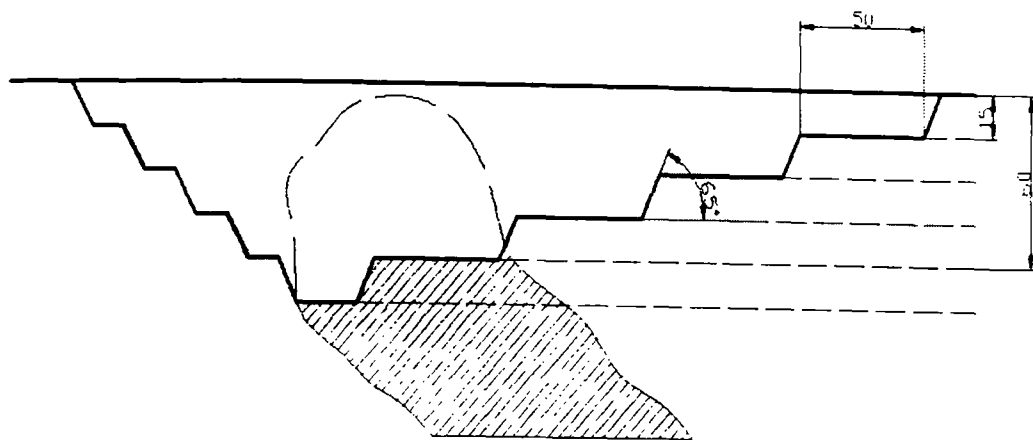


Рисунок 5.22. Подсчет объемов руды и породы

Процесс добычи представляется ключевым в работе с месторождением полезных ископаемых. На этом этапе завершается детальное описание элементов месторождения, окончательно уточняются его запасы. Проверяется и корректируется геологическая модель месторождения в процессе проектирования, строительства и эксплуатации горного предприятия.

Построение горно-геологической модели месторождения с подсчетом запасов полезных ископаемых следует проводить при проектировании для отработки горного предприятия. Эта модель и, соответственно, запасы будут уточняться и использоваться на всех последующих этапах строительства и эксплуатации этого горного предприятия. С самого первого варианта модели в ней будут использоваться данные последующих стадий для выявления экономически

целесообразных для извлечения участков месторождения и подсчета запасов полезных ископаемых в них.

При ведении работ по предложенной математической модели в рабочей зоне карьера производился подсчет объемов руды и породы.

Зависимость объемов извлекаемых блоков руды и породы по годам при ширине рабочей площадки, равной 50м, 35м приведены на рисунке 5.23.

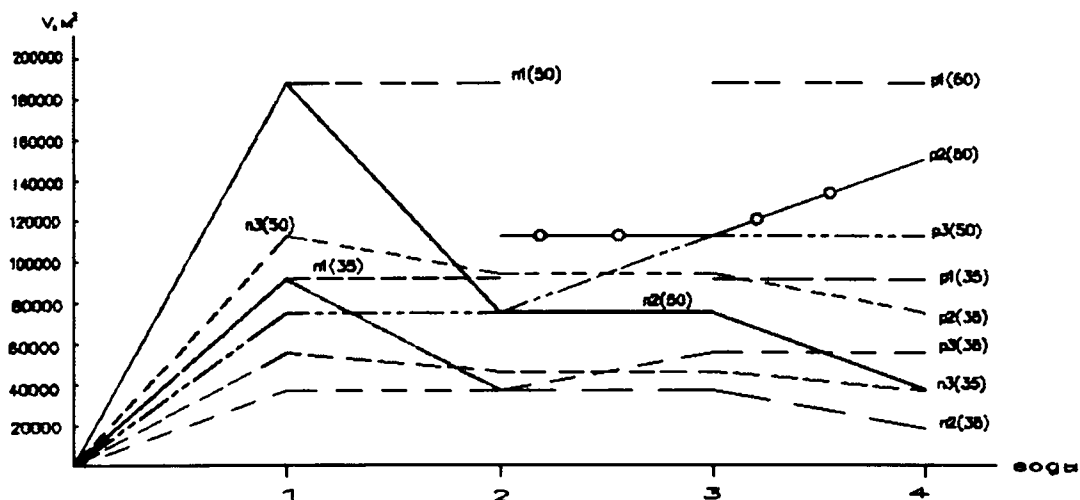


Рисунок 5.23. Зависимость объемов извлекаемых блоков по годам

Составление нескольких вариантов модели и необходимость их многократной корректировки требуют создания универсальных методов их формирования. При этом необходимо обеспечивать возможность быстрого пересчета запасов полезных ископаемых.

Недостаток используемых в настоящее время моделей горного производства имеют закрытую архитектуру и не предусматривают объединения с другими моделями (или их модулями) для совместного моделирования. Это характерно и для моделей ГИС, таких как Arc/INFO, Geo Dravv/GeoGraf. Внешний интерфейс этих моделей, как правило, не стандартизован, поэтому результаты, полученные с использованием одной модели, не могут быть использованы в другой. Например,

если мы создадим какую-либо модель поверхности в ГИС Arc/INFO. то результирующую информацию нельзя будет использовать в ГИС Geo Dravv/GeoGraf без значительных ее преобразований и дополнений. Даже при наличии программ-конвертеров не все элементы описания (особенно атрибутивные) будут однозначно переведены в новый формат.

В настоящей работе реализована геоинформационная модель оптимального распределения объема вскрышных пород по годам с использованием финансово-экономических показателей при оценке горных проектов по критерию максимум NPV.

С использованием геоинформационных методов обоснована оптимальная последовательность извлечения блоков руды и породы из различных участков рабочей зоны карьера. Рассмотрено три варианта такой последовательности (см. Табл.5.1). При расчетах стоимость рудных блоков принята равной 200 у.е., породных блоков - минус 100 у.е.

Промоделируем варианты извлечения блоков для 10п, 10р блоков, 100п, 100р блоков, 200п, 200р блоков. Если количество блоков, вовлекаемых в отработку равно 10 рудным и 10 породным блокам, то временной лаг (шаг) извлечения будет в пределах от $0,5 \div 1$ блок.

Таблица 5.1. Модельный ряд блоков

Число блоков	Годы Вариант	1	2	3	4
100/100	I	0/50	0/50	50/0	50/0
100/100	II	0/50	30/20	30/20	40/10
100/100	III	20/30	20/25	30/25	30/20
200/200	I	0/100	0/100	100/0	100/0
200/200	II	0/100	60/40	60/40	80/20
200/200	III	40/60	40/50	60/50	60/40

Таблица 5.2. Последовательность извлечения рудных и породных блоков

Число блоков	Годы Вариант	1	2	3	4	NPV
100/100	I	0/50	0/50	50/0	50/0	5666
100/100	II	0/50	30/20	30/20	40/10	6547
100/100	III	20/30	20/25	30/25	30/20	7508

Таблица 5.3. Последовательность извлечения рудных и породных блоков

Число блоков	Годы Вариант	1	2	3	4	NPV
200/200	I	0/100	0/100	100/0	100/0	11331
200/200	II	0/100	60/40	60/40	80/20	13093
200/200	III	40/60	40/50	60/50	60/40	15016

Для оценки эффективности вариантов использован критерий чистой приведенной (дисконтированной) стоимости NPV:

$$NPV = \sum C / (1+i)^n \quad (5.17)$$

где C – стоимость извлекаемых блоков;

$\frac{1}{(1+i)^n}$ – коэффициент дисконтирования;
i - норма банковского процента;
n– годы извлечения блоков.

Как видно из таблицы, лучшим по критерию NPV является третий вариант последовательности извлечения рудных и породных блоков из выемочного участка.

Геоинформационная модель оптимального распределения объемов руды и вскрыши по годам использована для оценки проектных решений при отработке Житикаринского месторождения. Рассмотрено два варианта разработки

месторождения с различным объемом руды и вскрыши (см. табл.), эффективность которых оценивалась критерием:

$$NPV = -PV(1) + PV(2) = -PV(1) + \sum_{n=1..15} ЧД \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5.18)$$

$$PV(1) = \sum I_n \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5.19)$$

где $PV(1)$ - сегодняшняя стоимость проекта (инвестиции);

$PV(2)$ - сегодняшняя стоимость платежей;

ЧД - чистый доход.

Результаты расчетов по формулам (5.18) - (5.19) приведены в таблице 5.4. Чистый дисконтированный доход по годам графически изображен на рисунке 5.24. Как показывает анализ этих данных, в первом варианте разработки месторождения чистый дисконтированный доход равен 4240383 тысячи тенге, во втором варианте составляет 3816344 тысячи тенге. Эффективность первого проекта по отношению ко второму составляет 424039 тысяч тенге.





(А – вариант I, Б – вариант II)

Рисунок 5.24. Зависимость доходов с течением времени

Приведенный анализ подтверждает возможность использования геоинформационных методов при установлении последовательности извлечения руды и вскрыши из различных участков любого карьера.

Таблица 5.4 Основные технико-экономические показатели Житикаринского карьера

Параметры	ЕИ	Вариант 1	Вариант 2
Рассматриваемый период	лет	15	15
Производство асбеста 3-6 групп за 15 лет	тыс. тонн	3 559	3 203
Объем горной массы	тыс. тонн	280 769	252 692
- объем вскрышных работ	тыс. тонн	210 592	189 533
- объем добычи руды	тыс. тонн	70 177	63 159
Расход волокна на 1 т. асбеста	тонн	0,670	0,670
Доход от реализации товарной продукции	тыс. тенге	69 599 442	62 639 498
Себестоимость товарной продукции	тыс. тенге	61 182 417	55 064 175
Ставка дисконтирования	%	10,0	10,0
Чистые денежные поступления (Cash flow)	тыс. тенге	8 417 025	7 575 323
Чистый дисконтированный доход (NPV)	тыс. тенге	4 240 383	3 816 344

Выводы

Математическое моделирование развития рабочей зоны карьера заключается в воспроизведении и оценке множества промежуточных положений карьера в карьерном пространстве от поверхности до конечной глубины и всевозможных путей их перехода из одного положения в другое. При использовании технологии блочного моделирования исследователь должен представить описание исследуемой системы в виде блочной схемы с необходимой степенью детализации. Для описания поведения отдельных блоков возможно использование любых технологий, от дифференциальных уравнений до передаточных функций.

Эффективность добычи руд можно повысить за счет применения методов блочного моделирования, которая позволяет с высокой степенью достоверности оценить геологические запасы, провести быстрый расчет необходимых показателей.

Достоинством блочного моделирования является возможность включить в модель любое количество линейных и нелинейных элементов системы. При этом качество моделирования целиком зависит от опыта исследователя и его четкого представления блочной структуры исследуемой системы.

Одним их недостатком является высокая цена программы и лицензии. Технология блочного моделирования может успешно применяться практически на всех этапах проектирования.

В главе реализуется процесс целенаправленного направления развития горных работ с формированием модифицированного графа многовариантности направления развития рабочей зоны. Методика ведения горных работ, рассмотренная в главе, применима для добычных работ практически на всех рудниках открытых работ, осуществляющих управляемую добычу твердых полезных ископаемых, в том числе при разработке месторождений асбеста.

В главе представлена модель геоинформационного моделирования карьера с применением финансово-экономических показателей, где задача оптимизации направлена на поиски решений эффективных схем горных технологий на базе новых компьютерных возможностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие «Геоинформационное моделирование карьеров» является результатом исследований в области геоинформационного моделирования месторождений.

В данной работе содержатся новые научно-обоснованные результаты по решению важной прикладной задачи – повышения эффективности отработки месторождений полезных ископаемых за счет установления рациональной последовательности извлечения полезных ископаемых на основе геоинформационного моделирования карьера.

Выполненные исследования позволили сформулировать следующие выводы:

1. Систематизирована классификация геоинформационных моделей месторождений и карьеров в виде пакетов унифицированного языка моделирования UML, позволяющие определить условия, в которых целесообразно применение той или иной модели.

2. Выполнена структурная схема с применением трехмерной модели месторождения.

3. Приведен модифицированный метод поиска направления развития горных работ в карьере с применением графа многовариантности, который учитывает не только углубку карьера, но и развитие горных работ на горизонте в восьми направлениях. Он обеспечивает ускоренный ввод в эксплуатацию рабочих блоков и эффективную отработку месторождений полезных ископаемых.

4. Предложена аргументированная математическая модель ведения горных работ, позволяющая реализовать выбор рационального перемещения горных выработок в рабочей зоне карьера.

5. На основе геоинформационной модели обоснована целесообразная последовательность извлечения вскрышных пород и полезного ископаемого из различных выемочных участков карьера.

6. Приведены инструменты и механизм решения экономико-математического моделирования с применением теории графов для действующего предприятия.

Приведенная в работе геоинформационная модель, представляющая собой совокупность горно-геологических объектов, обладает свойством «организовывать или осуществлять одну или несколько проектных процедур системы». При этом обеспечивается целенаправленная технология проектирования рациональных параметров карьера с использованием теории и практики открытой разработки недр с учетом горно-геологических характеристик месторождения.

Результаты проведенных работ приняты к использованию в лаборатории проектирования освоения недр отдела геотехнологии, горной систематологии и недропользования РГП «НЦ КПМС РК» при проектировании карьеров, а также в учебном процессе кафедры «ОГР», кафедры «НГиИГ» КазНТУ им. К.И.Сатпаева для студентов специальности 5В070700 – «Горное дело», в департаменте технологического проектирования АО «КИНГ».

Геоинформационное моделирование является надежным инструментом в дальнейшем совершенствовании технологии открытых горных работ и повышении технико-экономических показателей работы предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хохряков В.С. Проектирование карьеров. М., Недра, 1992, 360с.
2. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьера. М., Недра, 1970.
3. Ракишев Б.Р. Системы и технологии открытой разработки. Алматы: НИЦ «Ғылым», 2003. - 328с.
4. Табакман И.Б., А.А.Меламуд, В.Е.Облонский. Определение порядка развития горных работ в карьере. Горный журнал. 1989.
5. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Том 9. Информационные технологии в минерально-сырьевом комплексе. – Астана: Фолиант, 2003. - 400с.
6. Бекмурзасв Б.Ж. Геоинформационные методы оптимизации и планирования карьеров. Алматы. 2007.
7. Mine Frame System. Создание моделей геологических тел.
8. Мальцев В.А. Составление блочной модели. 2000г. Gst8.htm
9. Табакман И.Б., Меламуд А.А. Принципы организации информационного обеспечения обработки геометрических объектов. Изв. Вузов. Горный журнал. 1987г.- №12
10. Дунаев В.А., Серый С.С., Герасимов А.В., Волобуев Ю.А. Моделирование месторождений полезных ископаемых при автоматизации геолого-маркшейдерского обеспечения открытых горных работ. ФГУП ВИОГЕМ. Белгород. 2007.
11. Бекмурзасв Б.Ж. Геоинформационные технологии и объектно-ориентированные методы в системе автоматизированного проектирования техногенных геосистем. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. Алматы. 2010г.
12. Ракишев Б.Р., Гурьевский Б.А. УМКД по дисциплине «Перспективное и текущее планирование открытых горных работ» по специальности 050707 – Горное дело. Алматы: КазНТУ, 2007. – 48 с.
13. Ордабекова А.Ж. Вопросы формирования рабочей зоны карьера. Вестник КазГАСА №3(37). Алматы. 2010г. - С. 170-174.

14. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров. В.С. Хохряков, Г.Г. Саканцев, А.З. Яшкин др., М., Недра, 1977г.-200с.
15. Букейханов Д.Г., Бекмурзаев Б.Ж., Съедин В.Ф. Классификация геонформационных моделей месторождений и карьеров. Сборник материалов 7 Международных Байконуровских чтений. Жезказган. - 2007г.
16. Бек А.Ш. Обработка результатов съемки оползней с использованием программных пакетов SURFER и CREDO //Труды второй международной научно-практической конференции «Горное дело и металлургия в Казахстане».- Алматы, 2006. - С.223-226.
17. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). Спб, Недра, 2004 г.
18. Валусев А.М. Метод и программа оптимизации рабочей зоны угольного разреза. Москва, 2003.
19. Ракишев Б.Р., Ордабекова А.Ж.. К моделированию рабочей зоны карьера. Вестник КазНТУ № 6, Алматы. 2008г. - С.3-6.
20. Новожилов М.Г., Тартаковский Б.Н., Четверик М.С. Горно-геометрический анализ и режим горных работ карьеров. - Киев: Наукова думка, 1971. -144 с.
21. Ресентович Э.И. Обоснование оптимальных решений для открытых разработок. Москва. 1982.
22. Ракишев Б.Р. Рабочая зона карьера и ее параметры. Горный журнал. № 3. М., 2003 г.
23. Ишкулова И.А. Обоснование развития рабочей зоны карьера при переменном направлении углубки с максимальной скоростью.
24. D.G. Bukeikhanov, M.Z. Zhanasov, V.F. Syedin, B. Zh. Bekmurzayev, S.D. Bukeikhanov. Estimation of volumes of stripping and winning operations at opencast using solid graphs // Mine planning and Equipment Selection 2000. Proceedings of the ninth international symposium. –Athens, Greece, 2000. – P.173 -175.
25. Букейханов Д.Г., Съедин В.Ф., Бекмурзаев Б.Ж., Джаксылыков Е.А. Обоснование параметров дискретной

контурно-координатной модели месторождений и карьеров //Проблемы разработки месторождений глубокими карьерами: Сборник докладов. – Челябинск, 1996. - С.75-76.

26. Хохряков В.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. – 180 с.

27. Букринский В.А. Геометрия недр. - М.: Недра, 1985.

28. Rakishev B.R., Rakishev E.B., Ashaev J.P. The Graphic documents Computer Processing by the Mining Problems Solving «Computer Applications in the Minerals Industries. 28th International Symposium», 1999. Golden Colorado. USA.P.631-636.

29. Ордабескова А.Ж. Вопросы блочного моделирования месторождений. Вестник КазНТУ №.6, 2009г. - С.112-114.

30. Ордабескова А.Ж. Анализ обоснования оптимальных решений моделирования рабочей зоны. «Научно-технические, духовные ценности в наследии мыслителей Востока и А. Машани». Труды Международной научно-практической конференции. – Алматы, 2007г.– С.228-234.

31. Ордабекова А.Ж. Геоинформационное моделирование месторождений и карьеров с применением теории графов. «Проблемы индустриально-инновационного развития горнодобывающих отраслей промышленности и мировая геополитика освоения хризотилового волокна». Материалы пятой международной научной конференции. Житикара. 2010г. – С.377-382.

32. Астафьев Ю.П. Техническое и программное обеспечение систем планирования и управления в горной промышленности. Горный журнал. №11., 1998г.

33. Бызов В.Ф., Лотоус А.Г., Пурин В.П., Стежко С.А. Выбор рационального направления развития горных работ в карьере ЦГОК // Разработка рудных месторождений. -1971. - Вып.11. - С. 26-28.

34. Макишин В.Н. Повышение экономической эффективности разработки рудных месторождений при комплексном освоении недр. Горный информационно-аналитический бюллетень. №10.

35. Букейханов Д.Г., Съедин В.Ф. Установление рационального направления углубки карьера на ориентированных графах с использованием ЭЦВМ // Проблемы разработки полезных ископаемых, вып. 3. – Алма-Ата: КазПМИ, 1975. - С.193-202.

36. Квитка В.В., Левин Е.Л. Моделирование открытых горных работ в подсистеме выбора главных параметров полиметаллических карьеров //Изв. Вузов. Горный журнал. - 1978. - №11. - С.3-5.

37. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руды при открытой добыче. - М.: Недра, 1977. - 224 с.

38. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. – М.: Недра, 1981. - 278 с.

39. Бекмурзасв Б.Ж. К вопросу автоматизированного проектирования промежуточных и конечных контуров карьера // Разработка и применение САПР и АСУ горного производства. - Алма-Ата, 1987. - С. 57-58.

40. Ракишев Б.Р. Повышение комплексности извлечения рудного сырья //Горный журнал. №7-8. М., 1996. С.70-72.

41. Цой С.В., Цхай С.М. Прикладная теория графов. Издательство «Наука», Алма-Ата.1971г.

42. Цой С., Казанский А.Г. Управление технологией добычи руд при разработке сложноструктурных месторождений. Алматы. НИЦ «Ғылым», 2003.

43. Ахмедов Д.Ш., Галлиев С.Ж., Жусупов К.К., Татишев Е.Н. Технологии автоматизированного управления геотехническими комплексами в области открытых горных работ. Алматы., 2004г.

44. Столповских И.Н. и др. Автоматизация проектирования систем контроля и технической диагностики конвейерных линий. Вестник Магнитогорского гос. тех. университета им. Г.И. Носова, №1(37). Магнитогорск, 2012. С.71-73.

45. Введение в геоинформатику горного производства. Учебное пособие. Под редакцией В.С.Хохрякова.- 2-е издание, Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2001-198с.

46. Цеховой А.Ф. Технология управления рудопотоками асбестовых карьеров. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. Москва. 1992г.

47. Ракишев Б.Р., Ордабекова А.Ж. Экономико-математическое моделирование рабочей зоны карьера. Горный журнал Казахстана №11, Алматы. 2010г. – С.33-36.

48. Шек В.М. Объектно-ориентированное моделирование горнопромышленных систем - Учебное пособие.- М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2000.-304с.

49. Ордабекова А.Ж., Обоснование и принцип моделирования месторождений. «Актуальные проблемы механики и машиностроения». Материалы 3 Международной научной конференции. Алматы. 2009 г.–С.119-121.

50. Ракишев Б.Р., Ракишев Е.Б., Ашасв Ю.П. Компьютерное выделение добычных блоков при селективной отработке многокомпонентных руд //Горный информационно-аналитический бюллетень. М.:МГГУ, 2000. №1С.167-170.

51. Ракишев Б.Р., Ашасв Ю.П., Имашев Ж.Р. Моделирование рудных залежей для автоматизации горно-геометрического анализа карьерных полей. //Горный журнал. №11-12. М.,1998. С.33-35.

52. Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом / Ю.П. Астафьев, А.С. Зеленский и др. – М.: Недра, 1989.

53. Бек А.Ш. Геоинформационное обеспечение устойчивости карьерных откосов. Монография. Алматы: КазНТУ, 2006-140с.

54. Мельников Н.В. Проблемы горной науки по карьерам будущего //В кн. «Будущее открытых горных работ». М., 1972.- С.6-10.

55. Танайно А.С. Автоматизированное проектирование карьеров. Горно-геометрические расчеты.- Новосибирск. Наука. 1986. 232 с.

56. Буксейханов Д.Г. Горно-геологический справочник по разработке рудных месторождений, Алматы, Инфомпрезентационный центр МСК, том2, 1997.-252с.

57. Горные науки. Освоение и сохранение недр земли //Под редакцией академика К.Н.Трубецкого, М.: Недра, Изд. АГН, 1997. – 477с.

58. Фисенко Г.Л., Пустовойтова Т.К., Кагермазова С.В. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих открытой разработке. Л.: Недра, 1986.-113 с.

59. Гради Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование

с примерами приложений на C++ , 2-е издание. Rational Санта - Клара, Калифорния. Перевод с английского под редакцией И. Романовского и Ф. Андреева.

60. Арлоу Д., Нейштадт И. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование, 2-е издание. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2007. – 624 с.,

61. Демин А.М. Закономерности проявлений деформаций откосов в карьерах. М.: Наука, 1981.-144 с.

62. Уманец В.Н. Научно-методические основы комплексной оценки и техногенных месторождений. Автореферат диссерт. д-ра техн. наук, М.,1982.-30 с.

63. Машанов А.Ж., Нурписова М.Б. Геомеханика, Алматы.: КазНТУ, 2000.-123с.

64. Машанов А.Ж. Основы геомеханики скально-трещиноватых пород. Алматы.: Наука, 1985.-192с.

65. Зайченко В.Ю. Классификация геологической информации о недрах // Отечественная геология. 1995. №1, - С.18-24.

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

67. Букейханов Д.Г., Съедин В.Ф., Бекмурзаев Б.Ж., Ахматов Д.Ш. Автоматизированная подготовка исходной информации для производства горно-геометрических расчетов в САПР-ОГТ // Комплексное использование минерального сырья.1993. №5. - С. 9-14.

68. Отчет № 003219. КарПТИ. Инструментальный контроль за состоянием устойчивости прибортовых массивов Саякского карьера// Караганда, 2011, 25с.

69. Отчет № 2.741.01. КазНТУ. Наблюдение за устойчивостью бортов карьеров месторождения Акжал //Алматы, 2002, 123с.

70. Методические рекомендации по оценке устойчивости бортов карьера Акжал // Нурписова М.Б., Бек А.Ш., Кыргызбасва Г.М., Алматы, КазНТУ, 2002, 27с.

71. Отчет №14-82-153. СРЕДАЗНИИПРОЦВЕТМЕТ МЦМ СССР. Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости бортов карьера Акжал // Ташкент, 1986, 203с.

72. Отчет № 1.758.03. КазНТУ. Оценка устойчивости бортов карьеров Родниковского месторождения //Алматы, 2003, 105с.

73. Капутин Ю.Е., Ежов А.И., Хенли С. Геостатистика в горно-геологической науке. – Апатиты. КНЦ РАН. 1995.-129 с.

74. Ордабекова А.Ж., Шингисова Р.К., Курманалиева Ш.М. Геоинформационные методы моделирования месторождений. Труды международной научной конференции «Современное состояние, развитие инженерной геометрии и компьютерной графики в условиях информационных и компьютерных технологий». Алматы 2011.-С.314-322.

75. Шек В.М., Филиппова А.А. Автоматизированная система экологического мониторинга на базе ГИС-технологий. //Горный информационно-аналитический бюллетень.- М.: МГГУ, 2003, №12.- С.141-143.

76. Бек А.Ш. Геоинформационное моделирование состояния окружающей среды в зоне влияния горного предприятия. //Материалы 5 международной научной конференции молодых ученых «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». - Москва. ИПКОН РАН, 2008. - С325-329.

77. Концепция экологической безопасности РК на 2004-2015 годы. Указ Президента Республики Казахстан № 1241, Астана, 3.12.2003 г.-25 с.

78. Черемисина Е.Н.. Геоинформатика, геоинформационные технологии в недропользовании.- М.: ВНИИГеосистем 2004. – С.3-10.
79. Трубецкой К.Н., Пучков Л.А., Чантурия В.А., Хохряков В.С. и др., Горные науки освоение и сохранение недр земли. - М.: Изд-во АГН, 1997. – 478 с.
80. Хохряков В.С Геоинформационный метод математического моделирования. //Физико-математические проблемы разработки полезных ископаемых.- Новосибирск, 1986.-№5.-с. 89-94.
81. Хохряков В.С., Корнилков С.В., Сивков М.Н. и др. // Изв. Вузов. Горный журнал.-1990.-№ 9. с. 14-20.
82. Хохряков В.С., Корнилков С, В., Неволин Г.А. – Автоматизированное проектирование карьеров. - М.: Недра, 1985.-263 с.
83. Иванников А.Д. Прикладная геоинформатика.- М.: МАКС Пресс, 2005.- 360 с.
84. Матвеев С.И., Коугия В.А., Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте.- М.: УМК МПС России. 2002.- 288 с.
85. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. - М.: МГУГиК. 2000.- 86 с.
86. Цветков В.Я. Информация: Создание современных технологий. Ч 1.- М.: ГКНТ, ВНИИЦентр, 1990.-118 с.
87. Г. Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. М.: Невский диалект. 2001.- 560 с.
88. И. Грэхем. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика.- М.: Вильямс, 2004.-880 с.
89. Ф. Крачтен. Введение в Rational Unified Process.-М.: Вильямс, 2002. -240 с.
90. Цеховой А.Ф. Основные направления исследований в области моделирования и развития информационных систем ГМК Казахстана// Труды Первой международной научно-практической конференции «Горное дело в Казахстане. Состояние и перспективы». – Алматы.: РИО ВАК РК, 2000 – С.

52-57.

91. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1993. –344 с.

92. Острейковский В.А. Информатика. - М.: Высшая школа, 2007.-511 с.

93. Аленичев В.М., Суханов В.И., Хохряков В.С. Моделирование природно-сырьевых технологических комплексов. – Екатеринбург. ИГД УрО РАН, 1998. –147 с.

94. Кумыков В.Х., Ипалаков Т.Т. Устойчивые профили откосов бортов глубоких карьеров. // Труды Второй Междун. научно-практ. конф. «Горное дело в Казахстане. Состояние и перспективы». – Алматы.: ЦАГС, 2006 – С. 44 - 48.

95. Машанов А.Ж., Певзнер М.Е., Бекбасаров Ш.С. Устойчивость уступов и бортов карьеров бассейна Каратау. Алматы: Наука. 1981,-115 с.

96. Фисенко Г.Л., Пустовойтова Т.К., Кагермазова С.В. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих открытой разработке. – Л.: Недра, 1986. - 113с.

97. Певзнер М.Е. Деформация горных пород на карьерах.- М.:Недра, 1992.-235 с.

98. Инструментальный контроль за состоянием устойчивости прибортовых массивов Саякского карьера: отчет о НИР / КарПТИ. - Караганда. 2001.- 25 с.-Инв. №003219.

99. Проект реконструкции карьера Акжал: отчет о НИР / ПИЦ по ГП, -Алматы, 2001.-198 с.-Инв. № 283-01.

100. Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости бортов карьера Акжал: отчет о НИР /СРЕДАЗНИПРОЦВЕТМЕТ МЦМ СССР. -Ташкент, 1986.- 203с.-Инв. №14-82-153.

101. Проект наблюдательной станции за деформациями бортов карьера Дружное. - Алматы, КазНТУ.- 2005,-18 с.

102. Оценка устойчивости углов наклона уступов и бортов карьера месторождения Жерек. – Алматы, КазНТУ. –18 с.

103. Суханов В.И. Информационная технология принятия решений при открытой разработке месторождений. Автореферат докт. техн. наук: 25.00.35. Екатеринбург, УрО РАН, 2002.-38 с.

104. Ордабекова А.Ж., Тумабаев Д.К. Применение теории графов в инженерных задачах. Международная научная конференция: «Высокие технологии - залог устойчивого развития». Алматы 2013. – С.298-301.
105. Ступаченко А.А. САПР технологических операций.-Л.: Машиностроение, 1998.-234 с.
106. Такахара И. и др. Теория иерархических систем. – М.: Мир, 1993. –344 с.
107. Бекжанов Г.Р., Бугаец А.Н., Лось В.Л. Геологические модели при прогнозировании ресурсов полезных ископаемых. М.: Недра, 1987, -167 с.
108. Шукаев Д.Н. Информационная технология. Алматы: КазНТУ, 2005. – 235 с.
109. Ахмедов Д.Ш. Разработка научно-методических основ объектно-ориентированного моделирования горнотехнических систем на карьерах. Автореферат докт. техн. наук. 25.00.35. Алматы, 2003 -42 с.
110. Букейханов Д.Г., Съедин В.Ф. и др. Система автоматизированного проектирования карьеров // В кн. «Комплексная переработка минерального сырья Казахстана». – Астана. 2003. том. 5, - С.143-211.
111. D.G.Bukeikhanov, U.A.Dzharlkaganov, B.Zh.Bekmurzayev, M.Zh.Zhanasov. Optimization of Excavator Performance When Mining Complex Polymetallic ores. Twelfth International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection? 23-25 April 2003. Kolgoorlie, Western at opencast // Australia. MPES Program/Abstracts, p.49.
112. Кокарев Л.В. Геоинформатика. – М.: «Картгеоцентр – Геоиздат», 1993. –280 с.
113. Автоматизированные системы управления горнорудными предприятиями /Ю.П.Астафьев, Г.К.Полищук. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – 216 с.
114. Моделирование и управление горнорудными предприятиями. С.Л. Каграманян, А.С.Давидкович, В.А.Малышев и др. – М.: Недра. 1989. - 360с.
115. Бек А.Ш., Касымканова Х.М. Методика цифрового моделирования месторождения и карьера // Геодезия.

Картография. Геоинформационные системы. - Алматы, 2004, №3 -С.6-11.

116. Бек А.Ш., Нурпеисова М.Б. Топографическая базовая информация в ГИС //Магистраль. - Алматы, 2004, №4. – С.88-91.

117. Букейханов Д.Г., Бек А.Ш. Методика проектирования базы данных геолого-маркшейдерской информации //Комплексное использование минерального сырья. - Алматы, 2005, №2.-С.3-7.

118. Бек А.Ш., Букейханов Д.Г., Геоинформационное обеспечение устойчивости карьерных откосов // Материалы 2 междунар. научн. конференции молодых ученых «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».-Москва, ИПКОН РАН, 2005.-С.47-49.

119. Букейханов Д.Г., Бек А.Ш. Геоинформационное моделирование месторождений //Труды междун. научно-практ. конференции «Агошковские чтения». - Москва, ИПКОН РАН, 2005.-С.91-95.

120. Рогов Е.И. Оптимизационное моделирование в горном деле. Алма-Ата, Наука, 1990. 187 с.

121. Сапаков Е.А.Современная технология открытых горных работ на карьерах.- Жезказган., 2006, ДжезказганЦНТИ.- 360 с.

122. Лось В.Л. Оценка недр, как информационный процесс //Горный журнал, №3, 2003. - С.23-26.

123. Автоматизация геолого-маркшейдерских работ / В.В. Ершов, А.С. Дремуха, В.М. Трость и др. – М.: Недра, 1991.

124. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Синтез, 1999.

Ордабскова Алмаш Жаксылыковна

Геоинформационное моделирование карьеров

*Рекомендовано к печати ученым советом
Казахского национального технического
Университета им. К.И. Сатпаева*

Подписано в печать 28.06.2013г.

Формат 60х84 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем 15,0 уч.-издл. Тираж 500 экз. Заказ № ____.

Информационно-издательский центр КазНТУ имени
К.И. Сатпаева
г. Алматы, ул. Сатпасва, 22

ISBN 978-601-228-414-0

