

Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И.Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова

Кафедра «Маркшейерское дело и геодезия»

УДК 622.270

Права рукописи

Мухаметхан Бауыржан

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра

Название диссертации Создание карт устойчивости бортов карьеров
с использованием ГИС технологий

Направление подготовки 7М07210 - Геопространственная цифровая
инженерия

Рецензент «18» 06. 2021г



Научный руководитель,
докт.техн.наук, профессор

_М.Б.Нурпеисова

Нормоконтроль,
М.Т.Н


 Ж.М.Нукарбекова

«21» июнь 2021г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав.кафедрой «МД и Г»

доктор PhD, асс.профессор

 Э.О. Орынбасарова

«21» июнь 2021г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И.Сатпаева
Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова
Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»

УТВЕРЖДАЮ

Зав.каф. «Маркшейдерское
дело и геодезия»

доктор PhD, асс.профессор
Э.Орынбасарова

«21» июнь 2021г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Мухаметхан Бауыржану

Тема: Создание карт устойчивости бортов карьеров с использованием ГИС технологий (в условиях месторождения Актогай)

Утверждена приказом по университету № 1410-М от «31» октября 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации « 01 » май 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации:

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) анализ материалов по созданию карт устойчивости бортов карьеров;
- б) анализ и оценка геомеханического состояния массива горных пород;
- в) анализ компонентов ГИС применительно к прогнозированию устойчивости карьерных откосов;
- г) методика создания карт устойчивости карьерных откосов.

Перечень графического материала:

- а) геологическая карта и разрезы месторождения
- б) способ вскрытия месторождения;
- в) система разработки;

Рекомендуемая основная литература:

1. Ракишев Б.Р. Структура массива и деформируемость горных пород Алматы:КазНТУ 2011г.
2. Нурпеисова М.Б. Геомеханика(учебник). – Алматы:КазНТУ, 2015. – 285с.
3. Экологическая и промышленная безопасность освоения недр(монография)- Алматы:КазНТУ, 2016. – 436с.

АННОТАЦИЯ

Диссертация выполнена в соответствии с решением Правительства РК, где в области высшего образования особое внимание обращает увеличению числа выпускников, обученных информационным технологиям, работе с искусственным интеллектом и «большими данными» и при этом указано на необходимость развития вузовской науки с приоритетом на исследования в *горной, металлургии, нефтегазохимии, IT-технологиях.*

Казахстан обладает минерально-сырьевой базой мирового масштаба. Это будущее его экономики и процветания, практически единственный показатель диверсификации производства, уход от сырьевой направленности к высокотехнологической промышленности. В связи с этим, минерально-сырьевой и горно-металлургический комплексы должны иметь перспективы устойчивого развития, быть достаточно эффективными и конкурентоспособными.

Особое место отводится открытому способу разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Одним из таких месторождений в Казахстана является месторождение «Актогай» – крупномасштабный медный рудник открытого типа. Производство катодной меди из окисленной руды началось в декабре 2015 года, а уровень проектного производства был достигнут 1 июля 2016 года. Производство медной руды началось в первом квартале 2017 года, а уровень проектного производства был достигнут 1 октября 2017 года. Годовая мощность по переработке руды действующей обогатительной фабрики составит 25 млн тонн. Срок эксплуатации рудника по переработке руды составляет 25 лет.

Современные карьеры, как Актогай, характеризуются большим многообразием составляющих их иерархически расположенных структурно-функциональных подсистем, агрегатов и объектов различной природы, многофакторной, многоканальной взаимосвязью между ними и с компонентами внешней среды. Поэтому обеспечение устойчивости бортов карьера является сложной проблемой.

В диссертации представлены разработанные компоненты ГИС и собранная геопространственная информация о состоянии массива горных пород. На основе анализа, моделирования и прогнозирования структурных и прочностных характеристик прибортовых массивов, меняющихся в пространстве и времени, в диссертации представлено решение проблемы прогнозирования и управления устойчивости бортов карьера.

Полученные результаты обеспечивают промышленную и экологическую безопасность освоения недр.

Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка 38 использованных источников. Текстовая часть изложена на 75 стр. компьютерного набора, содержит 23 рисунков и 7 таблиц.

АНДАТПА

Диссертация ҚР Укетиінің бүгінгі таңда баса көңіл аударған, жоғары білім беруде *тау-кен-маталлургия, мұнай-газ химиясы, ІТ-технологиялар және т.б.* салаларын зерттеу ісінде басымдық беретін жоғары оқу орындарының ғылымын дамыту керектігіне сай орындалған.

Қазақстан әлемдік деңгейдегі минералды-шикізат базасына ие. Бұл өз экономикасының және гүлденуінің болашағы, өнімді әртараптандырудың жалғыз көрсеткіші, тауар бағдарынан жоғары технологиялық өнеркәсіпке шығу. Осыған байланысты, минералды-шикізат пен тау-кен металлургиялық кешендері тұрақты дамуға, жеткілікті тиімді және бәсекеге қабілетті болуға тиіс.

Отандық және шетелдік практикада пайдалы қазындыны ашық әдіспен игеру куннен-кунге кенінен қолданылуда Қазақстанның осындай кенорындарының бірі – ашық әдіспен игеріліп жатқан ауқымды «Ақтоғай» мыс кен орны. Қышқылданған рудадан катодты мысты бөліп алу 2015 жылдың желтоқсанында басталған, ал өндірістің өнімі жобалық деңгейге 2016 жылдың 1 шілдесінде көтерілді. Мыс рудасы 2017 жылдың 1 кварталында өндірілді, байыту фабрикасында руданы қайтадан өңдеу 2017 жылдың қауарашасында іс ке қосылды. Баыту фабрикасының жылдық өнімі 25 млн тонн. Рудниктің жұмыс істеу мерзімі 25 жыл деп жобаланған.

Қазіргі кезде, Ақтоғай карьері сияқты карьерлер өте үлкен көптармақты, иерархиялы орналасқан құрылымдық-функционалдык жүйелерімен сипатталады және бір-бірімен байланысқан әртүрлі компоненттерден тұрады. Сондықтан да карьер қиябеттерінің орнықтылығын қамтамасыз ету өте күрделі мәселе.

Диссертацияда ГАЖ компоненттері жасакталған және тау жыныстары массивінің жай-қуы туралы геокеністік мәліметтері жыйнақталған. Карьер беткейлері тау жыныстары массивтерінің құрылымдық және беріктік қасиеттерінің кеністік пен уақыт аралығында өзгерулеріне талдау жасау, моделдеу және болжау негізінде, карьер беткейлерінің орнықтылығын болжау мәселесі шешімін тапқан

Алынған нәтижелер жер қойнауын игерудің өндірістік және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Диссертация кіріспеден, 3 бөлімнен, тұжырым мен 38 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, қосымшалардан енгізілген компьютерде терілген 75 беттік мәтіннен тұрады. Жұмыста 23 сурет және 7 кесте келтірілген.

ABSTRACT

The dissertation was completed in accordance with the decision of the Government of the Republic of Kazakhstan, where in the field of higher education, special attention is paid to increasing the number of graduates trained in information technologies, work with artificial intelligence and "large data" and, development of higher education science with a priority on research in metallurgy, oil and gas chemistry, IT-technologies.

Kazakhstan possesses a mineral-raw-material base of the world scale. This is the future of its economy and prosperity, almost the only indicator of the diversification of production, the departure from the commodity orientation to the high-tech industry. In this regard, the mineral and raw materials and mining and metallurgical complexes should have prospects for sustainable development, be sufficiently effective and competitive.

A special place is given to the open-pit mining of solid mineral deposits. Modern careers are characterized by a large variety of their constituent hierarchically arranged structural and functional subsystems, aggregates and objects of different nature, multifactorial, multichannel interconnection between them and with the components of the external environment. Therefore, ensuring the stability of the pit walls is a difficult problem. One of such deposits in Kazakhstan is the Aktogai deposit, which requires reliable geomechanical justifications for industrial safety.

The dissertation presents the developed GIS components and the collected geospatial information on the state of the rock mass. Based on the analysis, modeling and prediction of the structural and strength characteristics of the side rock mass, changing in space and time, the dissertation presents a solution to the problem of predicting and controlling the stability of the pit walls.

The results obtained ensure industrial and environmental safety of subsoil development.

The thesis consists of an introduction, 3 sections, conclusion and list of sources used. The textual part is set out on 75 pages of a computer kit, contains 23 figures and 7 tables.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ.....	10
1.1 Недропользование как информационный процесс.....	10
1.2 ГИС-проекты в горной промышленности	12
1.3 Представление объекта исследования	14
1.4 Применение компьютерной технологии при обработке геолого-маркшейдерской информации.....	21
Выводы по 1-разделу.....	27
2 КОМПОНЕНТЫ ГИС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТЬЮ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ	27
2.1 Геоинформационная система и ее компоненты	28
2.2 Технические средства сбора геопространственных данных.....	33
2.3 Создание базы данных геолого-маркшейдерской информации... Выводы по 2-разделу	36 48
3 СОЗДАНИЕ КАРТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА АКТОГАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИИ	49
3.1 Методика оценки устойчивости откосов карьеров.....	49
3.2 Реализация методики оценки устойчивости откосов карьеров в программном комплексе «Борт».....	53
3.3 Расчетные параметры составления карт устойчивости бортов карьера Актогай.....	55
3.4 Разработка карт устойчивости бортов карьера Актогай..... Выводы по 3-разделу.....	58 61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	63
ПРИЛОЖЕНИЯ	
А. Публикации 1.....	66
Б. Публикация 2.....	70
С. Сертификат.....	76

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

БД ГМИ	База данных геолого-маркшейдерских информации.
АБД	Автоматизированный банк данных
САПР-карьер	Система автоматизированного проектирования карьера
ИТ	Информационные технологии
ПП	Программный продукт
SURFER 8.0	Программное обеспечение для составления геологических и топографических карт
CREDO	Программное обеспечение для инженерно-геологических изысканий
SURPAC	Программное обеспечение для горного дела
ДИС	Двухуровневая иерархическая система
UML	Унифицированный язык моделирования
ИГГС	Интегрированные горно-геологические системы
ИГД	Институт горного дела им.Д.А.Кунаева
КазННТУ	Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
KAZ Minerals	компания-производитель меди в СНГ
Цифровизация	Применение цифровых технологий для создания бизнес-модели и получения новых доходов и возможностей, генерирующих ценность
Цифровая экономика	Совокупность общественных отношений, складывающихся при использовании электронных технологий, электронной инфраструктуры и услуг, технологий анализа больших объёмов данных и прогнозирования в целях оптимизации производства
3D-принтеры	Устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Казахстан обладает минерально-сырьевой базой мирового масштаба. Это будущее его экономики и практически единственный показатель диверсификации производства, уход от сырьевой направленности к высокотехнологической промышленности. Особое место при этом 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 и комплексов оборудования повышенной единичной мощности.

Современные карьеры как объекты проектирования и управления относятся к сложным динамическим системам. Они характеризуются большим многообразием составляющих их иерархически расположенных структурно-функциональных подсистем, агрегатов и объектов различной природы, многофакторной, многоканальной взаимосвязью между ними и с компонентами внешней среды. Поэтому управление карьерами является сложной проблемой. Решение ее невозможно без научно обоснованного объектного анализа, моделирования и применения геоинформационных технологий, прогнозирования пространственно-распределенных характеристик прибортовых массивов, меняющихся в пространстве и времени.

Проблема разработки компонентов геоинформационной системы (ГИС) управления устойчивостью бортов карьеров, предусматривающих создание методов формирования входной, внутрисистемной и выходной информации, их систематизации, преобразования и генерализации, а также исследования и создания баз данных (БД); методов моделирования и построения их программно-функциональных комплексов, обеспечивающих осуществление устойчиво воспроизводимой технологии автоматизированного решения поставленной проблемы, безусловно актуальна и требует своего решения.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

1.1 Недропользование как информационный процесс

Возможность устойчивого развития Казахстана во многом определяется уровнем и перспективами развития минерально-сырьевого комплекса республики. От того, как удастся приумножить и эффективно распорядиться богатствами, заключенными в недрах, будет зависеть политическое, экономическое и социальное положения Казахстана в мировом сообществе в XXI веке. Существенную роль в развитии экономики Казахстана играет горно-металлургическая отрасль промышленности. Особую роль при этом отводится открытому способу производства как наиболее производительному и эффективному. Характерной особенностью открытой разработки месторождений является возможность вовлечения в отработку глубоко залегающих месторождений глубиной до 600-700 метров и сроками служб 35-60 лет со сложными горно-геологическими условиями их строительства и эксплуатации. При этом большое значение приобретает проблема обеспечения длительной устойчивости бортов на граничных контурах и временно нерабочих бортов, которые формируются как топографические поверхности, ограничивающие целики со сторонь выработанного пространства при регулировании режима горных работ и консервации в них определенных объемов горной массь [1].

Современные карьеры, и в том числе глубокие, относятся к большим и сложным динамическим системам. Они характеризуются следующим: многообразием и иерархичностью составляющих их объектов, агрегатов и подсистем различной структуры, природы и выполняемых функций; многообразием межуровневых и межкомпонентных отношений и сетей их взаимосвязей; наличием у них общих и локальных целей.

Прибыльность и рентабельность производственно-хозяйственной деятельности карьеров в условиях жесткой конкуренции, во многом зависит от оптимальности технических, технологических и финансово-экономических решений, принимаемых на всех стадиях предпроектных, проектных и эксплуатационных работ. В период индустриального развития общества первой половины XX века и до момента, когда человечество стало переходить от индустриального этапа к новому информационному этапу развития, изменялась и совершенствовалась информационная база промышленных и, в том числе, горных предприятий.

Характерной особенностью процессов разработки месторождений твердых полезных ископаемых, в том числе открытым способом, является то, что он сопровождался и сопровождается повышением объема информации, которую необходимо переработать и передавать для принятия рациональных решений в сфере производственно-хозяйственной деятельности предприятий.

Образующийся широкий спектр разномасштабной, разнотипной и пространственно-определенной информации, описывающей различные природные и технические объекты и процессы открытой разработки месторождений полезных ископаемых, ставит все новые и новые задачи и проблемы по сбору, обработке, хранению, анализу, систематизации и передаче больших объемов разноплановой информации. 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 (ИС) с широким использованием современных компьютерных технологий.

Благодаря широкому пространству предметной области открытой разработки полезных ископаемых и значительному перечню задач, которые должны решать новые ИС, развитие их происходит высокими темпами. ИС разрабатываются на совершенно 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, разработки многочисленных бизнес-правил и отдельных стандартов, а также возможностей использования различного рода инструментов коммерческих СУБД отечественных и западных производителей. Это все продвинуло ИС на принципиально новый уровень платформ «клиент–сервер» в область информационного обеспечения (ИО) недропользователей, и в том числе с открытой разработкой месторождений полезных ископаемых [2].

Важными особенностями ИС в области недропользования являются следующие [3]:

- 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 и непротиворечивости информации в ИС на основе использования унифицированной системы.

Для этих данных характерно наличие множественных, не согласованных между собой классификаций. Взаимосвязи различных объектов в данной области описываются большим количеством свойств и других характеристик, что накладывает дополнительные условия на гибкость среды хранения данных и организацию доступа к ним — интерфейс.

С другой стороны, ГИС ориентируются на конечного пользователя, в качестве которого выступают разноуровневые управленческие структуры, начиная от органов Комитета геологии и охраны окружающей среды и кончая недропользователями.

Пользователи, в свою очередь, могут быть очень далеки от мира компьютеров, поэтому ИС обязана обладать простым, удобным, легко осваиваемым интерфейсом, который должен предоставить конечному пользователю все необходимое для его работы функции, но в то же время ограничить необходимость выполнять какие-либо лишние действия.

Как отмечено в работе [4], 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.

Широкое распространение по всему миру получили за последние 5-10 лет специализированные интегрированные горно-геологические компьютерные системы DATAMINE, SurvCADD, SURPAC, MICROMINE, TECHBASE, GEMCOM, GEOSTAT и др.[5], которые коммерциализованы и 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 и практически не используют оптимизационные методы.

Разработанные в дальнем зарубежье ГИС, такие как GIPSIE, PRE/MIER, РЭГМЭП, ПАТРИК [4, с.270], предназначены для решения различных задач в геологии, МАРИКА - для землепользования, а известные Российские системы АЛИСА и РЕГИОН [6] - для прогнозных работ по различным видам полезных ископаемых и их оценки.

Большой шаг вперед в развитии теории и практики объектно-ориентированного моделирования и геоинформатики представлен в работе [7]. Разработаны и представлены метод и алгоритм моделирования в автоматизированных системах управления (АСУ) и обработки информации горнопромышленных предприятий.

Наиболее эффективным инструментом решения проблем больших и сложных систем является объектно-ориентированный подход и его отдельные фрагменты как более совершенные и целенаправленные методологии сегодняшнего дня, позволяющие решать проблемы сложных динамических систем, к которым относятся современные карьеры, и методология обеспечения устойчивости граничных и временно нерабочих бортов и их конструкции. Объектно-ориентированная технология - это анализ, проектирование и программирование сложных систем. При этом ключевым моментом объектно-ориентированной методологии являются объект и класс, а объектно-ориентированных технологий - объектные модели [7, с.72].

В рамках данного подхода в Республике Казахстан (РК) ведется разработка подсистем мониторинга подземных вод информационно-аналитической системы Государственного мониторинга состояния недр, Государственного банка информации о недрах и недропользовании РК и др.

Разработаны методика, технология и ряд программных решений для эффективной реализации основных стадий проектирования, разработки, апробации и развития ИС в области мониторинга недр и управления недропользованием [8].

Современной Казахстану присущи две тенденции развития: быстрое распространение новых информационных технологий и изменение под влиянием этого процесса многих аспектов социально-экономической жизни. Задачами также многих научных направлений становятся не просто получение данных или информации, а развитие возможностей приобретать, применять знания, накапливать и обновлять информационные ресурсы данного направления. Это определяет связующую роль новых информационных технологий в развитии научных направлений и решении прикладных задач.

1.2 ГИС-проект в горной промышленности

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. При этом каждый объект отличается: разнообразием видов информации, обрабатываемой при научных исследованиях и принятии решений в условиях производства (геоклиматическая, геологическая, геофизическая, гидрогеологическая, горно-техническая, геомеханическая, графическая, технологическая, экологическая, финансово-экономическая, нормативно-законодательная и т.д.); высокой степенью изменчивости, неопределенностью и закономерной недостаточностью исходной информации; динамичностью горного производства в сочетании с необходимой долговременной сохранностью инженерных сооружений и коммуникаций; сложностью и, зачастую, практической невозможностью проведения промышленных и лабораторных экспериментов, необходимостью заменять их приближенными вычислительными экспериментами и экспертизами; пространственно-распределенным взаимодействием с недрами и окружающей средой и необходимостью оптимизации этого взаимодействия на длительный срок.

Геоклиматическая среда включает информацию о рельефе местности, климате, растительном покрове, промышленной и экономической освоенности района месторождения; развитости сельского хозяйства предприятий пищевой и местной промышленности; развитости транспортных, энергетических, тепловых и иных видов коммуникаций; наличие трудовых, водных, топливно-энергетических ресурсов; имеющиеся источники строительного и

минерального сырья, а также информацию о действующих на рынках аналогичных предприятиях, объединениях и группах,

Одним из факторов, влияющих на устойчивость карьерных откосов, являются гидрогеологические условия в районе, к которым относятся: тип и условия залегания подземных вод (верховодка, грунтовка, пластовые, трещинные, карстовые, артезианские и др.); мощность и количество водоносных горизонтов и их пространственное распространение по площади и в глубину, их связь между собой, поверхностными водоемами, режимом питания; гидродинамические показатели водоносных горизонтов.

Таким образом, на разных стадиях оценки устойчивости граничных и временно нерабочих бортов используются следующие данные: влажность, плотность, прочность, угол естественного откоса; предель прочности на сжатие, при растяжении, изгибе, срезе; сцепление, угол внутреннего трения, предел ползучести, пластичность компрессия и водонепроницаемость, капиллярная и максимальная молекулярная влажность, модуль упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, модуль всестороннего сжатия, скорость поперечной волны, скорость предельной волны, акустическая жесткость, коэффициент крепости, минералогический состав, трещиноватость пород и гидрогеологические характеристики массивов горных пород [6].

Широкое распространение получили метод алгебраического сложения сил (метод АСС), предполагающие сдвиг по криволинейной (круглоцилиндрической), плоской (частный случай), волнистой и другим монотонным поверхностям; по характеристикам сопротивления сдвигу для однородных и квазиоднородных пород (метод ГПО); графического и графо-аналитического подходов с использованием многоугольника сил (метод МС); метод пространственного расчета при наличии двух напряженных активных контактов с различными параметрами и характеристиками сопротивлению сдвигу и ряд других методов. Метод, использующие условия предельного равновесия, получили своё развитие в работах многих исследователей. Но наибольшую известность и широкое применение в практике получил метод Г.Л. Фисенко [7]. В этом методе криволинейная часть поверхности скольжения принята круглоцилиндрической, а прямолинейная в верхней части определяется глубиной возникновения площадок скольжения (Н90). В настоящее время метод Г.Л.Фисенко решен аналитически для ведения расчетов устойчивости откосов на компьютере.

М.Е. Певзнер [8] выделил четыре класса методов: 1) класс А - метод построения контура откоса, являющегося внешней границей зон, во всех точках которой удовлетворяется условие предельного равновесия; 2) класс Б - метод построения контура откоса, вдоль которого удовлетворяется равенство углов наклона касательной углу сопротивления сдвигу; 3) класс В - метод с построением в массиве откоса поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие предельного равновесия; 4) класс Г - метод с построением в массиве поверхности скольжения, вдоль которой

удовлетворяется условие специального предельного равновесия. В свою очередь в каждом классе выделено от 2 до 5 групп.

В настоящее время разработано много расчётных схем, учитывающих структуру массива. Схем расчёта учитывают все возможные случаи сочетания поверхностей ослабления, образующие породные призмы вероятностного обрушения. Соглашаясь в принципе с видом обрушения анизотропного массива, предопределяя ту или иную расчётную схему, исследователи практически ни по одной из них не дают единого решения, как нет и единых конечных результатов при одних и тех же исходных данных.

Это говорит о сложности рассматриваемого вопроса. Так, например, по схеме с подрезкой откосов двух систем диагональных поверхностей ослабления известно более десяти графических, графоаналитических и аналитических решений, использующих те или иные допущения в исходных условиях.

Исследование вопросов, связанных с задачей устойчивости откосов уступов и бортов карьеров, ведётся практически для каждого конкретного месторождения, так как специфические условия их разработки открытым способом требуют тщательного изучения всех влияющих факторов. В результате предложено большое число различных методик при изучении отдельных аспектов рассматриваемой задачи [10].

Таким образом, из всего многообразия факторов, влияющих на устойчивость откосов, 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.

1.3 Представление объекта исследования

Недра Казахстана содержат в промышленных масштабах практически все виды минерального сырья, используемого в металлургии, строительстве, химическом производстве и энергетике. Разработка большинства месторождений в настоящее время осуществляется открытым способом. Одним из таких месторождений являются Актогай в Восточно-Казахстанской области. Месторождение «Актогай» – крупномасштабный медный рудник, как Бозшаколь, открытого типа. Производство катодной меди из окисленной руды началось в декабре 2015 года, а уровень проектного производства был достигнут 1 июля 2016 года. Производство медной руды началось в первом квартале 2017 года, а уровень проектного производства был достигнут 1 октября 2017 года. Годовая мощность по переработке руды действующей обогатительной фабрики составит 25 млн тонн. Срок эксплуатации рудника по переработке руды составляет 25 лет.



Рис.1.1- Актогайский крупный горно-рудный проект

Актогайский горно-рудный район находится между Балхаш-Алакульской впадиной и хребтом Тербагатай (Северо-Восточное Прибалхашье) в области развития мелкосопочника, денудационных аккумулятивных равнин. Абсолютные отметки их составляют 430-470 м (г.Колдар) и 356 м (урочище Кель). В структурном отношении район расположен в пределах Баканасского синклинория Джунгаро-Балхашской складчатой системы.

Месторождение Актогай располагается в восточной части вулканического глубинного пояса, который простирается вдоль северной части озера Балхаш и содержит несколько медно-порфировых месторождений, включая месторождение Коунрад недалеко от озера Балхаш, которое разрабатывается с 1934 года и где уже добыто 1000 млн. тонн руды с содержанием меди в 0,55%. Схематическая геологическая карта на рисунке 2.1 ниже показывает протяжение этого вулканического глубинного пояса и местоположение известных медно-порфировых, молибдено-порфировых и скарновых месторождений и залежей.

Для построения геологической карты использовалась государственная геологическая карта территории масштаба 1:200000 (М.Б.Стааль, 1958; А.А.Розенкранц, 1959) отредактирована в 1979 год (Л.М.Скляренко и др.). Район месторождения закартирован и опоскован в масштабе 1:50000 (М.Б. Мьчник и др., 1976). Рудное поле картировалось в 1975-1978 гг. в масштабе 1:10000 (А.М.Красников и др., 1979). В данном отчете материал геологической съемки масштаба 1:10000 трансформирован в масштаб 1:25000. Участок месторождения картировался в масштабе 1:2000 исполнителями Актогайской ГРП в 1975-1979 гг. (В.К. Шульга, Б.С.Варновских,

П.Н.Сметливый, Л.А. Сергеев, В.Ф.Зябкин). Окончательный вариант карт, увязанный с разрезами, погоризонтными планами с учетом массового пересмотра шлифов и переинтерпретации геофизических материалов составлен В.Ф.Зябкиным и Т.М.Волькиной. Материал геологической съемки масштаба 1:2000 трансформирован в масштаб 1:5000.

При составлении геологических карт всех масштабов использовались материалы аэрофотосъемки и результат дешифрирования космо- и аэрофотоматериалов (Ф.М. Ибрагимов и др., 1979), а также результат интерпретации материалов площадных геофизических работ ЮККГГЭ масштабов 1:50 000-1:10 000. Комплексная интерпретация материалов геофизических работ осуществлялась на ЭВМ КОМЭ Мингео КазССР.

Геологические и геофизические данные показывают, что Колдарский интрузивный массив представляет собой лакколит, состоящий из диорита и гранодиорита. Открытая часть этой интрузии простирается с запада на восток примерно на 17 км и занимает площадь в 75 км². С двух сторон месторождения Актогай, внутри того же массива, находятся два сопутствующих медно-порфировых месторождения: Айдарль, 3 км на западо-северо-запад, и Къзьלקия, 5 км на восток-северо-восток. Геофизические данные показывают, что лакколит утолщается и распространяется по площади в 216 км² на глубине от 1 до 2 км ниже его открытой вершинной части, а затем резко уменьшается в размерах, переходя в три жилы. Основная жила расположена между Айдарль и Актогай и простирается на глубину по крайней мере 4,7 км. Подъем магмы выгнул крышу интрузивного массива и сформировал горст-антиклиналь. Позднее небольшая кальдероидная депрессия сформировалась к востоку от основной жилы. Кальдера охватывает площадь в 5,5 км², включая большую часть месторождения Актогай; она заполнена вулканическими и осадочными породами Керегетасской свиты толщиной до 600 м, что получило название Центрально-Актогайский ксенолит.

Расположение Колдарского интрузивного массива и связанная с ним гидротермальная активность структурно контролировались образованием разломов, связанных с возникновением зон разломов Актогай, которая имеет направление 290°, и с образованием разломов, ориентированных примерно на 060°. Месторождения Айдарль и Актогай находятся в зоне разломов Актогай, в то время как месторождение Къзьלקия находится в зоне разломов Икбасс, ориентированной на северо-восток.

В современном эрозионном срезе Колдарский массив имеет линзовидную форму и вытянут в субширотном направлении. Размер массива 17x4 – 8 км, площадь – 75 км². Осевая линия его изогнута в северном направлении. По данным интерпретации гравии и магниторазведки, а также сейсморазведки МОВ массив имеет форму лакколита с сильно опущенным южным крылом и четко выраженным подводным каналом, расположенным со стороны висячего бока глубинного шовного разлома актогайского направления. Шейка лакколита прослеживается до глубины 4,7 км. На глубине

около 4 км корневая часть в сечении имеет форму эллипса, площадью около 4 км². Проекция этого элемента массива на современную поверхность приходится на участок между месторождениями Актогай и Айдарль. С глубинь 3 км нижняя кромка массива выволаживается, а сам массив залегает субсогласно в вулканитах керөгетасской свиты, имеющих мощность до 2500-2600 м. Кроме отмеченного подводющего канала в восточной и западной частях лакколита, намечается еще два более мелких сходных прогиба подошвы. Наиболее резкое изменение глубинь нижней кромки интрузии отмечается к востоку от её корневой части. В непосредственной близости от месторождения Актогай она сокращается с 3 до 2 км, а далее к востоку, возможно, до 500 м. По данным интерпретации материалов геофизических методов разведки глубинные части западного фланга лакколита, а также его восточная часть сложены более кислыми разновидностями, вероятно гранодиоритами, площадь развития гранитоидов повышенной основности составляет на разных уровнях от 20 до 35%. Собственно гранит приурочен к северной части лакколита, без четко выраженной корневой части. Площадь их составляет 14 км², а на глубине 0,5-1 км – до 58 км². Большая часть массива не обнажена – проекция всех его глубинных частей на дневную поверхность составляет 216 км².

В центральной приповерхностной части лакколита, к востоку от его подводющего канала, обнажается останец вулканогенных и осадочно-вулканогенных отложений керөгетасской свиты (“Центрально-Актогайский ксенолит” по Ю.К.Кудрявцеву (1979)), имеющий вертикальную мощность до 600 м. Площадь ксенолита около 5,5 км². Группа исследователей КазНИИМСа (Полетаев.А.И.1979) рассматривает его как чашеобразную вулканотектоническую депрессию. Более мелкий ксенолит известняков, предположительно средне-верхнедевонского возраста, обнажается в районе поселка геологоразведчиков, к северу от корневой части интрузии. Площадь его составляет 0.2 км² (рис.1.2).

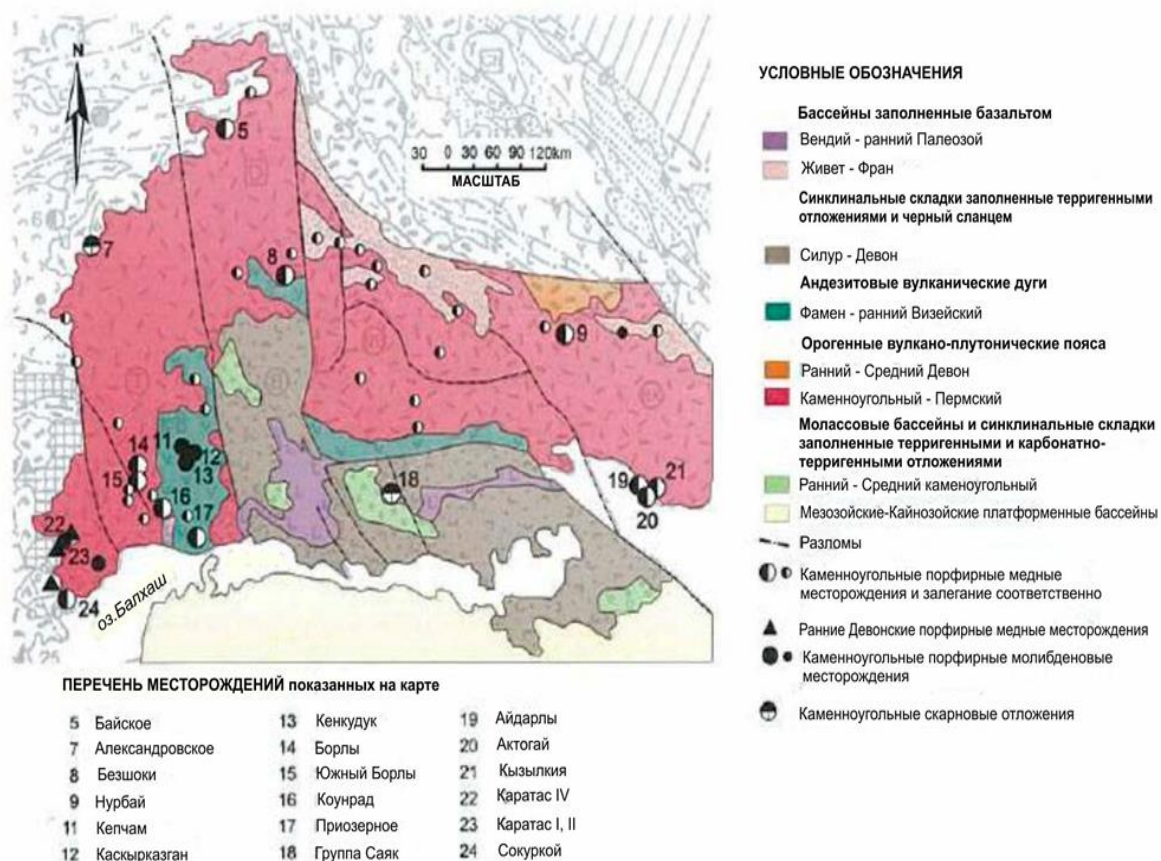


Рис.1.2- Геологическое моделирование

Инженерно-геологические условия разработки месторождения Актогай обусловлены метасоматически переработанными вулканогенными и интрузивными породами, разбитыми серией тектонических нарушений в основном субширотного направления. Вмещающие осадочно-вулканогенные породы залегают в виде останков кровли на рвущих их интрузивных образованиях. Первые представлены туфами, туфолавами и лавами кислого и среднего составов. К комплексу интрузивных пород относятся мелко- и среднезернистые диориты, диоритовые порфиры, гранодиориты. Дайковые тела представлены диабазовыми и андезитовыми порфирами. Мощности их колеблются от нескольких метров до первых десятков метров.

Геологическое строение месторождения отличается сложными пространственными взаимоотношениями контуров как в плане, так и на разрезах. Контакт пород часто трудно уловить из-за близости вулканогенных и интрузивных пород по химизму и физическим свойствам.

Форма рудного штока и глубина залегания руд предопределили разработку месторождения открытым способом до глубины 585 м.

Параметры карьера. Согласно рекомендациям горно-консалтинговой компании АМС, изложенным в горной части PFS "Aktogay Sulfides Combined", АМС report и Geotechnical study of pit bench stability, АМС report, а также исследованиям, проведенным институтом ВНИИЦвМет по обоснованию устойчивых параметров уступов и бортов карьеров при отработке

месторождения Актогай принять параметр уступов и бортов карьеров, приведенные в таблице 1.1-1.3.

Таблица 1.1 Параметр уступов и углов наклона бортов карьера

Наименование	Тип массива бортов карьера		
	Грунт	Выветрелая порода	Скальная порода
Глубина	0 – 5 м	5 – 50 м	50 м - дно карьера
Угол откоса уступа	35°	50°	60°
Высота уступа	5 м	10 м	20 м
Ширина бермы безопасности	8 м	8 м	10 м
Угол между рампами	18.3°	31.4°	44.2°

Таблица 1.2 Проектные углы наклона бортов карьера

Наименование борта карьера	Выветренная порода	Невыветренная порода
Западный борт	41°	43°
Восточный борт	40°	39°
Северный борт	35°	38°
Южный борт	37°	40°

Таблица 1.3 Основные параметры карьеров по вариантам

Наименование	Единица измерения	Показатели
1	2	3
Высотная отметка дна карьера (Балтийская система)	м	+90
Глубина	м	340
Длина:		
- по дну	м	1390
- по поверхности	м	2545
Ширина:		
- по дну	м	370
- по поверхности	м	2250
Площадь карьера по поверхности	тыс. м ²	3932
Товарные запасы руды, в том числе:		
Окисленные руды	млн. т	101,6
Сульфидные руды	млн. т	1397
Вскрыша	млн. м ³	136,9
Горная масса	млн. м ³	713,4
Средний коэффициент вскрыши	м ³ /т	0,09

В карьере предусмотрены четыре въезда из карьера – один на южном борту карьера для вывозки сульфидной руды из карьера на стационарную дробилку на дневной поверхности и два – на восточном и западном бортах карьера для вывозки вскрышных пород из карьера на внешние породные отвалы. Четвертая транспортная берма служит для вывозки руды и вскрыши из северо-западной чаши карьера.

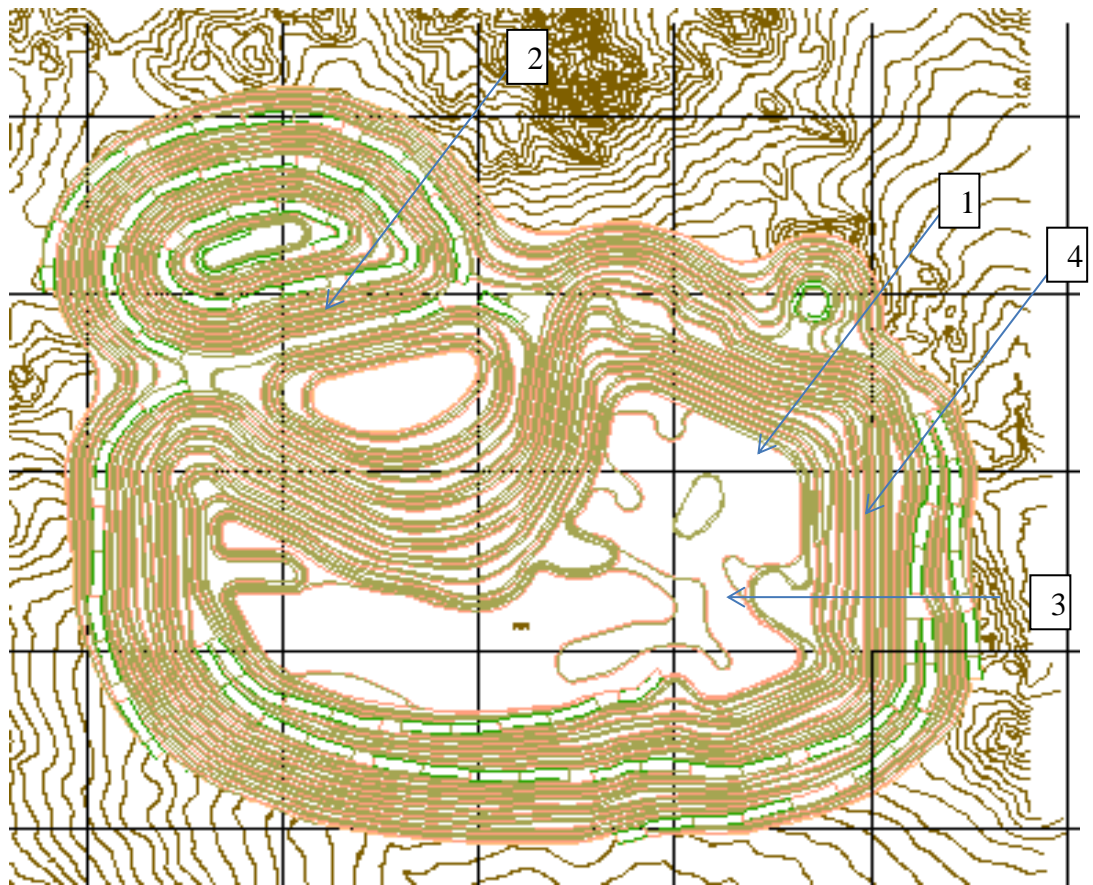


Рис.1.3- Карьер

1 – основная чаша карьера; 2 – северо-западная чаша карьера; 3 – рудовозная транспортная берма в карьере; 4 - транспортная берма для въезки вскрышных пород из карьера.

Параметр автотранспортных берм принять также в соответствии с «Нормами технологического проектирования предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки» МЦМ СССР ВНТП-35-86 с учетом «Требований промышленной безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом»:

- Двухполосная транспортная берма шириной 33 по варианту 1 и 30 м по варианту 2;
- Однополосная транспортная берма дна карьера шириной 23 м;
- Угол наклона транспортной бермы - 8%;
- Горизонтальные вставки в транспортную берму, сопряженные с бермами безопасности, длиной 50 м на каждые 600 м наклонной части транспортной бермы.



Рис. 1.4 -10 стадии развития карьера

Выбор систем разработки и, соответственно, комплекта основного горного и транспортного оборудования в высшей степени влияет на уровень технико-экономических показателей, достигаемых в карьере.

Доставка пород вскрыши во внешние отваль, а также руды на перегрузочные площадки или непосредственно на обогатительную фабрику, возможна различными видами транспорта: автомобильным, железнодорожным, конвейерным, комбинированным.

Основным достоинством применения автомобильного транспорта при отработке карьера является его большая оперативность, отсутствие в карьере и на отвалах перегрузочных пунктов.

1.4 Применение современных приборов и программных продуктов при маркшейдерском обеспечении на месторождении Актогайского ГОКа

Новейшее программное обеспечение помогает повысить скорость обработки маркшейдерских данных, повысить их точность и достоверность, сократить в несколько раз затраты на рутинные операции при выполнении задач

маркшейдерского сопровождения, перейти на новый качественный уровень представления маркшейдерских данных и подготовки отчетной маркшейдерской документации. Первостепенной задачей новых программ является минимизация человеческого фактора. И как следствие, эта возможность перехода на безбумажную технологию работ при обработке пространственных данных и формирования отчетной документации.

Первоочередной задачей маркшейдерского дела является составление планов горного предприятия, обеспечивающих нормальное функционирование производства и отображающих как состояние недр совместно с проведенными в них выработками, так и сооружения на земной поверхности.

Плановая и высотная геодезическая основа на открытых разработках создается методами триангуляции или полигонометрии и нивелированием, а также с применением спутниковых навигационных систем. По точности она должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к опорным маркшейдерским сетям на земной поверхности.

Как правило, опорная сеть на территории деятельности предприятия представляет собой сеть сгущения, созданную на основе государственной геодезической сети. Конструкция опорных сетей в зависимости от форм залежей, рельефа местности, характера горных работ может быть в виде цепи треугольников, центральной системы, четырехугольников, вставок в угол и т. д.

Территория деятельности каждого отдельно расположенного горного предприятия независимо от размеров и глубин разработок должна быть обеспечена не менее чем двумя пунктами опорной сети, а на крупных карьерах — тремя пунктами.

При построении опорных сетей должны соблюдаться следующие условия:

- равномерное размещение пунктов на отвалах и бортах карьеров;
- обеспечение видимости каждого пункта на обширной территории горных работ;
- обеспечение возможно более длительного срока сохранности пунктов;
- наиболее близкое расположение пунктов от неподвижных бортов;
- учет перспектив развития горных работ и рекультивации земель.

Для обеспечения необходимой точности маркшейдерских работ средние квадратические погрешности определения положения пунктов плановой опорной сети относительно исходных не должны превышать 0,1 м, а взаимное положение пунктов плановой опорной сети должно быть определено с СКО не более 0,03 м.

На рис 1.5 синими линиями обозначена сетка маркшейдерской сети на территории Актогайского ГОКа. Возле сульфидного завода расположена основная постоянная база GPS с известными координатами. Сравнивая координаты известной точки полученные со спутника с исходными мы видим

величину ошибки в каждой из трех координатных осей, затем эта величина применяется к полученным координатам определяемой точки.

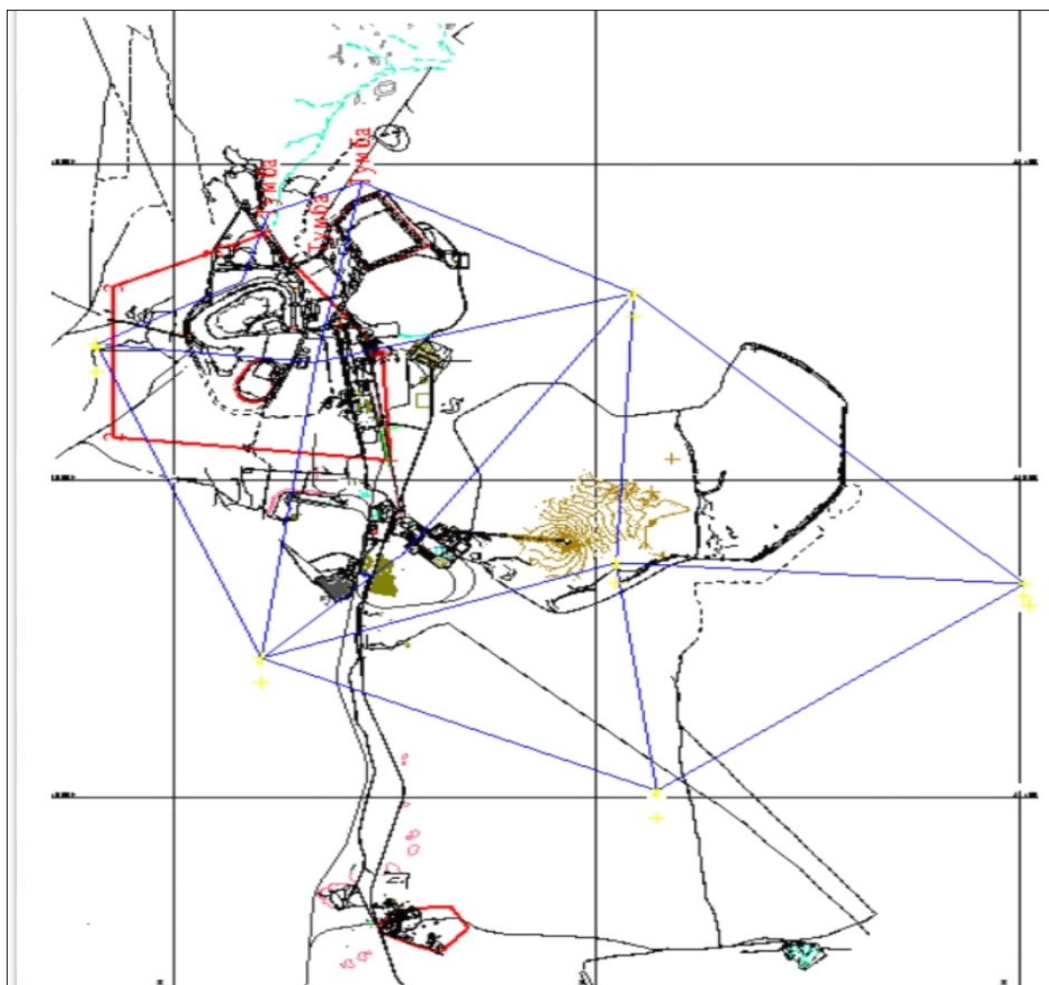


Рисунок 1.5 - Маркшейдерская опорная геодезическая сеть

Работы, выполняемые высокоточными GPS приборами

Базовый приёмник в течение всего процесса измерений располагается на пункте геодезической основы с известными координатами. Ровер перемещается по определяемым точкам или участвует в процессе выноса точек в натуре. Результатом объединения данных, полученных этими двумя приёмниками, является пространственный вектор между базой и ровером. Этот вектор называется базовой линией.

Для определения положения ровера относительно базы вы можете использовать различные методы измерений. Эти методы отличаются длительностью выполнения измерений:

Для измерений в реальном времени используется радиомодем, который передаёт данные базе роверу. Результаты получаются непосредственно в поле.

Принцип определения координат приёмника достаточно прост. Они получаются методом обратных засечек от передатчиков спутников. Обо всем

по порядку. Передатчик и приемник имеют высокоточные часы. В спутнике они атомные с погрешностью 10^{-9} секунд/год. В приемниках часы попроще, но тоже гораздо точнее наручных. Передатчик передает кодированный сигнал с данными о времени передачи, своей орбите и координатах и многое другое. Сигнал со скоростью света достигает приемника и обрабатывается им. Время передачи и приема различается на незначительную величину, но именно по этим данным можно определить расстояние до спутника. Поэтому и часы должны быть очень точными. Расстояние есть скорость помноженная на время. Перемножив скорость света и время прохождения сигнала и определяется пространственная засечка. И так происходит со всеми спутниковыми сигналами.

Получается, что в каждый момент времени приемник получает одновременно сигналы от нескольких спутников и определяет свое местоположение относительно их. Понятно, что спутники постоянно движутся по разным орбитам, и приемник не стоит на месте. Учет этих и других факторов ложится на вычислительную мощь приемника и наземных центров управления системой.

Помимо подсчета добычи маркшейдерские замеры горных выработок и складов полезного ископаемого с использованием GPS измерениями проводят с целью:

- определения продвигания и длин подготовительных выработок
- определения длин и продвигания забоев, откуда добывается полезное ископаемое;
- контроля соответствия ведения горных работ проектным
- получения детализирующих данных для составления планов горных работ, структурных разрезов по вынимаемым участкам для учета запасов потерь и разубоживания (засорения) добываемого полезного ископаемого

До выполнения съёмочных работ с применением GPS измерений маркшейдер использует программу MineOPS jigsaw для анализа работ выполненной погрузочной техникой, чтобы определить отработанные контуры, а также разгрузки самосвалами. После чего уже осуществляется замер выбранных участков.

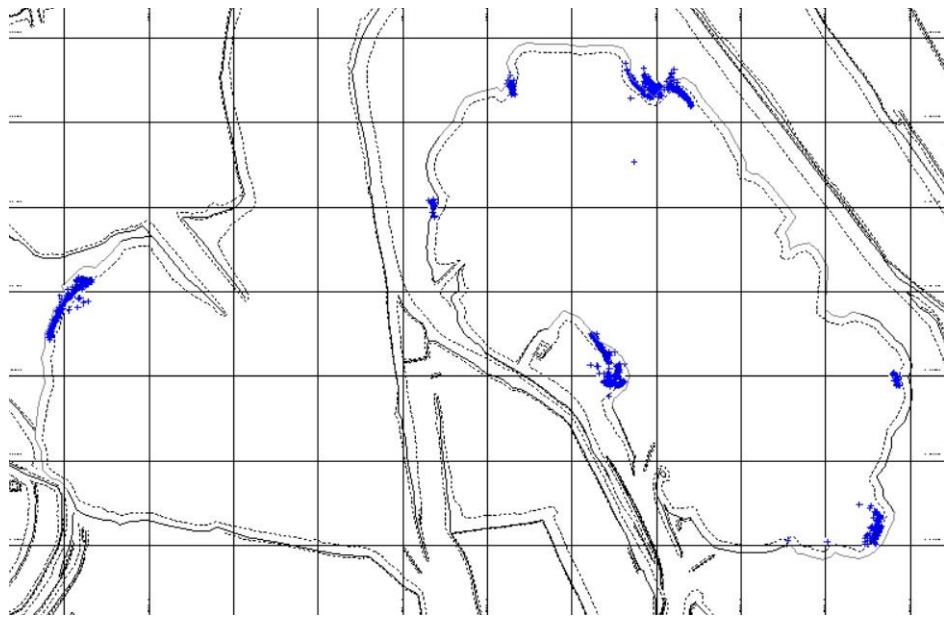


Рис.1.6 - Данные с программь Mine OPS jigsaw на плане горных работ

Разбивочные работы (или вынесение проекта в натуру) – это определение и закрепление на местности точек, линий и плоскостей, определяющих плановое и высотное положение проектного контура карьера, скважин, объекта и т.д. Эти работы служат для контроля ведения горных работ согласно проектному контуру (рис.1.7).

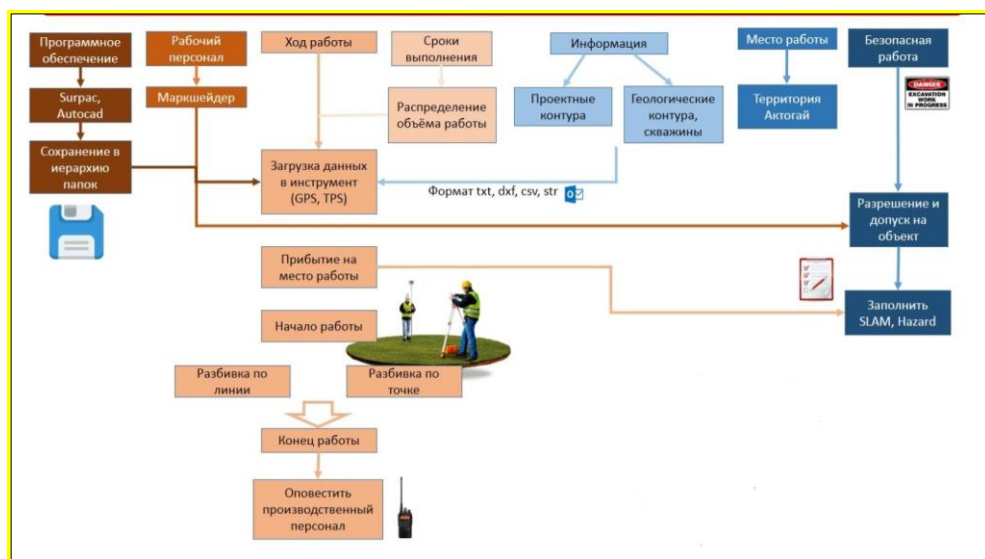


Рис.1.7- Схема процесса разбивочных работ выполняемых маркшейдерской службой

На данной схеме показан весь процесс выполнения разбивочных работ. В первую очередь маркшейдер получает проектные контура от отдела проектирования или координаты устья геоскважин от геологического отдела в формате txt, dxf, csv, str потом эти данные загружает в gps прибор и выносятся на местности путем закрепления деревянными кольшками. Но не всегда этот процесс является оптимальным для решения задачи с учетом техники

безопасности и большим количеством работ. Программа MineOPS jigsaw помогает решить ряд задач, выполняемых маркшейдерским отделом.

Выполненный анализ современного состояния изученности вопросов оценки и обеспечения устойчивости карьерных откосов, показал, что исследования, проведенные рядом научно-исследовательских, проектно-конструкторских институтов и высших учебных заведений и учеными как, Г.Л. Фисенко, М.Е. Певзнер, А.Ж. Машанов, В.Н. Попов и др., позволили заложить научные основы решения задач управления и внедрить их на практике. Однако, несмотря на достигнутые успехи, проблема обеспечения устойчивости и контроля откосов глубоких карьеров с учетом современных маркшейдерских и геотехнических методов решена далеко не достаточно и требует дальнейшего совершенствования.

На основании проведенного анализа, нами предложена методика комплексной системы геомеханического мониторинга, включающей в себя: периодические маркшейдерские и инженерно-геологические наблюдения за состоянием откосов; оценку и прогноз геомеханических процессов, происходящих в массиве (рис 1.8).

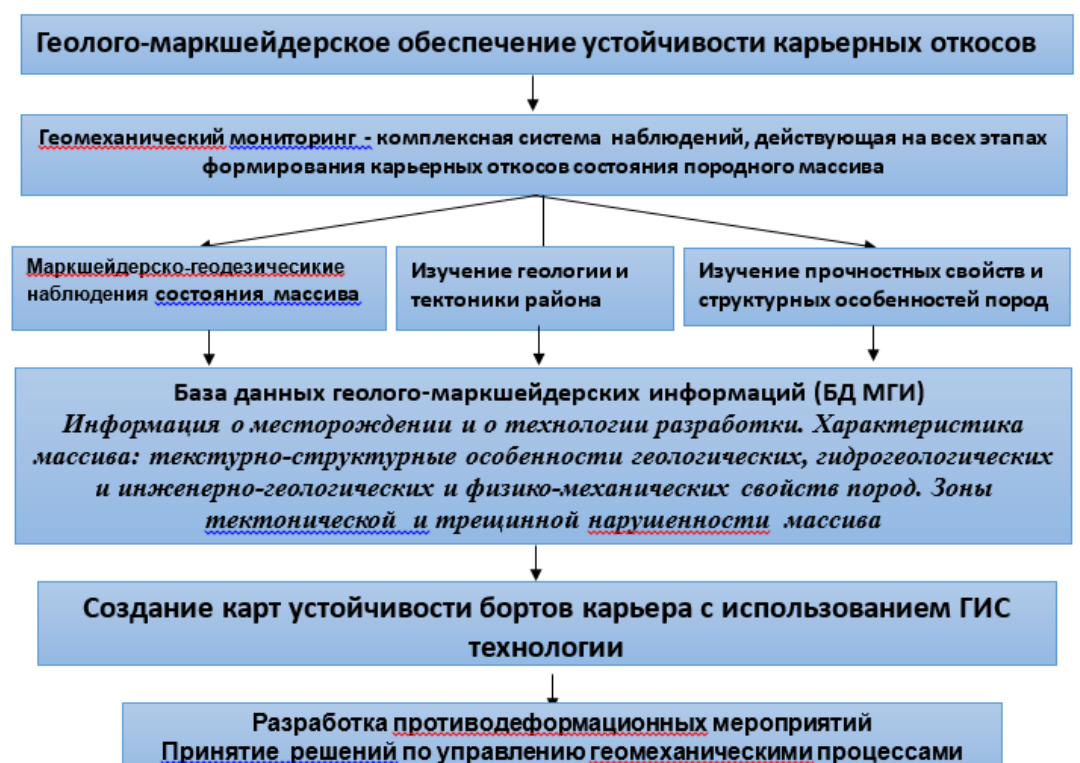


Рис.1.8 - Схема методики геолого-маркшейдерского обеспечения устойчивости карьерных откосов

Реализация данной методики позволяет обеспечить безопасные условия труда и бесперебойный режим работы горнодобывающего предприятия. Предложенная методика представлена на следующем слайде.

Именно с этой позиции поставлена цель и задачи исследования

Вывод по главе, постановка цели и задач

В результате проведенного анализа использованных источников можно сделать следующие выводы:

1. Анализ существующего состояния проблем создания больших и сложных динамических систем показал, что в последние годы созданы теоретические основы анализа и синтеза и объектно-ориентированного подхода к решению проблем больших и сложных систем.

2. Оценка устойчивости бортов карьера должна выполняться на основе надежных и достоверных данных, характеризующих реальную геологическую ситуацию, в частности, трещиноватости и структурных особенностей прибортового массива.

3. Применение компьютерной техники при обработке результатов массовых замеров трещиноватости прибортовых массивов позволит повысить точность оценки исходных материалов и увеличить производительность при камеральной обработке.

Цель работы. С целью обеспечения промышленной безопасности и эффективной работы предприятия создание карт устойчивости бортов карьеров с использованием ГИС технологий

Задачи исследований:

- анализ материалов по созданию карт устойчивости бортов карьеров;
- изучение программного комплекса Surpac для планирования и автоматизации горных работ;
- анализ компонентов ГИС применительно к прогнозированию устойчивости карьерных откосов;
- методика создания карт устойчивости карьерных откосов.
- создание карт устойчивости бортов карьера применительно месторождению Актогай

Метод исследования. При выполнении работы использовался комплексный метод исследований, включающий инновационных технологий для решения маркшейдерских задач, изучение программного комплекса Surpac, анализ компонентов ГИС и методику создания карт устойчивости карьерных откосов. инновационных технологий для решения маркшейдерских задач.

Научная новизна исследований.

1. Разработана методика геолого-маркшейдерского обеспечения устойчивости карьерных откосов для оценки состояния прибортовых массивов

2. Впервые создана карта устойчивости бортов в геоинформационной системе Surpac с использованием результатов состояния прибортовых массивов, что позволила поднять уровень выполняемых маркшейдерских работ на руднике.

2 РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ ГИС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТЬЮ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

2.1 Геоинформационная система и ее компоненть

Геоинформационная система (ГИС) - это ИС, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ и отображение пространственных данных и связанных с ними непространственных, а также получение на их основе информации и знаний о географическом пространстве.

Считается [24], что географические или пространственные данные составляют более половины объема всей циркулирующей информации, используемой организациями, занимающимися разными видами деятельности, в которых необходим учет пространственного размещения объектов. ГИС ориентирована на обеспечение возможности принятия оптимальных управленческих решений на основе анализа пространственных данных.

Современные ГИС расширили использование карт за счет хранения графических данных в виде отдельных тематических слоев, а качественных и количественных характеристик составляющих их объектов в виде БД. Такая организация данных при наличии гибких механизмов управления ими, обеспечивает принципиально новые аналитические возможности.

В настоящее время на рынке программных продуктов представлено несколько видов систем, работающих с пространственно распределенной информацией, к ним в частности, относятся САПР, автоматизированного картографирования и ГИС. ГИС по сравнению с другими автоматизированными системами обладают раз- витыми средствами анализа пространственных данных.

Большинство современных ГИС осуществляют комплексную обработку информации. Обобщенные функции ГИС-систем [25]:

1. Ввод и редактирование данных.
2. Поддержка моделей пространственных данных.
3. Хранение информации.
4. Преобразование систем координат и трансформация картографических проекций.
5. Растрово-векторные операции.
6. Измерительные операции.
7. Полигональные операции.
8. Операции пространственного анализа.
9. Различные виды пространственного моделирования.
10. Цифровое моделирование рельефа и анализ поверхностей.
11. Вывод результатов в разных формах.

В качестве источников данных для формирования ГИС служат [27]:

– картографические материалы (топографические и общегеографические карты, карты административно-территориального деления, кадастровые планы

и др.). Сведения, получаемые с карт, имеют территориальную привязку, поэтому их удобно использовать в качестве базового слоя ГИС.

– данные дистанционного зондирования (ДДЗ) все шире используются для формирования БД ГИС. К ДДЗ, прежде всего, относят материал, получаемый с космических носителей. Для дистанционного зондирования применяют разнообразные технологии получения изображений и передачи их на Землю; носители съемочной аппаратуры (космические аппараты и спутники) размещают на разных орбитах, оснащают разной аппаратурой. Благодаря этому получают снимки, отличающиеся разным уровнем обзорности и детальности отображения объектов природной среды в разных диапазонах спектра (видимый и ближний инфракрасный, тепловой инфракрасный и радиодиапазон). Все это обуславливает широкий спектр экологических задач, решаемых с применением ДДЗ.

К методам дистанционного зондирования относятся и аэро- и наземные съемки, и другие неконтактные методы, например гидроакустические съемки рельефа морского дна. Материал таких съемок обеспечивают получение как количественной, так и качественной информации о различных объектах природной среды.

– результаты полевых обследований территорий, включают геодезические измерения природных объектов, выполняемые нивелирами, теодолитами, электронными тахеометрами, GPS приемниками, а также результаты обследования территорий с применением геоботанических и других методов, например, исследования по перемещению животных, анализ почв и др.

– статистические данные содержат данные государственных статистических служб по самым разным отраслям народного хозяйства, а также данные стационарных измерительных постов наблюдений (гидрологические и метеорологические данные, сведения о загрязнении окружающей среды и т. д).

– литературные данные (справочные издания, книги, монографии и статьи, содержащие разнообразные сведения по отдельным типам географических объектов). В ГИС редко используется только один вид данных, чаще всего это сочетание разнообразных данных на какую-либо территорию.

К основным компонентам ГИС относят: технические (аппаратные) и программные средства, информационное обеспечение (см.рис.2.1).

Технические средства – это комплекс аппаратных средств, применяемых при функционировании ГИС: рабочая станция или персональный компьютер (ПК), устройства ввода-вывода информации, устройства обработки и хранения данных, средства телекоммуникации.

Ввод данных реализуется с помощью разных технических средств и методов: непосредственно с клавиатур, с помощью дигитайзера или сканера, через внешние компьютерные системы. Пространственные данные могут быть получены современными геодезическими приборами, либо по результатам обработки космических снимков.

Программные средства – совокупность программных средств, реализующих функциональные возможности ГИС, и программных документов, необходимых при их эксплуатации.

Структурно ПО ГИС включает базовые и прикладные программные средства.

Базовые программные средства включают: операционные системы (ОС), программные среды, сетевое ПО и системы управления БД. Операционные системы предназначены для управления ресурсами ЭВМ и процессами, использующими эти ресурсы.

На настоящее время основные ОС: Windows и Unix.

Любая ГИС работает с данными двух типов данных - пространственными и атрибутивными, следовательно, ПО должно включить систему управления базами тех и других данных (СУБД), а также модули управления средствами ввода и вывода данных, систему визуализации данных и модули для выполнения пространственного анализа.

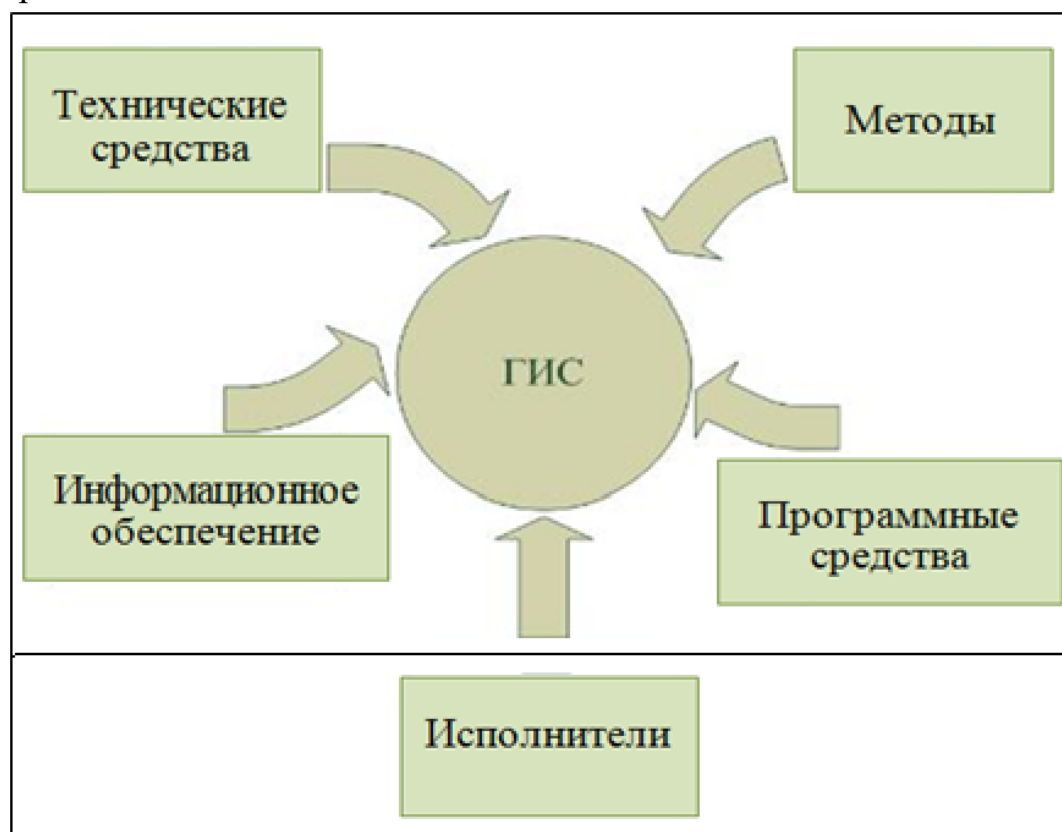


Рисунок 2.1 – Компоненты ГИС

Прикладные программные средства предназначены для решения для специализированных задач в конкретной предметной области и реализуются в виде отдельных модулей (приложений) и утилит (вспомогательных средств).

Информационное обеспечение – совокупность массивов информации, систем кодирования и классификации информации. Информационное обеспечение составляют реализованные решения по видам, объемам, размещению и формам организации информации, включая поиск и оценку

источников данных, набор методов ввода данных, проектирование БД, их ведение и метасопровождение. Особенность хранения пространственных данных в ГИС – их разделение на слои.

2.2 Компонент ГИС применительно к прогнозированию устойчивости карьерных откосов

Требования к компонентам ГИС определяются, в первую очередь, пользователем, перед которым стоит конкретная задача (учет природных ресурсов, устойчивости бортов карьера, управление инфраструктурой города, и т.д.), которая должна быть решена для определенной территории, отличающейся природными условиями и степенью ее освоения.

Создание информационной среды систем прогнозирования устойчивости карьерных откосов.

ГИС систем прогнозирования устойчивости карьерных откосов, как любая информационная среда, состоит из информационных ресурсов и метаданных. Информационный ресурс – это специальным образом подготовленные и организованные фрагменты информации предметной области систем и только такого содержания, необходимость использования которой предусмотрено потребителями систем.

На устойчивость уступов бортов карьера влияют природные и технологические факторы (рис.2.1)

Поступающая в систему внешняя информация на вход приемника информации систем включает географо-климатическую, геологическую, горнотехническую, технологическую, экологическую информацию, которые формируются как факторы, влияющие на устойчивость откосов бортов карьера, а данной системой только потребляется.

Внешняя входная гео-климатическая информация, как правило, должна содержать данные: о климате и рельефе территории отведенной для недропользования и данные о её санитарно эпидемиологическом состоянии промышленной, сельскохозяйственной и экономической освоенности территории; информацию о воздушной среде, земельных и почвенных ресурсах; о растительном покрове и животном мире и наличии трудовых, водных, топливно-энергетических ресурсов, а также существующих или отсутствующих на данной территории заповедных зон, месторождений и рудопроявлений. Кроме того в составе климатических данных необходимо учитывать такие факторы как количество атмосферных осадков, скорости ветра и количество ветреных дней в году, температура воздуха и её колебания, глубина промерзания почв, туманы и т.п.



Рис.2.2 – Совокупность факторов, влияющих на устойчивость бортов карьера

Геологическая входная информация сложных интегрированных систем должна включать БД (показатели и параметр) о геологической, гидрогеологической, и инженерно-геологической характеристиках полезных ископаемых, вмещающих и покрывающих их горных пород прибортовых массивов. Геологическая среда в целом представляет земную литосферу, обладающую пространственной и временной неоднородностью. Она характеризуется развитием блочно-иерархических структур, концентрацией напряжений и накоплением упругой энергии на неоднородностях, движением отдельных структур в мантии и земной коре и сложной реакцией массивов горных пород на внешние техногенные воздействия.

Горнотехническая информация должна содержать: общетехническую и технологическую информацию, которая необходима для: выполнения работ по горно-геометрическому анализу и установлению границ карьерного поля; выбору рационального направления развития, режима и календарных планов горно-транспортных работ; обоснованию технологии и комплексной механизации основных и вспомогательных процессов, а также обоснованию производительности карьера по полезному ископаемому и вскрышным

породам; оптимизации карьерных грузопотоков, схем, систем вскрытия и подготовки рабочих горизонтов; выбору рациональной системы разработки и её параметров и показателей. Кроме принятия основных технических и технологических решений при проектировании открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации карьера, выполняются многочисленные расчеты, графические построения и рабочие чертежи по: обоснованию осушения карьера, дренажа и водоотведению карьерных вод; вентиляции карьерного поля, энерго- и водоснабжения предприятия, а также по транспортным и иным коммуникациям, связи, АСУ и их примыканий к существующим системам и т. п.

Важным блоком в информационных ресурсах интегрированных автоматизированных систем оптимизации параметров бортов карьеров, отводится технологической информации представляющей результаты научно-исследовательских, проектно - изыскательских, лабораторных и опытно-промышленных работ. При этом вместе с расчетными методами широко применяются различные методы моделирования и в том числе математического, обеспечивающие выбор рациональных технологических схем, процессов и способов подготовки сырья для переработки, его обогащения, концентрации и получения кондиционной продукции.

2.2. Технические средства сбора геопространственных данных

Сбор вышеперечисленной информации о состоянии массива горных пород осуществляется геодезическими, геологическими, маркшейдерскими службами горных предприятий при помощи оптико-механических и электронных приборов. И ведение геомеханического мониторинга с использованием современных геодезических приборов требует высокого уровня навыков и знаний.

Быстрое развитие геодезической науки и техники в последнее десятилетие характеризуется внедрением в жизнь многих электронных приборов и устройств. Теперь при геодезических наблюдениях, в зависимости от их назначения и камеральной обработке их результатов, применяются различные приборы и пакет программ. Большинство из них осуществляются в процессе измерения автоматически при помощи электронных, радиотехнических устройств и оптических приборов высокой точности.

В настоящее время, геодезическо-маркшейдерских работах есть несколько инновационных направлений, то есть с целью повышения эффективности качества и оперативности измерительных работ, сбора и обработки данных, получения результатов в цифровой форме [32,33].

Широкое использование электронных тахеометров, широкое использование спутниковых устройств GPS и лазерных сканеров позволяют

быстро и высокой точностью определить параметр процесса сдвижения и в то же время отслеживать изменения в параметрах во времени.

Наблюдения за абсолютными деформациями горного массива проводились на профильных линиях наблюдательной станции приборами нового поколения. Повторные геодезические измерения проводились электронными тахеометрами TS110 фирм Leica Geosystems в комплексе с отражателями, установленными на постоянной основе, а также лазерными рулетками в недоступных участках карьера.

Анализ методов инструментальных наблюдений за состоянием карьерных откосов показал необходимость их дальнейшего совершенствования с использованием современных геодезических средств на примере лазерного сканирования, электронной тахеометрии, фотограмметрии, глобальных спутниковых систем, современных информационных технологий и радарной интерферометрии.

Метод электронной тахеометрии. Применение электронных тахеометров значительно сокращает время на производство полевых работ и камеральную обработку результатов измерений, соответствует требованиям времени по внедрению современных технологий в производство маркшейдерских и геодезических работ. Многолетний опыт маркшейдерских инструментальных наблюдений за состоянием прибортовых массивов карьеров на ряде месторождений Казахстана позволил внедрить высокопроизводительную методику наблюдений с использованием современного электронного оборудования

Работа, выполняемая высокоточными GPS приборами

Базовый приёмник в течение всего процесса измерений располагается на пункте геодезической основы с известными координатами. Ровер перемещается по определяемым точкам или участвует в процессе выноса точек в натуру. Результатом объединения данных, полученных этими двумя приёмниками, является пространственный вектор между базой и ровером. Этот вектор называется базовой линией.

Для определения положения ровера относительно базы вы можете использовать различные методы измерений. Эти методы отличаются длительностью выполнения измерений:

Для измерений в реальном времени используется радиомодем, который передаёт данные базе роверу. Результаты получают непосредственно в поле.

Принцип определения координат приёмника достаточно прост. Они получают методом обратных засечек от передатчиков спутников. Обо всем по порядку. Передатчик и приёмник имеют высокоточные часы. В спутнике они атомные с погрешностью 10^{-9} секунд/год. В приёмниках часы попроще, но тоже гораздо точнее наручных. Передатчик высылает кодированный сигнал с данными о времени передачи, своей орбите и координатах и многое другое. Сигнал со скоростью света достигает приёмника и обрабатывается им. Время

передачи и приема различается на незначительную величину, но именно по этим данным можно определить расстояние до спутника.



Рис. 2.6- GPS наблюдения на карьере

Поэтому и часы должны быть очень точными. Расстояние есть скорость помноженная на время. Перемножив скорость света и время прохождения сигнала и определяется пространственная засечка. И так происходит со всеми спутниковыми сигналами.

Использование спутниковых систем в маркшейдерских наблюдениях. Бурное развитие науки и техники за последние 10-15 лет, привело к рождению нового метода определения координат в геодезии и маркшейдерии - спутниковой системы.

Применение спутниковой системы при геомеханическом мониторинге связано, во-первых, с построением и реконструкцией опорных маркшейдерских сетей на земной поверхности и участках открытых горных работ (см.рис.2.6), во-вторых выполнением систематических маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности и деформациями параметров карьера.

Явным примером оптимизации маркшейдерского процесса работы является Актогайский ГОК, так как это месторождение на настоящее время является молодым и современным на территории Казахстана.

Маркшейдерская служба на карьере Актогайского ГОКа использует следующее оборудование:

- GPS прибор
- Тахеометр фирм Leica TS 15 и TS 09
- Дрон фирм Phantom 4 pro, а также Quest UAV
- Ротационные нивелиры фирм Leica

Все оборудование является инновацией технологией в горном производстве. Для обеспечения всех видов инженерно-маркшейдерских работ создаются опорные сети, пункты которых имеют плановые и высотные координаты.

Использование лазерных сканеров при изучении структурных особенностей прибортовых массивов. Одним из основных факторов, влияющих на устойчивость карьерных откосов является трещиноватость прибортовых массивов. Правильное определение трещиноватости массива повышает точность и достоверность расчета устойчивости откосов и бортов карьеров [34].

Появление в последнее время маркшейдерско-геодезической практике современных приборов, в виде 3D сканеров, позволяет достаточно подробно изучить элемент залегания поверхностей ослаблений и в недоступных местах расположения. Далее рассмотрим результат по изучению структурных особенностей прибортовых массивов карьера Акжал лазерным сканером фирмы «Leica Geosystems» и созданию их трехмерных моделей.

Лазерное сканирование – технология, позволяющая создать цифровую трехмерную модель объекта, представив его набором точек с пространственными координатами. Технология основана на использовании новых геодезических приборов – лазерных сканеров, измеряющих координаты точек поверхности объекта с высокой скоростью порядка нескольких десятков тысяч точек в секунду.

Полученный набор точек называется «облаком точек» и впоследствии может быть представлен в виде трехмерной модели объекта, плоского чертежа, набора сечений, поверхности и т.д. [35].

Метод наземного лазерного сканирования широко применяется для получения данных о геометрических параметрах карьеров, элементах залегания трещин и разрывных нарушений, породных отвалов и других объектов, расположенных на поверхности.

Работа по сканированию состоит из: составления технического проекта по планово-высотному обоснованию съемки, сканирования, обработки его результатов, создания трехмерных моделей и сдачи работ, порядок ведения которого приведено на рисунке 2.7.

Использование результатов съемки лазерным сканером для получения элементов залегания трещин и размеров структурных блоков возможно при нахождении прибора от прибортового массива до 800 метров. При этом появляется уникальная возможность получения информации о положении прибортового массива без непосредственного контакта исполнителя.

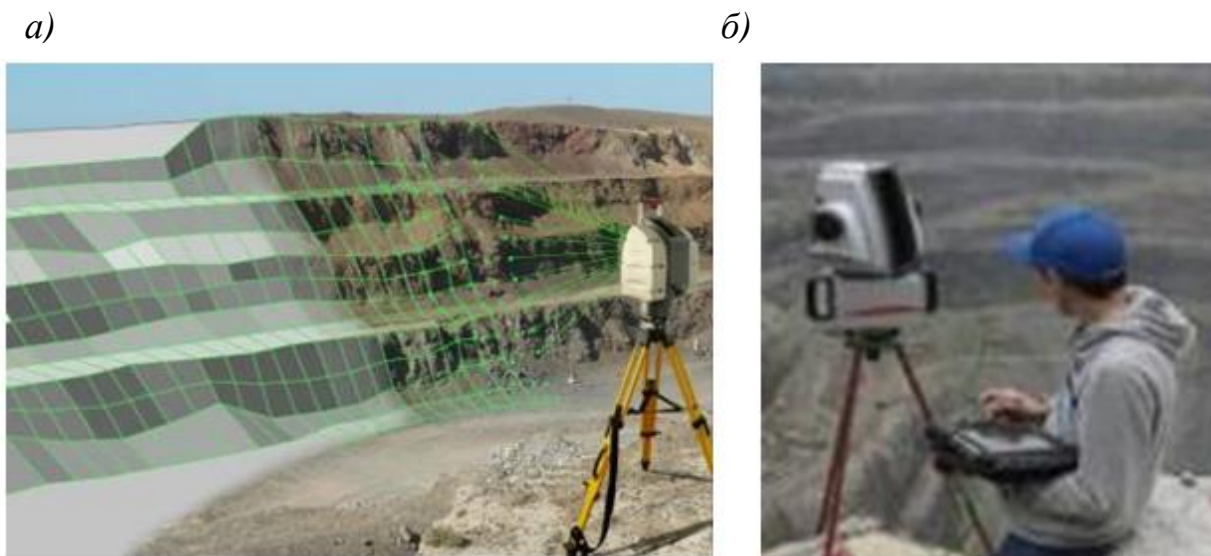


Рис. 2.7 – Лазерный сканер, установленный на штативе (а) и проверка

2.3 Создание баз данных геолого-маркшейдерской информации (БД ГМИ)

Методика создания БД ГМИ.

Горные предприятия, разрабатывающие сложноструктурные многокомпонентные месторождения как объект проектирования и управления, относятся к высшей категории сложности. Они представляют собой многофакторные природно-технологические комплексы, развивающиеся большими объемами ГМИ.

В начале основного процесса разведки, проектирования и разработки полезных ископаемых стоят работы с топографической, маркшейдерской, геологической и горной информации. Поэтому перевод этих звеньев на компьютерное моделирование является обязательным и первоочередным условием создания и развития компьютерной технологии производства.

При изучении устойчивости бортов карьеров необходимо иметь полную и достоверную информацию о строении и структуре слагающих их горных пород. ГМИ отражающую эти свойства горных пород, получают из комплекса геологических документов и уточняют путем проведения полевых наблюдений. Для автоматизированного построения структур прибортового массива, прежде всего, необходимо разработать БД ГМИ.

Проектирование БД представляет собой сложную научную и практическую задачу, решение которой невозможно без использования комплекса методических приемов, обеспечивающих адекватное отображение свойств и связей объектов предметной области в информационно-логической модели БД. Укрупненная схема построения БД ГМИ приведена на рисунке 2.8.

В зависимости от содержания информации, положенной в основу разработки цифровой модели, выделяются два направления: подход "от предметной области" и подход "от запроса". Суть подхода "от предметной области" заключается в описании объектов в ИС безотносительно к потребностям пользователей. Этот подход называют объектным. В подходе "от запроса" основным источником информации являются запросы пользователей (задачи). Этот подход называется процессным, или функциональным. Преимуществами объектного подхода являются его объективность, системное отображение предметной области и, как следствие, устойчивость информационной модели. К недостаткам можно отнести трудность отбора информации, подлежащей фиксации в БД [45].



Рис. 2.8 - Блок-схема создания БД ГМИ

Функциональный подход ориентирован на реализацию текущих запросов пользователей и не учитывает перспектив развития систем. При его использовании могут возникнуть трудности в объединении взглядов различных пользователей, однако учет запросов позволяет улучшить характеристики функционирования ИС. Очевидно, целесообразно применение обоих подходов с ведущим положением объектного подхода.

В методологии построения экономических ИС имеется достаточно полный арсенал методов анализа информационных потоков, описания свойств и связей объектов предметной области и построения структур БД. Однако прямое использование этих методов для построения инфологической модели БД ГМИ невозможно в силу специфических особенностей моделируемой системы. Отметим наиболее существенные из них:

1. Недоступность геологических тел для непосредственного наблюдения. В связи с этим основным методом их изучения является метод создания систем искусственных обнажений в недрах путем проведения разведочных выработок (скважин, шурф, канав и т.д.) и получения точечных оценок изучаемых свойств геологических тел в местах проведения этих выработок с дальнейшим построением по ним модели геологического тела. Если при разработке инфологической модели БД для экономических систем анализируются вход и выход реальной системы, то при разработке БД ГМИ в сущности анализируется реально существующее геологическое тело. Как известно, любая модель есть отражение достигнутого на момент моделирования уровня знания об объекте, которое в процессе дальнейшего изучения данного объекта пополняется и, как следствие, приводит к изменению самой модели. Следовательно, состав свойств и характер взаимосвязей объектов предметной области БД ГМИ могут изменяться во времени, и этот фактор обязательно должен быть учтен в методике.

2. Модели геологических тел в основном являются источниками первичной информации для решения большинства горно-геологических задач на этапах проектирования, экономической оценки, перспективного и оперативного планирования горного предприятия, то есть имеет место многоаспектный характер использования этих моделей. Если при решении задач перспективного планирования достаточно иметь средние значения показателей, то при расчете устойчивости карьерных откосов требуется знание структур и геометрии геологических тел, то есть одна и та же геологическая реальность в зависимости от решаемой задачи может быть описана с различной степенью детальности.

3. Основной формой представления результатов геологического изучения месторождения являются графические документы, которые позволяют отображать в комплексе как геометрические, так и качественные, и количественные параметры геологических объектов. Полное описание свойств геологических объектов достигается совместным использованием трех видов графических документов: принятой колонкой разведочной выработки;

вертикальных (или горизонтальных) геологических разрезов по линиям; гипсометрических и погоризонтных планов. На базе этих документов могут быть построены другие модели, необходимые для решения конкретной горно-геологической задачи. В качестве исходных данных для построения геометрической и структурной модели любого участка месторождения (в том числе и прибортового массива) используются указанные выше графические документы. Методы построения цифровой модели графических документов в существующих подходах проектирования БД вообще отсутствуют.

Используемая методика проектирования цифровой модели БД ГМИ должна обеспечивать учет рассмотренных выше специфических особенностей. Достижение этой цели возможно только при активном использовании методологических основ геологического изучения и методов математического моделирования объектов и их связей в процессе построения инфологической модели.

Предлагаемая методика состоит из пяти шагов. Суть и содержание каждого шага подробно рассмотрены в работах [23, 37]. Кратко изложим содержание первых двух шагов методики, т.к. именно здесь отражены основные отличия данного подхода от общепринятой.

Одним из фундаментальных принципов разведки недр является принцип последовательных приближений. Данный принцип определяет методический подход к изучению геологических тел. Суть методики заключается в разделении всего процесса геологического изучения месторождения на ряд взаимосвязанных и реализуемых последовательно стадий, которые представляют собой цепь последовательных приближений в познании геологического строения недр. В настоящее время в практике разведки и освоения месторождения сложились следующие стадии: поисковая, предварительная, детальная и эксплуатационная разведки; эксплуатация месторождения. Исходя из цели создания БД ГМИ, необходимо выделить границы предметной области в этом длительном процессе освоения недр. Для построения геометрической и структурной модели прибортового массива при расчете устойчивости карьерных откосов необходимо создать инфологические модели геологических документов, технологических параметров карьера, натуральных и лабораторных наблюдений.

Изучение такого сложного объекта, как месторождение, невозможно без разбиения его на более простые составляющие. Для этой цели широко применяется один из основных принципов системного подхода - принцип иерархичности. Исследователями в зависимости от цели выделяются и строятся разные системы при описании горно-геологических объектов. При выборе схем декомпозиции тел для построения инфологической модели также возникает необходимость использования принципа иерархичности.

На основе рассмотренных выше принципов:

Шаг 1. Определение схем декомпозиции (разбиения систем на отдельные части) предметной области БД ГМИ.

Шаг 2. Проведение информационно-структурного анализа состава элементов моделей геологических тел и построение их информационной модели.

В результате решения этих задач определяется перечень базисных элементов, которые отображают характерные формы представления геологической информации в анализируемых документах. Далее на основе базисных элементов строятся модели геологических документов. Таким образом, будут подготовлены материалы для формализованного описания моделей геологических тел. Остальные этапы методики принципиально не отличаются от традиционных, которые описаны в работах [23, 28, 37, 47].

Методика создания информационно-структурной модели геологических документов.

Используя рассмотренный выше принцип иерархичности строения геологических тел, определим схемы декомпозиции модели месторождения и информационно-структурного анализа форм геологических документов. Уровни декомпозиции определяются на основе схем геологического изучения. Согласно данной схеме выделены следующие уровни иерархии объектов: месторождение, участок, разведочная линия, разведочная скважина (выработка), геологический объект. Данная схема декомпозиции соответствует общепринятым на практике уровням агрегирования (обобщения) геологической информации и служит основой для установления связей между объектами, находящимися на разных уровнях иерархии.

Приведем схему декомпозиции геологических объектов к виду, удобному для проведения информационно-структурного анализа геологической документации с целью выделения совокупности базисных элементов и построения информационной модели. Под базисными элементами понимается совокупность абстрактных понятий, с помощью которых осуществляется описание моделей геологических объектов при построении геологической модели. В практике проектирования БД под атрибутом подразумевают свойство объекта предметной области, множество значений которого должно храниться в БД. Под информационной моделью понимается множество взаимосвязанных атрибутов, описывающих свойства объектов предметной области.

За основу схем декомпозиции объектов, представленных в горно-геологических документах, примем концепцию слоистого строения месторождения. Определение границ распространения этих слоев осуществляется по геологическим или технологическим критериям. При более детальном изучении выделенных слоев их строение представляют состоящим из ряда прослоев, в пределах которых тип пород остается неизменным. Основными методами оценки свойств прослоев являются их геологическое

описание и проведение лабораторных исследований путем отбора проб. [23,с.56].

Таким образом, прослой и проба с точки зрения отображаемых свойств при построении информационной модели геологических объектов являются эквивалентными. Под прослоем понимается часть разведочной выработки (скважинь), обладающая некоторым физическим объемом, на основе изучения которого производится оценка реальных свойств соответствующей части недр в точке проведения разведочной выработки, и однозначно определенная в системе координат геологической среды.

Данная схема декомпозиции геологических объектов оказывается неполной, ибо в ней не учтен важный класс свойств месторождения, таких как газопроявления, нарушения, водоносный горизонт и многие другие сведения, которые фиксируются в процессе изучения. Они необходимы при проектировании технологии разработки месторождения для обеспечения эффективности горнодобычных работ и условий безопасности. Обозначим этот класс свойств понятием характерное свойство.

Схема декомпозиции форм геологической документации представлена на рисунке 2.9.

По форме отображения свойств геологических объектов множество графических материалов подразделяется на три вида: геологический разрез по разведочной скважине (выработке); геологический разрез по разведочной линии; гипсометрический (погоризонтный) план. В дальнейшем для краткости эти графические материалы будем соответственно называть: скважина, разведочная линия и план.

Все множество атрибутов информационной модели геологических объектов по назначению и характеру отображаемых им свойств подразделяется на четыре подмножества: идентификация, классификация, геометрические параметры, горно-геологические свойства.

В подмножество идентификационных атрибутов входят те атрибуты, значения которых позволяют однозначно определить место объекта в геологическом пространстве и БД. Данное подмножество атрибутов в основном используется при поиске информации в БД.

Следовательно, на самом нижнем уровне иерархии находится прослой, а на самом верхнем - месторождение в целом [23,с.57].

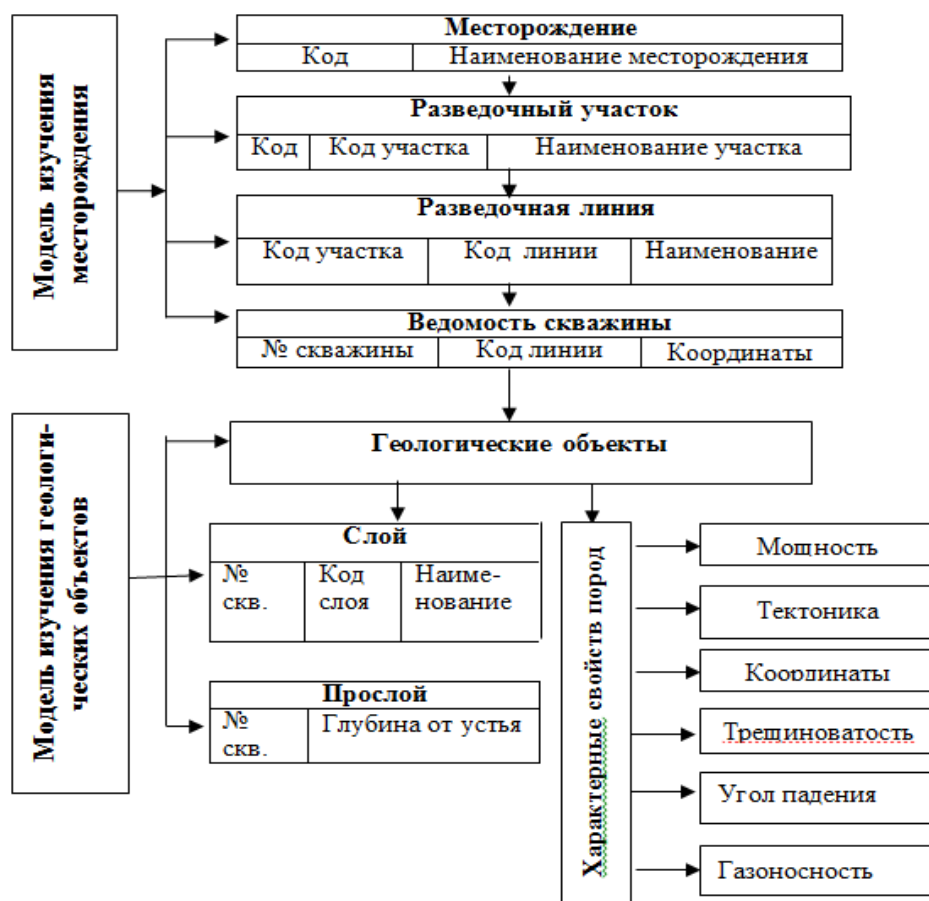


Рис. 2.9 – Связь между геологическими объектами

Создание информационных моделей геологических объектов.

Геологические объекты в зависимости от аспектов их рассмотрения находятся в разных отношениях, как между собой, так и между объектами разного уровня иерархической схемы, которые не охватываются принятой схемой декомпозиции. Подмножество классификационных атрибутов предназначено для отображения этих взаимосвязей (отношений) между геологическими объектами. Ввод этого подмножества позволяет отображать также и новые связи, не нарушая принятой ранее схемы фиксирования атрибутов в подмножестве идентификации [23, с.58].

Изучение свойств геологических тел осуществляется в неразрывной связи с их структурой и строением. Поэтому информационная модель должна отображать не только значения свойств геологических объектов, но и характер их поведения в пространстве, т.е. отображать и геометрию распространения этих свойств. Исходя из этих требований, в состав атрибутов модели включено подмножество атрибутов геометрических параметров и горно-геологических свойств.

В информационной модели каждый объект описывается отношением следующего вида:

$$R=\{I, K, G, GG\}, \quad (2.1)$$

где I, K, G, GG - подмножество атрибутов, составляющих кортеж отношения и характеризующих соответственно идентификационные, классификационные, геометрические и горно-геологические свойства рассматриваемого объекта.

Здесь и далее используются понятия и обозначения, принятые в [48]. Подмножество атрибутов G обеспечивает однозначное описание положения объекта в геологическом пространстве. Между подмножеством атрибутов G и атрибутами подмножеств I, K, GG существует функциональная зависимость вида

$$I=F_1(G); K=F_k(G); GG=F_{GG}(G), \quad (2.2)$$

где F_1, F_k, F_{GG} - вид зависимости между атрибутами.

Конкретный вид этих функций будет приведен ниже.

Наличие такой зависимости позволяет организовать поиск как на уровне геометрических параметров (по координатам X, Y, Z), так и на семантическом уровне (по именам геологических и технологических объектов).

Отношение R состоит из множества упорядоченных кортежей. Общее количество кортежей в отношении обозначим через выражение $N(R)$, а кортеж, находящийся на k-м месте, - $R[k]$.

При структурно-информационном анализе геологических документов за основу примем концепцию слоистого строения месторождения. Более детальное изучение слоев показывает, что они состоят из ряда прослоев, в пределах которых тип пород остается неизменным. Исходя из этого информационная модель прослоя представляется отношением вида

$$R_L=\{I_L, K_L, G_L, GG_L\}. \quad (2.3)$$

Эти подмножества состоят из следующих атрибутов:

$$I_L=\{NS, HL\}; K_L=\{TL\}; G_L=\{X_L, Y_L, Z_L, ML, UL\}, \quad (2.4)$$

где NS - номер скважинь;

HL - глубина, на которой находится прослой относительно устья скважинь, м;

TL - тип породь (литотип);

X_L, Y_L, Z_L - абсолютные координаты прослоя, м;

ML - видимая мощность прослоя, м;

UL - угол падения, град.

В таблице 2.1 приведен фрагмент отношения «Прослой» по скважине 125 месторождения Акжал, согласно выражениям (2.3) и (2.4).

Значения атрибута HL функционально зависят от значений ML и UL. Для вычисления значения глубины находящегося на k-м месте от устья скважинь можно воспользоваться следующей формулой:

$$HL(k) = \sum_{i=1}^k ML(i), \quad (2.5)$$

где i - порядковый номер прослоя.

Аналогично абсолютная отметка $Z_L[k]$ -го прослоя может быть определена из выражения

$$Z_L(k) = Z_D + HL(k). \quad (2.6)$$

А координаты в данной модели являются величинами постоянными и равны соответственно

$$X_L(k) = X_D, \quad Y_L(k) = Y_D, \quad (2.7)$$

где X_D, Y_D, Z_D - абсолютные значения координат устья скважинь NS.

Таблица 2.1 - Фрагмент отношения «Прослой»

Номер скважинь (NS)	Глубина от устья, м (HL)	Название литотипа (TL)	Видимая мощность, м (ML)	Угол падения, град. (UL)
125	0,00	Глинистые песчаники	30,0	60
125	30,0	Кремнисто-глини. известняки	38,6	70
125	68,6	Бугристые известняки	10,0	80
125	78,6	Известняки	35,2	80
125	113,8	Слоистые известняки	28,5	75
125	142,3	Порфирит светлый	19,8	80
	162,1	Порфирит темный	5,3	80
125	167,4	Бугристые известняки	2,8	75
125	170,2	Диоритовые порфириты	12,3	75
125	182,5	Массивные известняки	80,0	80
125	262,5	Порфирит	15,6	85
125	278,1	Известняки	8,3	80
125	286,4	Слоистые известняки	4,5	80
125	290,9	Массивные известняки	68,0	80
125	358,9	Порфирит	10,5	60
125	369,4	Диоритовые порфириты	6,8	75
125	376,2	Известняки	10,2	75
125	386,4	Массивные известняки	68,0	80

Подмножество GG_L в каждом конкретном случае имеет разный состав атрибутов в зависимости от характера решаемых задач. Например, для расчета устойчивости карьерных откосов он будет иметь следующий вид:

$$GG_L = \{\sigma_{\text{раст}}, \sigma_{\text{сж}}, K, p, \gamma\}. \quad (2.8)$$

Следующий тип геологического объекта - *слой*. Под слоем понимается геологическое тело, выделенное из окружающей его геологической среды по геологическому или технологическому критерию для самостоятельного изучения его свойств.

Модель строения слоя по скважине можно представить как упорядоченную совокупность прослоев, глубины которых лежат в пределах границ слоя, а состав атрибутов, характеризующих слой как самостоятельный геологический объект, очевидно, будет соответствовать модели прослоя, так как оценка его свойств осуществляется путем интегрирования значения свойств прослоев, определяющих его строение. Информационная модель слоя описывается отношением следующего вида:

$$R_S = \{I_S, K_S, G_S, GG_S\}. \quad (2.9)$$

Для данной модели подмножества атрибутов кортежа состоят из следующих элементов:

$$I_S = \{NS, HS\}; \quad K_S = \{TS\}; \quad G_S = \{X_S, Y_S, Z_S, MS\}, \quad (2.10)$$

где NS - номер скважинь;

HS - глубина начала слоя относительно устья скважинь, м;

TS - тип породь (литотип);

X_S, Y_S, Z_S - абсолютные координаты скважинь, м;

MS - видимая мощность слоя, м.

При построении информационной модели скважинь следует учитывать двойственный характер взаимосвязей с объектами, находящимися выше и ниже ее в иерархической схеме. С одной стороны, скважина на уровне модели геологического изучения является базисным элементом, то есть неделимой и целостной системой.

С другой - при рассмотрении ее как источника первичной информации на уровне простых геологических объектов может быть представлена как сложная система, состоящая из множества объектов подчиненного уровня типа прослой, слой и характерное свойство.

А подмножество геометрических характеристик описывается следующим составом атрибутов:

$$G_D = \{X_D, Y_D, Z_D, MD\}, \quad (2.11)$$

где MD - расстояние от устья до забоя скважинь, м.

Такой состав геометрических характеристик позволяет отображать положение скважинь во всех типах графических документов, а наличие атрибута номер разведочной линии (NL) в составе атрибутов отношения R_L позволяет однозначно задать его принадлежность конкретному объекту верхнего уровня разведочной линии. Информационная модель структурь скважинь теперь может быть представлена совокупностью отношений, описывающих объект нижнего уровня:

$$M_D = \{R_L, R_S, R_X\}. \quad (2.12)$$

Подмножество кортежей, характеризующих конкретную скважину, формируется согласно условию

$$R_D.NS = R_L.NS = R_X.NS = R_S.NS. \quad (2.13)$$

где $R_S.NS$ - атрибут NS отношения R.

В таблице 2.2 приведен фрагмент отношения «Скважина» (R_D) по выражениям (2.12) и (2.13).

Таблица 2.2 - Фрагмент отношения «Скважина» (R_D)

Разведочная линия (NL)	Номер скважинь (NS)	Координать устья скважин, м		
		X_D	Y_D	Z_D
8	404	6189,75	9309,55	517,05
8	409	6274,49	9244,31	517,05
14	1077	6482,79	9331,21	518,05
14	780	6397,73	9354,74	518,70
12 ^a	1037	6327,15	9298,15	516,00

Предлагаемая структура информационной модели скважинь является абстрактной, и на ее основе могут быть разработаны конкретные модели геологических объектов разных месторождений с учетом их индивидуальных особенностей [23, с.63].

Выводь по 2-разделу.

1. Разработаны компоненть ГИС применительно прогнозированию устойчивости карьерных откосов и подготовки проектных документов.
2. На основе системного анализа этапов освоения месторождений полезных ископаемых разработана методика построения цифровой модели БД ГМИ; которые учитывают иерархические связи между геологическими

объектами и характер изменения структурных и геометрических параметров горно-геологических объектов во времени и в пространстве.

3. Основу БД ГМИ составляют отношения двух типов. Отношения первого типа описывают свойства геологических и технологических объектов: геологические объект описываются совокупностью отношений блок, слой, характерное свойство, и прослой; технологические объект описываются отношениями борт, уступ, станция, система трещин и наблюдение (трещина). Информация, имеющаяся в указанных отношениях, достаточна для построения модели структур и строения любого участка месторождения.

4. Описание геометрических параметров геологических и технологических объектов в единой системе координат обеспечивает их полную сопоставимость при поиске информации в БД и обработке графических документов.

3 СОЗДАНИЕ КАРТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС ТЕХНИОЛОГИИ

3.1 Методика оценки устойчивости откосов карьеров

Оценка устойчивости откосов карьерах проводится на основе "Методических указаний по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров" (ВНИМИ) [11], которые одобрены и рекомендованы к применению Госгортехнадзором СССР (1972 г.), и "Временных методических указаний по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии" (Унипромедь) [12], утвержденных в 1986 г.

Расчетная схема Попова И.И. [13, 14] была несколько уточнена и использована в качестве основы для разработки программ компьютерного моделирования.

Сущность методики расчетов следующая.

Полагается, что нарушение устойчивости карьерного откоса происходит в форме обрушения или сползания пород по поверхности скольжения, которая представляет собой комбинацию прямолинейных и криволинейных участков (рис.3.1).

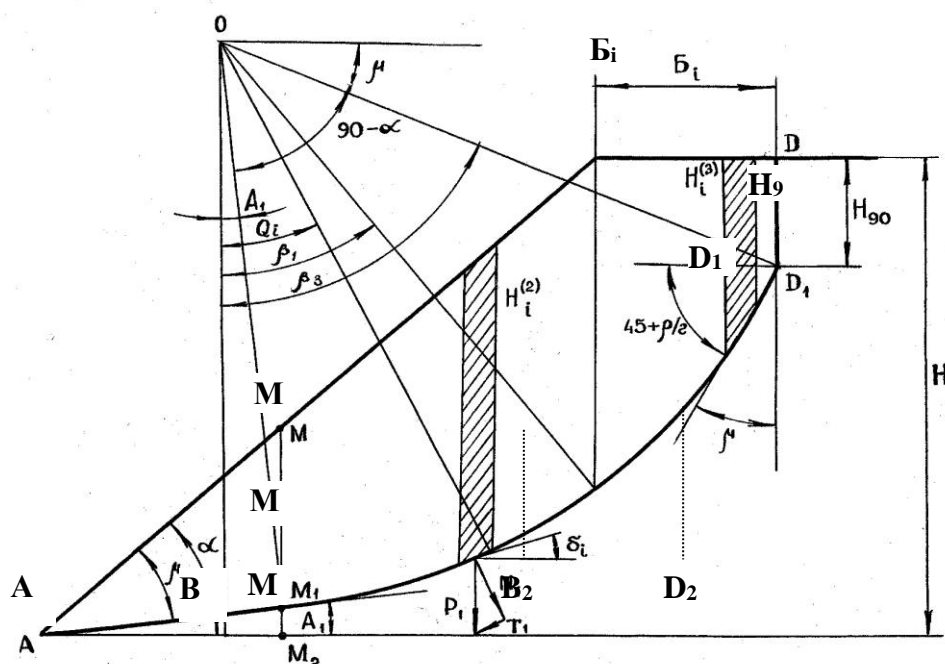


Рис.3.1 – Расчетная схема определения устойчивости уступов и бортов карьера

Поверхность скольжения начинается с глубины H_{90} (линия DD_1), отстоящей от верхней бровки откоса на расстоянии B_i . Ниже эта поверхность

идет под углом $\mu=45-\rho/2$ (ρ - угол внутреннего трения) к главному напряжению и на участке $D_1 M_1$ носит криволинейный характер, аппроксимируясь дугой окружности. Далее поверхность скольжения на участке M_1A прямолинейна и выходит в откос под углом μ .

Основные положения расчетной схемы заключаются в следующем.

1. Элементарные площадки скольжения в массиве горных пород возникают при напряжениях

$$\sigma = 2C \times \operatorname{ctg} (45^\circ - \rho/2), \quad (3.1)$$

где C – сцепление, тс/м²;

ρ - угол внутреннего трения, град.

Площадки скольжения образуются с глубины H_{90} , которая определяется из формулы

$$H_{90} = 2C \times \operatorname{ctg} (45^\circ - \rho/2) / \gamma, \quad (3.2)$$

где γ - объемный вес пород, тс/м³.

2. Элементарные площадки скольжения наклонены к направлению главного напряжения под углом

$$\mu = 45^\circ - \frac{\rho}{2}. \quad (3.3)$$

С целью более дифференцированного учета влияния трещиноватости на устойчивость уступов нами создана структурно-геометрическая модель прибортового массива, состоящей из следующих взаимосвязанных агрегатов: *геологическая среда; технологические параметры борта карьера; трещиноватость горных пород; внешняя среда.* В процессе создания структурно-геометрической модели используются три базы данных: ГМИ, модели карьера и массовых измерений трещиноватости, а также банка математических моделей расчетных схем для различных горно-геологических условий.

Формирование модели состоит из следующих этапов: построение модели прибортового массива горных пород; анализ модели и расчет параметров устойчивого борта; анализ полученных результатов и подготовка рекомендаций. На первом этапе определяются геометрические параметры по разведочным линиям и формируется абочая база данных, содержащих характеристики горно-геологических объектов. Далее устанавливаются

положение тектонических нарушений, уровни грунтовых вод, границ нижележащих слоев. Тип основания борта определяется путем расчета его средне-взвешанных физико-механических свойств и оценки класса прочности на основе свойств пород, лежащих ниже глубин отработки. Значение типа составных частей технологические сооружения и вид поверхности скольжения задается самим исследователем при постановке задачи моделирования (рис.3.2).

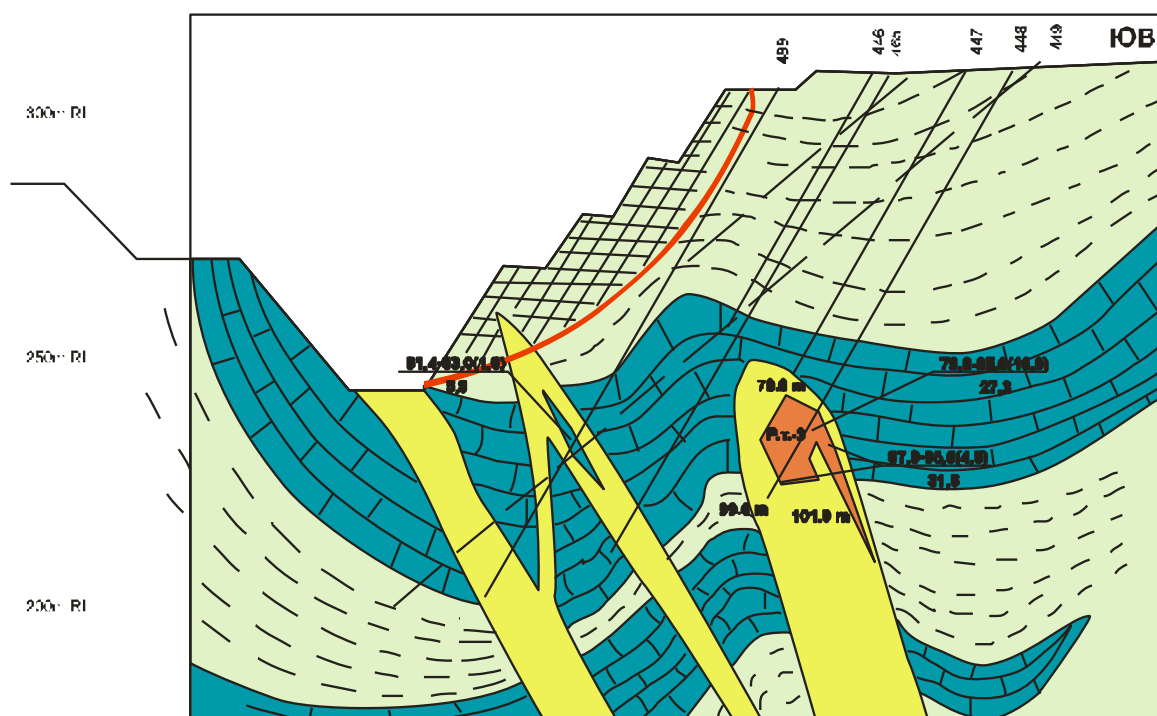


Рис.3.2- Структурно-геометрический разрез борта карьера

На основе построенной модели разработана автоматизированная методика оценки устойчивости откосов бортов карьера. Данная методика и разработанный на ее основе программный комплекс (блок-схема автоматизированной системы, блок-схема алгоритма ввода и накопления информации, блок-схема алгоритма расчета устойчивости откоса) позволяет оперативно и достоверно производить оценку устойчивости откосов уступов, сложенных как трещиноватым, так и слоистыми породами (рис.3.3).

Существуют множество расчетных схем, учитывающих поверхности ослабления в горном массиве. Наиболее обоснованными в теоретическом отношении являются расчетные схемы, рекомендованные Р.П.Окатовым и Ф.К.Низаметдиновым для трещиноватых пород, в которых параметры устойчивых откосов определяются с учетом плоскостей ослабления во взаимосвязи с прочностными свойствами пород массива. Поэтому за основу разработанного метода автоматизированной оценки устойчивости откосов взяты расчетные схемы устойчивости откосов, разработанной КарГТУ для трещиноватого массива.

Разработанная данная методика позволяет оперативно и достоверно производить оценку устойчивости откосов уступов, сложенных как трещиноватъм, так и слоистыми породами.

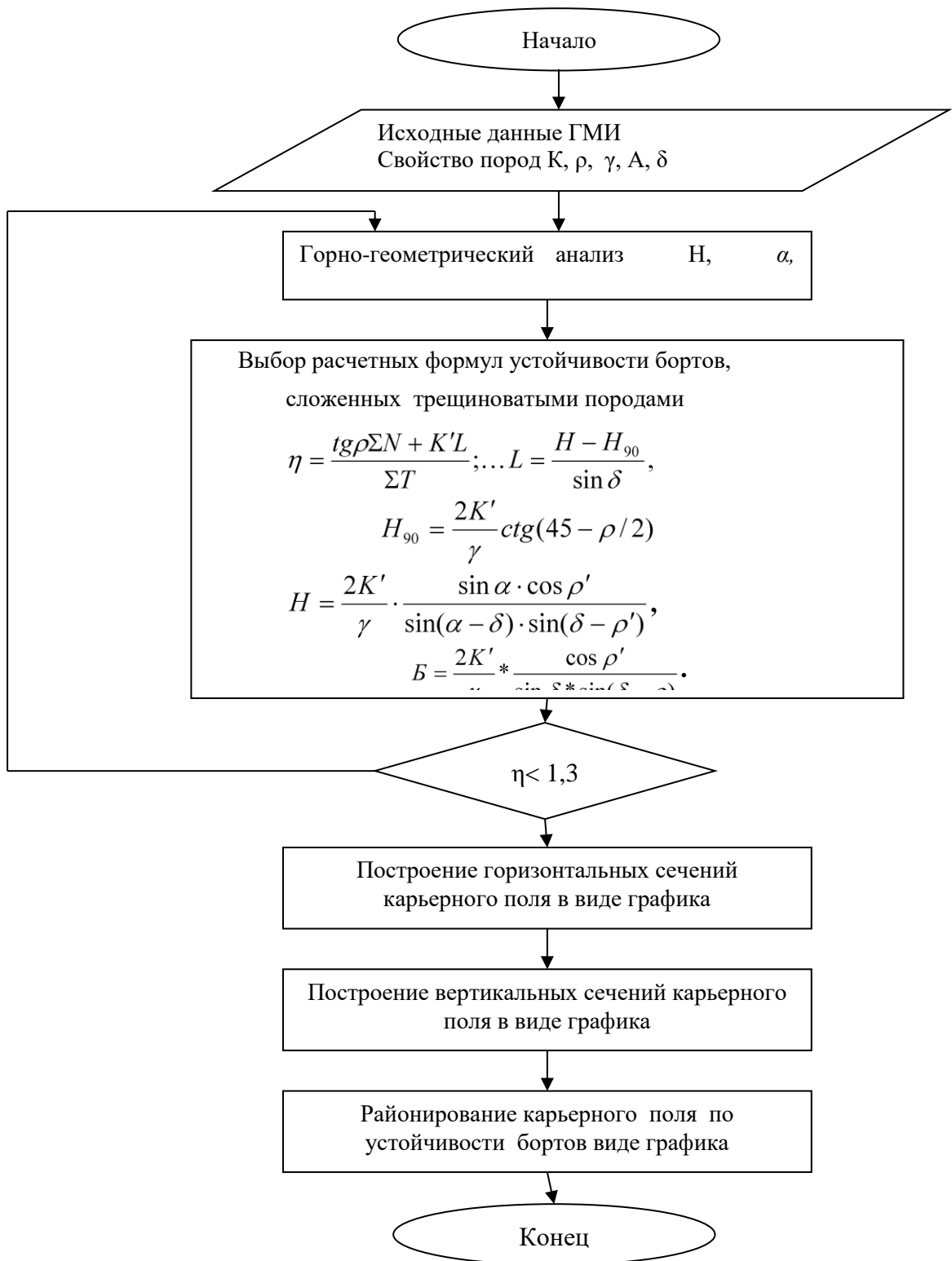


Рис. 3.3 – Блок – схема расчета оценки устойчивости бортов карьера

Этот комплекс расчетов выполняется на компьютере по каждому разрезу моделируемого участка борта карьера, формируются сводные таблицы БД и производится районирование карьерных откосов по фактору устойчивости. Анализ данных таблиц 7 показывает, что по южному борту

Оценка устойчивости откосов карьерах проводится на основе "Методических указаний по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров" (ВНИМИ), и "Временных методических указаний по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии" (Унипромедь).

Во ВНИИцветмете разработана оригинальная технология оценки устойчивости бортов карьеров, ключевым моментом которой является разработка карт устойчивости. Общая схема построения карт устойчивости карьеров включает в себя следующие этапы:

1. отбор проб наиболее представительных для месторождения руд и пород;
2. определение физико-механических свойств руд и пород на образцах;
3. разработка трёхмерной модели карьера;
4. определение расчётных сечений по борту карьера;
5. определение необходимых для расчёта устойчивости по каждому сечению параметров руд и пород в массиве на основе физико-механических свойств руд и пород, полученных в результате лабораторных исследований на образцах;
6. расчёт устойчивости борта карьера по серии расчётных сечений;
7. построение карт устойчивости всего карьера.

Этапы 3, 4 и 7 могут быть выполнены в любом программном комплексе, обладающими возможностью работы с 3D компьютерными объектами и имеющем аппарат интерполяции на плоскости и возможности графического представления результатов интерполяции.

Этап 6 выполняется с использованием разработанного во программного комплекса «БОРТ», который позволяет рассчитывать коэффициент запаса устойчивости откоса в любой точке борта при заданных физико-механических характеристиках пород (сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес).

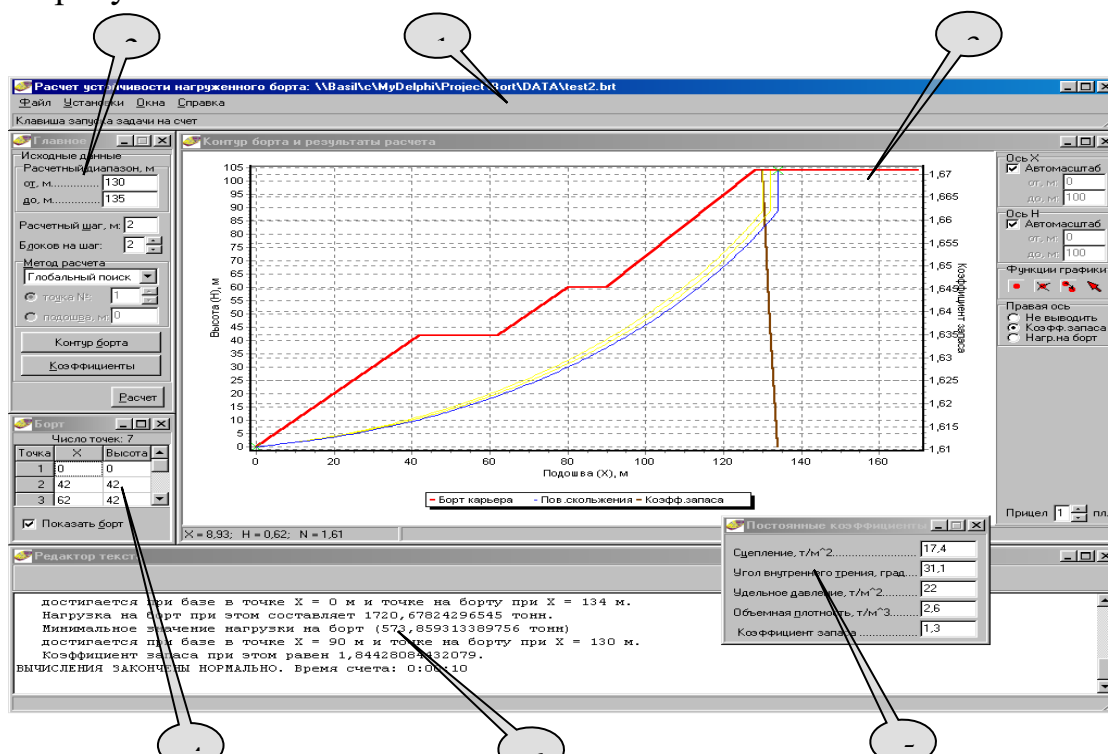
3.2. Реализация методики оценки устойчивости откосов карьеров в программном комплексе «Борт»

На основании рассмотренных выше методических положений, специально для карьера Актогай, разработан программный комплекс «Борт», который позволяет рассчитывать коэффициент запаса устойчивости откоса в любой точке борта при заданном его контуре и определенных физико-механических характеристиках пород (сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес).

В соответствии с принятыми положениями для задаваемой точки на борту карьера или уступа строится поверхность скольжения и для неё проводится расчёт коэффициента устойчивости n , который вычисляется как отношение сумм сдвигающих и удерживающих сил, действующих по поверхности скольжения. В задаваемом диапазоне рассматриваемой поверхности откоса строится зависимость $n=f(B_i)$ и определяется минимальный коэффициент запаса устойчивости и ширина призм возможного обрушения.

По сути в программном комплексе совмещен описанный выше метод с процедурой оптимизации, в которой осуществляется поиск линии скольжения, соответствующей наименьшему значению коэффициента запаса устойчивости, представляющего собой отношение сумм сдвигающих и удерживающих сил, действующих по линии скольжения. В программном комплексе «Борт» реализован метод прямого перебора всех возможных положений линии скольжения с фиксированным шагом приращения.

Общий вид экрана и основные окна программного комплекса показаны на рисунке 3.4.



- 1 - окно главного меню программы и строка сообщений и подсказок;
- 2 - окно ввода основных параметров расчета и управления расчетом (главное окно);
- 3 - окно графического ввода контура борта и вывода результатов расчета в графическом представлении;
- 4 - окно представления контура борта в табличном виде (координаты точек перегиба);
- 5 - окно ввода условно-постоянных коэффициентов;

Рисунок 3.4 – Общий вид экрана и основные рабочие окна программного комплекса «Борт»

Порядок расчета заключается в следующем. С использованием графического редактора программного комплекса вводится контурисследуемого борта в координатах X (подошва борта) и H (высота борта). Задается диапазон исследований ширины призм возможного сдвижения массива по поверхности, который разбивается на равные интервалы. Для каждого положения ширины призм сдвижения на поверхности строится ожидаемая поверхность сдвижения в глубине массива и определяется коэффициент запаса устойчивости борта. Значения этого коэффициента наносятся на график в зависимости от координат X контура поверхности. Особенностью автономного использования программного комплекса «Борт» является то, что заложенный в нем алгоритм позволяет решать плоскую задачу в пределах одного сечения борта. Поэтому для расширения возможностей программного комплекса «Борт» разработана технология его совместного использования с ГИС Surpac.

3.3. Расчетные параметры составления карт устойчивости бортов карьера Актогай.

Исследованиями установлено, что на величину сцепления в массиве влияет степень трещиноватости пород, а также размер и форма деформирующихся блоков пород. Для пород одних и тех же свойств и степени трещиноватости при увеличении размеров блоков обрушения величина сцепления уменьшается, то же наблюдается при увеличении степени трещиноватости пород в блоках одинаковых размеров.

Угол внутреннего трения является величиной менее изменчивой и может быть принят равным углу трения, полученному по лабораторным испытаниям.

В соответствии с [50] сцепление в массиве для скальных пород может быть определено через сцепление на образцах и характеристики массива по выражению

$$C_M = \lambda \times (C - k') + k' = \frac{1}{1 + a \times \ln(H \times W)} \times (C - k') + k', \quad (3.4)$$

где λ – коэффициент структурного ослабления;

C – сцепление на образце;

k' – величина сцепления по поверхностям ослабления;

a – коэффициент, зависящий от прочности пород в образце и степени и характера трещиноватости);

H – высота расчетного участка борта;

W – средняя интенсивность трещиноватости соответствующего участка горного массива.

Расчетные параметры для оценки устойчивости фактического состояния карьера Акжал представлены в таблице 3.6.

В таблице 3.1 представлены расчетные параметры для оценки устойчивости борта Актогайского карьера по проекту 1-й очереди отработки месторождения.

Таблица 3.1 – Расчетные параметры для оценки устойчивости борта Актогайского карьера по состоянию на 01.09.2019 г.

Разновидность пород и руд	Плотность $\gamma \times 10^{-3}$, кгс/м ³	Угол внутреннего трения φ , град.	Сцепление в образце C , МПа	Сцепление по поверхности м ослабления k' , тс/м ²	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве C_M , кгс/см ²
Метасоматит	2,81	36°	16	7	0,0468	8,165
Порфирит	2,78	37°	22	7	0,0317	7,659
Руда	4,73	37°	22	7	0,0317	7,659
Ср.взвешенные расчетные параметры	3,44	36,7°				7,83

Таблица 3.2 – Расчетные параметры для оценки устойчивости борта Аксайского карьера по проекту 1-й очереди отработки месторождения

Разновидность пород и руд	Плотность $\gamma \times 10^{-3}$, кгс/м ³	Угол внутреннего трения φ , град.	Сцепление в образце C , МПа	Сцепление по поверхностям ослабления k' , тс/м ²	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве C_M , кгс/см ²
Метасоматит	2,81	36°	16	7	0,0409	7,209
Порфирит	2,78	37°	22	7	0,0276	6,757
Руда	4,73	37°	22	7	0,0276	6,757
Средневзвешенные расчетные параметры	3,44	36,7°				6,91

Совместное использование геоинформационной системы Surpac и программного комплекса «Борт».

Развитием возможностей программного комплекса «Борт» явилась разработка ряда технологий его совместного использования с ГИС Surpac, как для подготовки качественных исходных данных для программного комплекса «Борт», так и для групповой обработки результатов расчета по отдельным сечениям.

В частности, одна из разработанных технологий позволяет представить серию результатов расчета по отдельным сечениям в виде карт устойчивости карьера.

Общая схема построения карт устойчивости карьера выглядит следующим образом.

Этап 1. Подготовка исходных данных

Данный этап выполняется в ГИС Surpac.

С использованием возможностей трехмерного графического редактора систем разрабатывается пространственная модель карьера, на плане которого определяется ряд линий будущих расчетных сечений.

С использованием встроенных функций Surpac полученные на предыдущем шаге линии накладываются на пространственную модель карьера. Сечения сохраняются в дисковых файлах в формате систем Surpac и являются основными исходными данными для программного комплекса «БОРТ», описывающими геометрию борта карьера.

Этап 2. Обработка сечений борта карьера

Данный этап выполняется в программном комплексе «Борт».

В программный комплекс «Борт» с использованием встроенной функции «Импорт из Surpac» последовательно загружаются расчетные сечения.

Для каждого сечения задаются характерные параметры и выполняется расчет по оценке распределения коэффициента запаса устойчивости вдоль сечения борта. Результат расчета по каждому сечению записываются в дисковый файл в формате систем Surpac с использованием встроенной функции программного комплекса «БОРТ» «Экспорт в Surpac».

В результате выполнения данного этапа на диске образуется ряд файлов, содержащих результат расчета в программном комплексе «Борт» соответствующих сечений, которые могут быть подвергнуты групповой обработке в ГИС Surpac.

Этап 3. Построение карт устойчивости карьера

Данный этап выполняется в ГИС Surpac.

Каждый из файлов, созданных программным комплексом «Борт», содержит следующие группы расчетных данных по соответствующему сечению, доступные в системе Surpac:

- повтор соответствующего сечения, дополненный информацией о координатах каждой его точки в системе координат программного комплекса «БОРТ»;
- линия сдвига, соответствующая наименьшему значению коэффициента запаса на данном сечении борта;
- набор точек на борту, для которых был проведен расчет, для каждой из которых доступно значение рассчитанных коэффициентов запаса;
- набор собственно линий возможного сдвига с информацией о рассчитанных коэффициентах запаса и нагрузок на борт для каждой из линий.

Для построения карт устойчивости карьера из данного набора результатов расчета используется только третья группа с информацией о значениях коэффициента запаса.

Для этой цели в графический редактор систем Surpac загружаются расчетные точки (с привязкой к реальной трехмерной системе координат) и соответствующие им рассчитанные значения коэффициента запаса. С использованием аппаратов интерполяции и оконтуривания систем выполняется построение карт устойчивости.

Данная карта позволяет оценить снижение устойчивости бортов карьера, выявить наиболее слабые участки, разработать и смоделировать мероприятия по повышению их устойчивости.

При этом можно оценить объём работ по разгрузке бортов путём вылаживания, либо созданием призм упора и т.д.

Определение расчетных параметров составления карт устойчивости бортов карьера Актогай

3.4 Разработка карт устойчивости бортов карьера Актогай

Разработка карт устойчивости бортов фактического состояния карьера.

Карта устойчивости фактического состояния карьера разработана в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.2.

При расчете решено использовать веер сечений с постоянным углом поворота относительно друг друга для получения равномерной картины по всему карьере. Сечения намечались по возможности вкост простирания борта. Определенные для расчета в программном комплексе «Борт» сечения показаны на рисунке 3.13. Для каждого сечения через дробь указаны азимут направления сечения относительно дна карьера и генеральный угол борта в соответствующем сечении.

Далее эти сечения последовательно загружались в программный комплекс «Борт», где выполнялась их обработка. При проведении расчетов использовались результаты исследований физико-механических свойств пород и руд Акжалского карьера, представленные в таблицах 3.9 ÷ 3.2, с учетом структурного ослабления массива.

Для каждого сечения результаты расчета выводились в графическом и текстовом виде. Итоговая информация по расчетным сечениям сведена в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Сводная информация по расчету устойчивости сечений борта Актогайского карьера

№ Пп	Положение расчетного сечения и его азимут	Генеральный угол наклона борта карьера в сечении	Линия сдвижения с минимальным коэффициентом запаса устойчивости		Минимальный коэффициент запаса устойчивости
			от гор., м	до гор., м	
1	С; 0°	18,4°	+ 70	+ 131	1,686
2	СВ; 22,5°	16,9°	+ 42	+ 145	2,179
3	СВ; 45°	17,3°	+ 70	+ 88	1,940
4	СВ; 67,5°	13,9°	+ 71	+ 87	2,353
5	В; 90°	16,0°	+ 59	+ 116	1,501
6	ЮВ; 112,5°	17,3°	+ 59	+ 115	1,247
7	ЮВ; 135°	14,9°	+ 59	+ 170	2,050
8	ЮВ; 157,5°	15,6°	+ 57	+ 105	1,433
9	Ю; 180°	15,4°	+ 58	+ 90	2,166
10	ЮЗ; 202,5°	15,9°	+ 100	+ 162	1,891
11	ЮЗ; 225°	15,9°	+ 85	+ 150	2,431
12	ЮЗ; 247,5°	16,4°	+ 70	+ 100	2,032
13	З; 270°	15,4°	+ 70	+ 100	2,050
14	СЗ; 292,5°	13,5°	+ 116	+ 145	3,003
15	СЗ; 315°	13,5°	+ 130	+ 160	2,781
16	СЗ; 337,5°	21,3°	+ 72	+ 132	1,712

Результат расчета программного комплекса «БОРТ» по всем сечениям были экспортированы в ГИС Surpac. Объединенная модель карьера с результатами расчета в программном комплексе «Борт» показана на рисунке 3.5. Полученная объединенная модель была задействована для построения карт устойчивости карьера, представленной на рисунке 3.5.

Анализ результатов расчета по таблице 3.3 и карте устойчивости карьера показывает, что по состоянию на 01.09.2019 г. борт карьера находился в устойчивом состоянии, что подтверждается отсутствием серьезных обрушений на реальном карьере. Коэффициент запаса по всем рассчитанным сечениям превышает 1: минимальное полученное в расчетах значение (1,247) приходится на юго-восточный борт карьера (сечение азимута 112,5°). Генеральный угол наклона борта карьера по различным направлениям находился в пределах 13,5° ÷ 21,3° при угле откоса уступов на отдельных участках до 60° ÷ 65°.

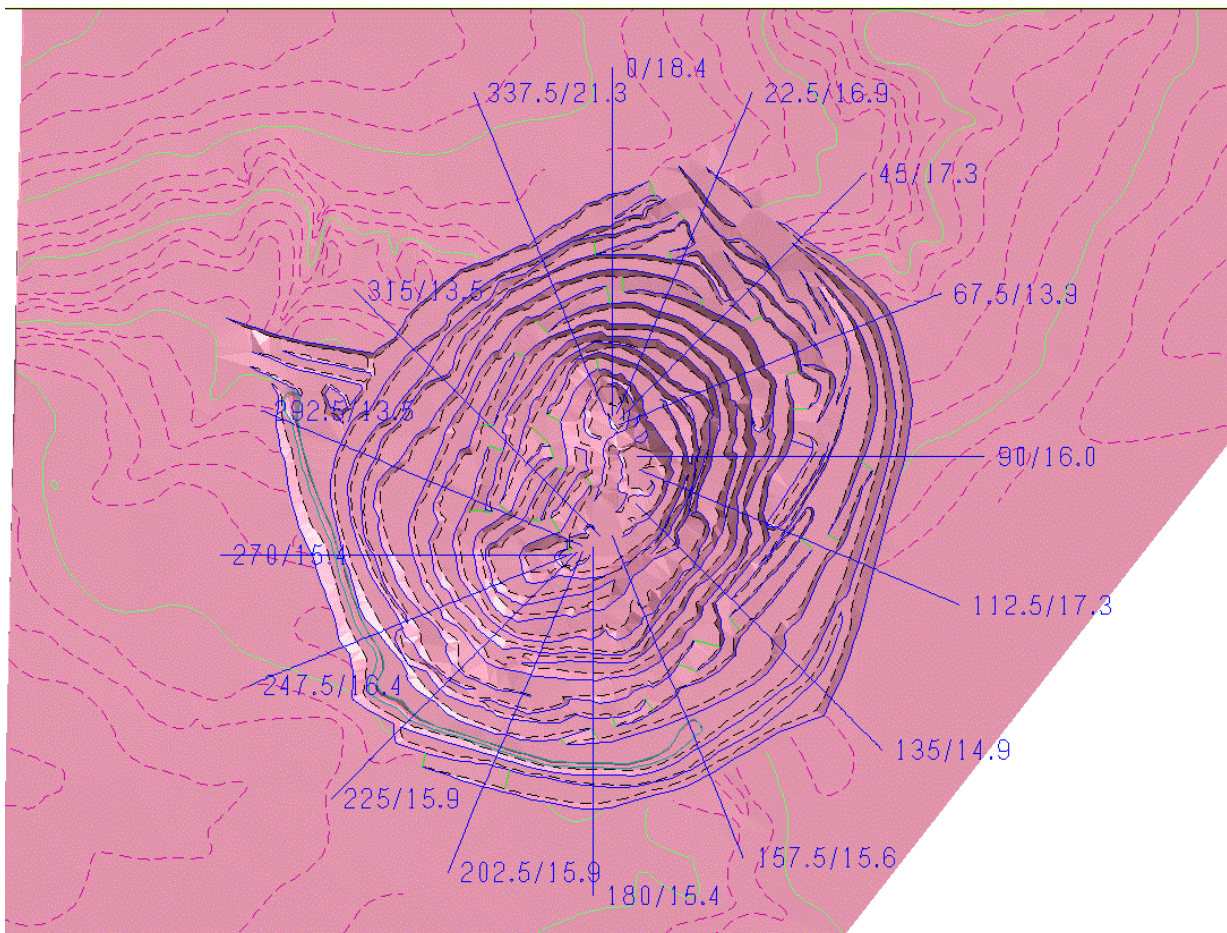


Рисунок 3.5 – Расчетные сечения для построения карт устойчивости карьера Актогай по состоянию на 01.09.2019 г.

Далее эти сечения последовательно загружались в программный комплекс «БОРТ», где выполнялась их обработка. Результат расчета программного комплекса «Борт» по всем сечениям карьера экспортируются в геоинформационную систему Surpac. Полученная объединенная модель карьера с результатами расчета в программном комплексе «Борт» представлена на рисунке 3.6.

Анализ результатов и карта устойчивости карьера показывает, что по состоянию на 01.09.2019 г. борт карьера находился в устойчивом состоянии, что подтверждается отсутствием серьезных обрушений на реальном карьере. Коэффициент запаса по всем рассчитанным сечениям превышает $\eta > 1,3$.

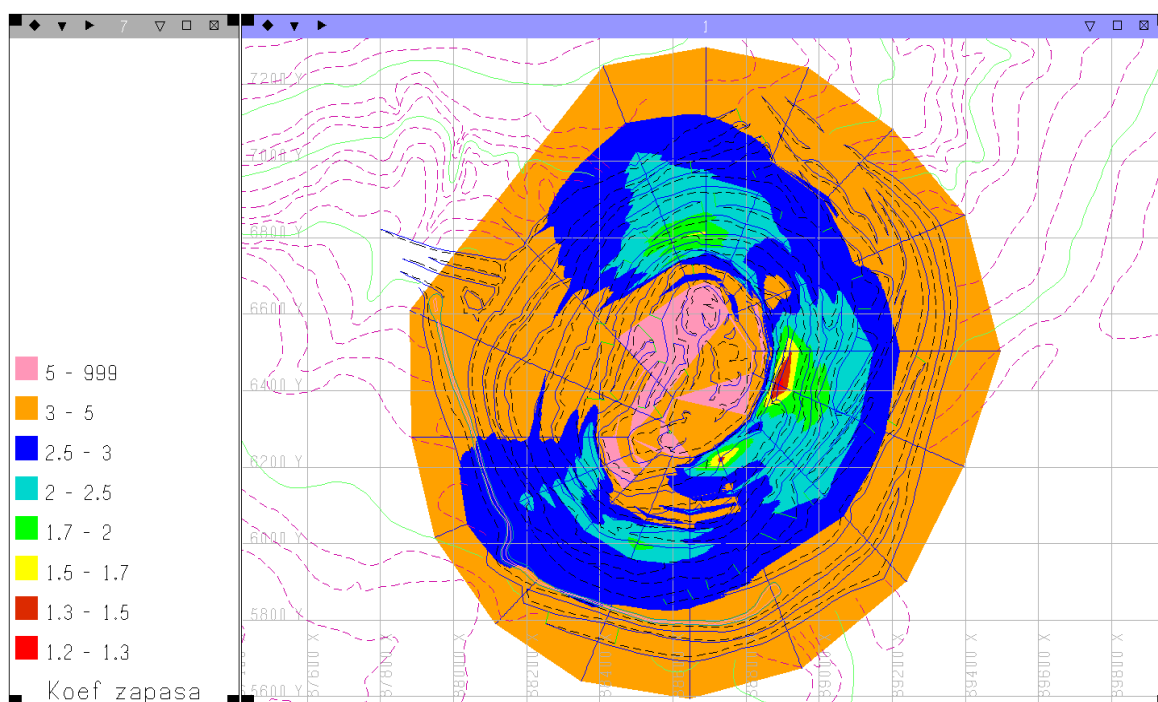


Рис.3.6 - Карта устойчивости карьера

Только на юго-восточном борту карьера получено минимальное значение ($\eta=1,24$) приходится на юго-восточный борт карьера (сечение азимута $112,5^\circ$).

Оценка влияния генерального угла наклона борта на устойчивость

Для определения возможности изменения параметров уступов и борта Куржункульского карьера с целью повышения его устойчивости были дополнительно просчитаны варианты юго-западного борта карьера. По проектному варианту юго-западный борт в расчетном сечении (азимут $200,5^\circ$) при угле наклона $30,9^\circ$ имеет коэффициент запаса устойчивости 0,916 (Таблица 6.4). Варианты с измененными углами наклона борта были получены из исходного путем масштабирования вдоль сечения соответственно с коэффициентами 1,1 и 1,2.

Для полученных вариантов проведен расчет в программном комплексе «БОРТ». Сечения борта по вариантам показаны на рисунке 6.6. Сравнительные характеристики вариантов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Сравнительная оценка устойчивости юго-западного борта (азимут $200,5^\circ$) при изменении генерального угла наклона

Вариант сечения	проектный	с масштабным коэффициентом 1,1	с масштабным коэффициентом 1,2
Генеральный угол наклона борта	$30,9^\circ$	$28,9^\circ$	$26,9^\circ$
Коэффиц. запаса устойчивости	0,916	0,993	1,072

Как видно из результатов выполненных расчетов, изменение угла наклона восточного борта с $30,9^\circ$ до $26,9^\circ$ приводит к повышению коэффициента запаса устойчивости с 0,916 до 1,072.

Развитием возможностей программного комплекса «Борт» явилась разработка ряда технологий его совместного использования с ГИС Surpac, как для подготовки качественных исходных данных для программного комплекса, так и для групповой обработки результатов расчета по отдельным сечениям.

Подобная работа была выполнена для карьеров АО «ССГПО»: Соколовского, Качарского, Сарбайского, карьера Акжал и карьера Актогай. Для каждого карьера были разработаны две карты устойчивости – для фактического положения горных работ и для проектного контура карьера.

Вывод по 3- разделу

1. Разработан метод автоматизированного выделения систем трещин на прямоугольной диаграмме по данным полевых наблюдений, которые учитывает все особенности сложившейся на практике технологии проведения наблюдений трещиноватости пород прибортовых массивов и позволяет определять элемент залегания возможных поверхностей ослабления.

2. Структурно-геометрическая модель прибортового массива как сложная система состоит из четырех относительно независимых частей (подсистем): геологическая среда; внешние факторы; поверхность ослабления и технологические параметры борта. Такое деление позволяет анализировать каждую часть модели независимо друг от друга, что значительно упрощает процесс оценки реальной горно-геологической ситуации в прибортовом массиве.

3. Методика построения структурно-геометрической модели состоит из следующих этапов:

- определения границ области моделирования и создания рабочей БД, содержащей информацию обо всех составных частях структурно-геометрической модели;
- пополнения (в необходимых случаях) рабочей БД материалами, полученными в результате статистического анализа взаимосвязей между прочностными свойствами горных пород с целью повышения уровня достоверности исходных материалов;
- анализа структурно-геометрической модели прибортового массива и выбора соответствующей схемы расчета параметров устойчивых откосов уступов и бортов карьера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка устойчивости бортов карьера должна выполняться на основе надежных и достоверных данных, характеризующих реальную геологическую ситуацию, в частности, трещиноватости и структурных особенностей прибортового массива.

Применение принципов и методов геоинформационного моделирования позволила с необходимой степенью детализации и в соответствии с целью и задачами исследования создать объектно-ориентированные модели основных подсистем обеспечения устойчивости прибортовых массивов карьера и их взаимосвязи, в совокупности представляющую концептуальную модель прогнозирования характеристик карьерных откосов.

Разработаны компонент ГИС (метод, технические, информационные) применительно к прогнозированию устойчивости карьерных откосов, обеспечивающие пользователей необходимой информацией для решения конкретной задачи и подготовки конечных проектных документов.

Разработаны способы и средства сбора информации геопространственных данных о состоянии прибортовых массивов, техническая новизна которых подтверждена патентами РК, что позволяет достоверно выявлять потенциально неустойчивые участки карьерных откосов.

На основе системного анализа этапов освоения месторождений полезных ископаемых разработана методика построения цифровой модели БД ГМИ информации; которые учитывают иерархические связи между геологическими объектами и характер изменения структурных и геометрических параметров горно-геологических объектов во времени и в пространстве.

Разработаны новые методы автоматизированной обработки результатов массовых замеров трещин на основе геометризации структурных показателей и кластерного анализа с применением компьютерной техники, позволяющие наиболее точно и оперативно определять положение центра системы трещин.

Структурно-геометрическая модель прибортового массива как сложная система состоит из четырех относительно независимых частей (подсистем): геологическая среда; внешние факторы; поверхность ослабления и технологические параметры борта. Такое деление позволяет анализировать каждую часть модели независимо друг от друга, что значительно упрощает процесс оценки реальной горно-геологической ситуации в прибортовом массиве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЬ

1. Галиев С.С. Научно-инновационный потенциал горно-металлургического комплекса Казахстана. Материаль международ.науч.-практ. Конф-Алматы: 2014.- С.87-97.
2. Кашкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. -М.:Картгеоцентр и геоиздат, 1993.
3. Аленичев В.М.,Суханов В.И., Хокряков В.С. Моделирование природно-сырьевых технологических комплексов. –Екатеринбург. ИГД УрО РАН, 1998. –147 с.
4. Шек В.М. Объектно- ориентированное моделирование горно-промышленных систем.- М.: МГГУ, 2000. 304 с.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология полезных ископаемых. -Л.: Недра, 1986.-180 с.
6. Борщ- Компониец В.И. Механика горных пород.–М.: Недра,1979. 484 с.
7. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов - М.:, Недра, 1965.- 378с.
8. Певзнер М.Е. Деформация горных пород на карьерах.- М.:Недра, 1992.- 235 с.
9. Геотехнические исследования устойчивости горных пород и выдача рекомендации по управлению горным давлением при отработке рудных тел месторождения Акжал ТОО «NOVA Цинк».-Алматы:2017.-45 с.
10. Проект по реконструкции карьера Акжал. – Алматы, ПИЦ по ГП 2001. – 198 с.
11. Квитка В.В. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана (состояние, проблемы, решения)- Астана: Фолиант.2003. 400 с
12. Арсентьев А.И. Пути развития технологии в горнодобывающей промышленности США//Горный журнал, №6, 2002, -С.16-23.
13. Политика правительства Канады в области минерального сырья - Оттава, 1996. - 36с.
14. Ступаченко А.А. САПР технологических операций. -Л.: Машиностроение, 1998.-234 с.
15. Лось В.Л. Научно-технологическое обеспечение повышения качества оценки недр// Труды Второй Междун. научно-практ. конф. «Горное дело в Казахстане. Состояние и перспективы». – Алматы.: ЦАГС, 2006 – С. 11-13.
16. Букейханов Д.Г., Бек А.Ш. Геоинформационное моделирование горнопромышленных систем //Горный журнал Казахстана. - Алматы, 2006, №.7.- С.17-19.Гипроникель, 1971. - 128с.
17. Бек А.Ш. Геоинформационное обеспечение устойчивости карьерных откосов. Алматы: 2006, Печатный дом .- 140 с.
18. Введение в геоинформатику горного производства Учебное пособие для ВУЗов / под ред. В.С. Хохрякова. - Екатеринбург: Издат. УГГГА, 2001. - 198 с.
19. Шрейдер Ю.А. Информационные процессы и информационная среда /НТИ. Серия 2, 1986, №1.- С.3-6.

20. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) в рамках казахстанских космических программ. В кн. «Космические исследования в Казахстане» - Алматы: РОНД, 2022.-С.140-156.
21. Букейханов Д.Г., Бек А.Ш. Методика проектирования баз данных геолого-маркшейдерской информации //Комплексное использование минерального сырья.-Алматы, 2005, №2.-С.3-7.
22. Кодекс «О недрах и недропользовании».- Астана: Юрист. 2016..
23. Нурпеисова М.Б., Кьргизбаева Г.М., Бек А.А. Мониторинг техноген-ных систем (монография).- Deutschland: LapLambert, 2016.- 113 с.
24. Использование современных приборов при мониторинге природно-технических систем / Нурпеисова М.Б., Кьргизбаева Г.М., Айтказинова Ш.К., Бек А.А. /горный журнал Казахстана.- 2013.-№1(3).-С.10-14.
25. Нурпеисова М.Б., Кьргизбаева Г.М. Инновационные способы съемки нарушенности массива и обработки их результатов// Днепрпетровск: Вестник ДГУ, №2, 2016. С.11-19.
26. Нурпеисова М.Б., Рьсбеков К.Б., Кьргизбаева Г.М., Инновационные методы ведения комплексного мониторинга на геодинамических полигонах (монография).-Алматы: КазНТУ, 2015.-215 с.
27. Указ Президента Республики Казахстан от 19.03.2010 г. «О государственной программе по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 годы».
28. Закон Республики Казахстан от 11.01.2012 г. «О государственной поддержке индустриально-инновационной деятельности».
29. Nurpeisova M.B, G.M. Kyrgyzbaeva, S. Soltabaeva, Bek A.A. Innovational methods of geomonitoring - the most effective way of providing industrial safety in mines //16-th International symposium on Environmental Issues and Waste Managment in Energy and Mineral Production (october 5-7). - Istanbul, 2016. - P. 52-54
30. Nurpeisova M., Kirgizbaeva G., Soltabaeva S, Bek A. Innovational methods of geomonitoring –the effective way of providing industrial safety in mines./Международный форум маркшейдеров. Китай. 2017. P.156-164.
31. Bek A., Volobueva O., Nurpeisova M. Modeling of rock mass fractured using GIS Technology// Горный журнал Казахстан. Алматы .2017.№4.-С.16-18.
32. Бек А.А., Волобуева О.П. Компьютерное моделирование месторождения/ Сборник трудов междуна. научно-практической конференции «Научное и кадровое сопровождение инновационного развития горно-металлургического комплекса».-Алматы: КазНТУ, 2017.-186-190.
33. Мухаметхан Б., Нукарбекова Ж., Дербисов К., Нурпеисова М.Б. Маркшейдерские наблюдения за устойчивостью бортов карьера //Материаль Сатпаев чтения-2020.-Алматы: КазНТУ, 2020.-С.90-94.
38. Нукарбекова Ж. Мухаметхан Б., Мажит А. Методика создания карт устойчивости бортов карьеров с использованием гис технологий// Вестник КазНТУ, 2021, № 2.-С.143-146.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А Статья на международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения -2020».....	68
Приложение Б Статья в журнале Вестник Satbayev University	73
Приложение С Сертификат.....	80