

Горный институт - обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук»

На правах рукописи

Наговицын Олег Владимирович

**КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
(ГГИС MINEFRAME)**

Специальность 25.00.35 - «Геоинформатика»

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:

Доктор технических наук
С.В. Лукичев

Содержание

Введение.....	5
1. История и современное состояние ГГИС	13
1.1 История развития ГГИС	13
1.2 Геоинформационный подход в ГГИС	25
1.3 Современное состояние информационных технологий в горном деле	32
1.3.1 Datamine	36
1.3.2 Geovia	40
1.3.3 Maptek Group	46
1.3.4 Mincom	51
1.3.5 MICROMINE.....	53
1.3.6 Carlson Software	56
1.3.7 Geomix	58
1.3.8 K-MINE	59
1.3.9 Специализированные ПП	61
1.4 Перспективы развития ГГИС	64
2. Архитектура и состав ГГИС.....	69
2.1 Концептуальная модель ГГИС MINEFRAME.....	70
2.2 Архитектурные особенности реализации ГГИС MINEFRAME	81
2.3 Интерфейс графического редактора GEOTECH-3D	86
2.4 Функции графического редактора GEOTECH-3D	91
2.5 Редактор БД геологического опробования GEOTOOLS	101
2.6 Редактор БД ГТО MINEGEAR.....	105
2.7 Управление БД и сетевой многопользовательский режим работы	106
3. Моделирование ОГТ	113
3.1 Состав, структура и свойства моделей ГГИС MINEFRAME.....	113
3.2 Структуры моделей в ГГИС MINEFRAME	116
3.2.1 Модели ОГТ.....	119
3.2.2 Модель опробования.....	126
3.2.3 Модель сети съемочного маркшейдерского обоснования	128
3.2.4 Модель 3D технологического объекта	129
3.2.5 Триангуляционное моделирование	132
3.2.6 Принципы и возможности блочно-модельного представления объектов горной технологии	138
3.3 Алгоритмы моделирования	142
3.3.1 Системы координат в ГГИС.....	142

3.3.2 Операции с каркасными моделями.....	145
3.3.3 Обоснование параметров дискретизации цифрового представления ОГТ.....	150
3.4 Учет изменения горных моделей во времени.....	158
4. Инструменты инженерного обеспечения горных работ.....	169
4.1 Подсчет объемов, запасов	170
4.2 Автоматизированное выделение кондиционных и сортовых интервалов.....	175
4.3 Выделение сортов ПИ.....	177
4.4 Интерактивный ввод данных ГО	178
4.5 Инструменты решения маркшейдерских задач.....	180
4.6 Инструмент «Маркшейдерский замер и отчётность».....	184
4.7 Минимальная поверхность.....	185
4.8 Подсчет объемов горной массы в карьере методом палетки.....	185
4.9 Инструменты геометрического моделирования.....	187
4.10 Инструменты проектирования горных работ	188
4.11 Инструменты проектирования ОГР.....	189
4.12 Определение границ карьеров на основе экономико-математического моделирования	194
4.13 Проектирование массовых взрывов на ОГР	197
4.14 Инструменты для планирования горных работ.....	204
4.15 Моделирование положений карьера и прирезок.....	208
4.16 Набор объемов на погоризонтных планах	209
4.17 Набор объемов на разрезах.....	212
4.18 График работы оборудования	214
4.19 Сменно-суточное управление качеством рудопотоков	215
4.20 Инструменты проектирования подземных горных работ	217
4.21 Проектирование МВ на подземных горных работах	218
4.22 Планирование проходки подземных выработок	222
4.23 Планирование очистных работ	225
4.24 Модуль закладки выработанного пространства.....	227
4.25 Мониторинг сейсмических событий	229
4.26 Визуализация результатов расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород	232
4.27 Мониторинг снегонакопления в зонах лавинной опасности	236
4.28 Подготовка горной графической документации	237
4.29 Импорт-экспорт данных (графика, 3D объекты, числовые данные).....	243
5. Область применения ГГИС и особенности реализации	249
5.1 Требования к реализации компонентов ГГИС, обеспечивающие внедрение на производстве	249

5.2	Особенности использования ГГИС на различных стадиях освоения месторождений твердых полезных ископаемых.....	253
5.3	Особенности внедрения ГГИС на горном предприятии	270
5.4	Автоматизированные рабочие места ГГИС.....	275
6.	Опыт использования ГГИС MINEFRAME	286
6.1	Внедрение на горных предприятиях	287
6.2	Региональные горно-технологические модели	294
	Список используемой литературы	316

Введение

Актуальность проблемы. Горнодобывающие предприятия являются сложными горно-техническими системами, развивающимися во времени и генерирующими на всём протяжении своего существования значительный объём разноплановой информации, используемой для принятия технологических и управленческих решений. Рациональным образом переработать и использовать эту информацию можно лишь используя компьютерные технологии.

Характерной особенностью современного состояния горной отрасли и в России, и во всем мире является наличие определённых тенденций, оказывающих влияние на развитие, как горной технологии, так и её информационной составляющей:

1. Постоянное ухудшение горно-геологических условий разработки месторождений, что приводит к необходимости проведения детального анализа и принятия зачастую неординарных технологических решений при проектировании и планировании горных работ.

2. Резкие колебания цен на рынках минерального сырья, влияющие на финансовые показатели работы горнодобывающих предприятий и вынуждающие принимать соответствующие технологические и организационные решения.

3. Желание собственников предприятий получать достоверную и максимально полную информацию о финансовой составляющей проектов и планов горных работ, как в целом по предприятию, так и для локальных технологических решений.

4. Быстрое развитие технических средств механизации и автоматизации технологических процессов при одновременном росте их стоимости, что требует более тщательного учета горнотехнических особенностей использования горнотранспортного оборудования при планировании горных работ.

5. Быстрое развитие средств связи, автоматизированных методов получения информации о местоположении и состоянии объектов горной технологии, компьютерных методов обработки данных, что позволяет повысить производительность труда и уменьшить долю ошибок, связанных с человеческим фактором.

6. Требования государственных надзорных и налоговых органов регулярно получать исчерпывающую информацию о показателях горного производства, что ведет к увеличению объема отчётной документации.

Наличие этих тенденций приводит к формированию соответствующих требований к функционалу горно-геологических информационных систем (ГГИС). Следует также отметить, что на сегодня информационная составляющая является наиболее динамично

развивающимся элементом горной технологии, и от состояния ГГИС на горнодобывающем предприятии уже в ближайшем будущем будет зависеть уровень автоматизации и организации технологических процессов. Более того, отсутствие на предприятии полноценной ГГИС, реализующей комплексный подход при решении задач горной технологии, не позволит в полной мере использовать возможности современных горных технологий.

Переход предприятий на компьютерную технологию инженерного обеспечения горных работ создает предпосылки для повышения эффективности работы геологической, маркшейдерской и технологической служб за счет:

- перехода на качественно иной цифровой способ хранения и обработки информации;
- использования при принятии решений значительно большего объема информации, чем при традиционном, бумажном варианте работы;
- уменьшения потерь времени на выполнение рутинных операций, связанных с подготовкой исходных данных и их переносом из одной службы в другую;
- снижения затрат времени на выпуск технологической документации при использовании специализированных программных средств.

Таким образом, разработка отечественного программного обеспечения класса ГГИС, реализующего подходы, развиваемые российской горной наукой, является актуальной и важной научно-технической задачей, решение которой, позволит создать и предложить горнодобывающим предприятиям конкурентоспособный программный продукт, что, в конечном счете, повысит эффективность добычи минерального сырья.

Объект исследования – информационные системы автоматизированного проектирования, планирования и сопровождения горных работ.

Предмет исследования – комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих математических методов, цифровых моделей, алгоритмов и программных средств горно-геологических информационных систем.

Целью работы является создание горно-геологической информационной системы, обеспечивающей комплексное решение задач открытой и подземной геотехнологии на основе трёхмерного моделирования объектов горной технологии и многопользовательского режима доступа к базам данных.

Идея работы заключается в использовании универсальной структуры модели горно-геологического объекта, содержащей в своём составе элементы его векторного, каркасного и блочного представления, при разработке комплекса программных средств,

реализующих компьютерную технологию проектирования, планирования и сопровождения горных работ.

Положения, представляемые к защите:

1. Концепция формирования ГГИС, базирующаяся на сочетании методов управления реляционными базами данных, трехмерного моделирования объектов горной технологии, генерации горно-графической документации и автоматизации решения горно-геологических задач, создаёт инструментальную основу для реализации компьютерной технологии проектирования, планирования и сопровождения горных работ. Концепция включает следующие уровни иерархии структуры ГГИС: 1. Уровень программных модулей MINEFRAME 2. Уровень программных инструментов прикладных задач геотехнологии 3. Уровень алгоритмов и процедур моделирования объектов горной технологии; 4. Уровень вычислительных операций, составляющих основу математического обеспечения ГГИС.
2. Универсальная структура моделей объектов горной технологии (ОГТ), содержащая в своём составе методы их векторного, каркасного и блочного представления, и базирующиеся на данной структуре инструментальные средства многооконного графического редактора реализуют операции создания, редактирования и управления моделями объектов в режиме коллективного доступа к базам данных. Структура моделей включает в себя несущие сечения (плоскости), привязанные к ним контура, состоящих из упорядоченного набора точек; элементы, характеризующих семантическое наполнение, принятое для каждой разновидности модели.
3. Программные средства геологического моделирования, маркшейдерского обеспечения, проектирования и планирования горных работ, а также визуализации результатов мониторинга природных и техногенных процессов, основанные на едином подходе к созданию 3D-моделей с использованием средств интерактивной графики, обеспечивают развитие функционала ГГИС без изменения базовых структурных и архитектурных решений. В ГГИС реализован многооконный режим, обеспечивающий одновременную работу с моделями объектов горной технологии в разных видовых окнах, проекциях, разрезах. Многопользовательский режим обеспечивает возможность коллективной работы в едином геоинформационном пространстве, агрегирующем совокупность разнородных данных об объектах горной технологии.
4. Системный подход при решении задач горной технологии, реализующий механизм взаимодействия моделей объектов в пространстве и времени, позволяет моделировать процессы трансформации массива горных пород под воздействием технологических

процессов во взаимосвязи с визуализацией результатов расчёта и мониторинга геомеханического состояния массива, а также технико-экономической оценкой вариантов технологических решений.

Научная новизна работы заключается:

1. В обосновании того, что необходимым условием эффективной реализации ГГИС на горном предприятии является создание единого геоинформационного пространства, объединяющего унифицированные данные, получаемые и обрабатываемые геологическими и маркшейдерскими службами, техническими отделами, службами, связанными с мониторингом природных и технологических процессов.
2. В разработке архитектуры ГГИС MINEFRAME, отличающейся сочетанием таких информационных технологий, как реляционные БД, многопользовательский режим работы, трехмерное моделирование объектов горной технологии, что позволяет реализовать геоинформационную технологию проектирования, планирования и сопровождения горных работ.
3. В реализации графической платформы ГГИС, обладающей многооконным режимом, обеспечивающим одновременную работу с объектами горной технологии в разных видовых окнах, проекциях, разрезах, что позволило создать комплекс программных средств автоматизации инженерного обеспечения горных работ.
4. В разработке структуры данных и программные средства для хранения и обработки цифровых моделей объектов горной технологии в БД, которые обеспечивают многопользовательский режим работы и масштабирование ГГИС при обеспечении персонализированного контролируемого доступа к БД.
5. В обосновании структуры геоинформационной модели объекта горной технологии, которая обеспечивает хранение в едином комплексе всей информации о геометрии, местоположении и свойствах таких объектов, как рудные тела, пласты, тектонические нарушения, природные и техногенные поверхности, подземные выработки, выемочные блоки и секции и пр.
6. В формировании подхода к моделированию объекта горной технологии, сочетающего пространственную и временную информацию и позволяющий хранить состояние и наблюдать изменение объектов и их совокупностей в 4-х измерениях пространства-времени.
7. В реализации системного подхода к формированию компьютерной технологии проектирования, планирования и сопровождения горных работ на основе средств моделирования объектов горной технологии и технологических процессов, БД технологического оборудования, визуализации результатов расчёта НДС и

геомеханического мониторинга, технико-экономической оценки вариантов технологических решений.

Актуальность работы подтверждается востребованностью автоматизированных программных инструментов проектирования и планирования горных работ ГГИС MINEFRAME на предприятиях России, а научная новизна – неоднократным включением результатов исследований в список важнейших достижений Российской академии наук.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается:

- применением современных методов исследований, обширным использованием отечественных и зарубежных научных и производственных источников данных;
- соответствием направленности исследований тенденциям мировой практики горного и геологического моделирования и построения ГГИС;
- положительными результатами внедрения компьютерной технологии проектирования, планирования и сопровождения горных работ на карьерах, разрезах, подземных рудниках и шахтах;

Практическое значение работы состоит в создании отечественной ГГИС, реализующей компьютерную технологию геологического моделирования, проектирования и планирования открытых и подземных горных работ (ОГР и ПГР). Состав и функционал ГГИС MINEFRAME позволяет формировать компьютерную технологию инженерного обеспечения горных работ применительно к условиям конкретного горнодобывающего предприятия за счет развитых программных средств моделирования; модулей, реализующих технологические инженерные подходы и инструменты, используемых на открытых и подземных горных работах, что в будущем может стать цифровой основой для реализации роботизированных технологий горного производства.

Реализация работы. Применение ГГИС MINEFRAME позволило осуществить реализацию компьютерной технологии проектирования, планирования и сопровождения горных работ на ряде горнодобывающих предприятий России, среди них ОАО «ППГХО», АО «СЗФК» ОАО «Оренбургские минералы», ОАО «Боксит Тимана», ОАО «Учалинский ГОК», ОАО «Ураласбест», рудники холдингов «АЛРОСА» и «РУСАЛ», «ЕВРОХИМ» и многие другие, общее количество лицензированных рабочих мест превышает 500 и постоянно увеличивается.

С применением ГГИС MINEFRAME в Горном институте КНЦ РАН (ГоИ КНЦ РАН) ведется большинство исследовательских и хозяйственных работ, связанных с разработкой технологических решений открытых и подземных горных работ, технико-экономическим обоснованием разработки месторождений полезных ископаемых (ПИ). С помощью ГГИС MINEFRAME в ГоИ КНЦ РАН проведены исследовательские работы,

поддержанные грантом РФФИ (проект № 00-07-90076), и государственным контрактом с Федеральным агентством по науке и инновациям (№ 02.740.11.0316), а также федеральными целевыми программами, программами фундаментальных исследований Президиума РАН, программами ОНЗ РАН.

ГГИС MINEFRAME используется для проведения исследований в Институте угля Сибирского отделения РАН, Институте горного дела Севера Сибирского отделения РАН, Институте горного дела Дальневосточного отделения РАН, Институте горного дела Уральского отделения РАН.

На основе разработанного программного обеспечения (ПО) и учебно-методических материалов в Апатитском филиале Мурманского государственного технического университета и Мурманском арктическом государственном университете преподаются курсы «Компьютерное моделирование в геологии», «Компьютерное моделирование процессов и объектов горной технологии» и «САПР и планирование подземных/открытых горных работ» для студентов горных и геологических направлений.

В Роспатенте получены свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ, входящих в ГГИС MINEFRAME. ГГИС MINEFRAME признана соответствующей требованиям и включена в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, утвержденный постановлением Правительства РФ №1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 16 ноября 2015г.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач исследований, а также:

1. Разработке архитектуры горно-геологической информационной системы и ее концептуальной модели.
2. Обосновании структуры геоинформационной модели объекта горной технологии.
3. Формулировании подходов к реализации комплекса методов и алгоритмов для векторного, каркасного и блочного представления горно-геологических объектов, обеспечивающих комплексное решение задач горной технологии в режиме многопользовательского контролируемого доступа к БД.
4. Обосновании того, что создание единого геоинформационного пространства объединяющего разнородные данные геологического моделирования, маркшейдерских работ, проектирования и планирования горных работ с помощью унифицированных программных средств и способов доступа и обработки информации является необходимым условием эффективной реализации ГГИС на горных предприятиях.

5. Разработке системного подхода к формированию компьютерной технологии проектирования и планирования горных работ на различных этапах жизненного цикла работы горного предприятия.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных конференциях в гг. Апатиты, Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Белгород, Новосибирск, Хабаровск и др., на следующих научных мероприятиях: 2-nd regional Symposium on computer applications and operations research in the mineral industries, APCOM'97, Moscow, 1997; Международная конференция «Проблемы и перспективы освоения минерального сырья и подземного пространства Северо-Запада России», Апатиты; International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brasil, 2000; Шестой международный симпозиум «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях», Белгород, 2001; Научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии добычи и переработки полезных ископаемых», Новосибирск, 2001; 8-й Международный симпозиум «Горное дело в Арктике», Апатиты. 2005; 4-я международная конференция «Физические проблемы разрушения горных пород». Москва, 2005; Международная конференция «Промышленные минералы и научно-технический прогресс», Москва, 2007; Всероссийская научная конференция с международным участием «Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ», Апатиты, 2008; Международная конференция «Сырьевая база России», Technische Universitat Bergakademie Freiberg, 2009; V Всероссийская научная школа «Математические исследования в естественных науках», Апатиты, 2009; Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, посвященная 50-летию Горного института КНЦ РАН, Апатиты, 2011; Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Глубокие карьеры», Апатиты, 2012; Научно-техническая конференция «Информационные технологии в горном деле» на IV Уральском горнопромышленном форуме, Екатеринбург, 2011; 12-й международный симпозиум «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях», Белгород, 2013; Всероссийская научная конференция с участием иностранных учёных «Проблемы комплексного освоения георесурсов», Хабаровск, 2013; Международная научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий», г. Санкт-Петербург, 2014; Научно-техническая конференция с участием иностранных специалистов «Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов», г. Апатиты, 2014; 37, 38-th International symposium on

computer applications and operations research in the mineral industries, APCOM-2015, Fairbanks; APCOM-2017, Golden; Международный научный симпозиум «Неделя горняка», Москва, 2002, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2015 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 2 монографии, 1 учебное пособие и более 70 печатных работ в специализированных периодических изданиях, сборниках трудов всероссийских и международных конференций и симпозиумов, (26 из них в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ). Основные результаты работы изложены в отчетах НИР ГоИ КНЦ РАН, проектов РФФИ, ОНЗ РАН, ФЦП, Программ фундаментальных исследований Президиума РАН.

Структура и объем работы. Диссертация, объемом 344 страница, состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованных источников, содержит 6 таблиц и 180 иллюстраций.

Автор выражает искреннюю благодарность академику Н.Н. Мельникову за всемерную поддержку исследований, д.т.н. С.В. Лукичёву за долголетнее сотрудничество и консультации при работе над диссертацией, коллективу программистов – А.Ю. Алисову, А.А. Андрееву, К.П. Гурину, С.В. Звонаревой, А.В. Корниенко, А.Н. Попову, Е.М. Савину, А.В. Смагину, А.В. Степачевой, А.С. Шишкину, Неведрову А.С. за качественное воплощение совместных идей и алгоритмических находок, реализованных в ГГИС MINEFRAME, к.т.н. А.Л. Билину и О.В. Белогородцеву за участие и помощь в исследованиях, а также работникам ПАО ППГХО Б.А. Просекину, Е.А. Ильину, АО «Оренбургские минералы» Ю.М. Николаеву за содействие в разработке и внедрении результатов работы, Л.С. Ломако и сотрудникам компании «Кредо-Диалог» за конструктивные предложения по совершенствованию ПО и его внедрению.

1. История и современное состояние ГГИС

1.1 История развития ГГИС

История применения компьютерных технологий в горном деле имеет более чем 50-тилетнюю историю [1- 10]. Тогда (60-70-е годы прошлого века) исследования в этой области были посвящены вопросам моделирования месторождений статистическим методам при разведке недр, машинного представления горно-геологической информации, создания математических моделей карьеров и подземных рудников и технологических процессов, оптимизации границ карьеров [11], определения режима горных работ [12], решения задач горно-геометрического анализа и выбора главных параметров карьеров [13, 14]. В те годы начало складываться представление о том, какое место занимают компьютерные подходы при добыче ПИ, создавались первые автоматизированные системы управления (АСУ) на горных предприятиях [15, 16]. И если первые попытки использования электронно-вычислительной машины (ЭВМ) ограничивались единичными внедрениями алгоритмов, решающих частные задачи, то к нынешнему моменту проникновение компьютерных технологий в практику горного дела стало повсеместным: от геологоразведки и горного производства до обогащения и переработки минерального сырья. Во многом этот процесс следовал тенденциям развития средств вычислительной техники, математического и алгоритмического аппарата решения задач аналитической геометрии, теории графов, методов оптимизации, линейного и динамического программирования, машинной графики, систем управления базами данных (СУБД), общего технологического прогресса.

Уже к началу 80-х годов выявились основные направления применения компьютерных технологий для решения задач горной технологии, проявились тенденции к интегрированным решениям, объединяющим на единой информационной основе решение таких задач, как: геологическое моделирование и подсчет запасов, маркшейдерское обеспечение, проектирование отдельных технологических процессов и определение основных проектных решений, планирование и управление производством.

В период с начала по конец восьмидесятых годов XX века в СССР было реализовано несколько отраслевых программ по созданию систем автоматизированного проектирования (САПР). Работы, в основном, проводились в проектных институтах горного профиля и ВУЗах. В этой связи можно упомянуть такие организации, как Южгипрошахт, Гипроруда, ИПКОН, Гипроникель, Унипромедь, СГИ, ВНИИцветмет, Казгипроцветмет, КазПТИ, Институт кибернетики АН УзССР, ИГД УрО АН СССР, ИГД

АН КазССР, Криворожский горнорудный институт, Кузбасгипрошахт, Сибгипрошахт [17-27].

В то время были предложены несколько классификаций моделей месторождений [16, 28, 29, 30], развивались методы имитационного моделирования карьеров и подземных рудников, были разработаны основные принципы построения систем автоматизированного планирования горных работ, предложены методы построения моделей пластовых месторождений, методы и алгоритмы решения горно-геометрических задач. Решались оптимизационные задачи с использованием цифровых моделей месторождений, алгоритмизировались задачи перспективного, текущего и оперативного планирования горных работ по основным технологическим процессам. Рассматривались общие вопросы теории построения САПР карьеров.

Появились первые учебные пособия, в которых приводились сведения о принципах организации, средствах и методах САПР карьеров [29]. В них были изложены вопросы теории математического описания горно-геометрических объектов и приведены основы машинной графики применительно к решению горных задач. Рассматривались конкретные примеры реализации комплексов программ для горно-геометрического анализа месторождений различного минерального сырья с разнообразными условиями залегания, формулировались практические задачи автоматизированного проектирования и планирования, такие как расчет параметров буро-взрывных работ (БВР), отвальных работ и транспортных коммуникаций, экономическая оценка вариантов ведения горных работ. Внимание к вопросам автоматизации управления, использованию вычислительной техники для поиска оптимальных решений уделялось в общедисциплинарных учебниках горного дела [31, 32]. К сожалению, в дальнейшем появилось не так много учебных пособий, освещающих проблематику построения горных информационных систем. Можно упомянуть гораздо более поздние [33, 34; 35], в которых даны основные понятия и теоретические основы геоинформатики горного производства, приводились характеристики геоинформационных программных средств, различные аспекты моделирования геологических объектов и принципов их математического моделирования, показывалось решение задач горной технологии с помощью прикладных программ.

Достижения зарубежных исследователей и горнодобывающих предприятий в области применения компьютеров и систем управления были обобщены в [36]. В книге было показано развитие геостатистических методов подсчета запасов ПИ, методов проектирования и планирования горных работ с помощью ЭВМ, большое внимание было уделено диспетчеризации и системам управления на зарубежных предприятиях.

В конце 80-х, начале 90-х было проведено несколько научно-технических совещаний и конференций, изданы труды, отдельные монографии, [37-45] которые, фактически подвели итог того этапа развития информационных систем в горном деле СССР. Состояние САПР горного производства на тот момент хорошо показано в [23]. Было констатировано, что уровень оснащения средствами вычислительной техники растет за счет использования ЭВМ серии СМ, но развитых САПР в отраслях горного производства нет. Оснащение средствами для обработки графической информации недостаточно, программное обеспечение (ПО) представлено отдельными программами и создается не централизованно, а отдельными разрозненными группами или специалистами, нет унификации ПО, единой терминологии и документации. В научных исследованиях работы по геоинформатике, автоматизации вышли на ведущее место, однако, не достигли достаточного уровня для обеспечения научно-технического прогресса. Было отмечено малое количество защит кандидатских и докторских диссертаций по разработке САПР горного производства. Отмечались низкий уровень математизации горного производства, слабость теоретической базы, примитивность математических моделей, что приводило к разработке алгоритмов и программам неприемлемого качества.

Более конкретно проблемы, с которыми столкнулись разработчики систем проектирования и планирования горных работ, охарактеризованы в [46]. Среди множества причин низкой эффективности использования вычислительной техники были выделены следующие:

1. Нет единых принципов в организации АСУ, и, как следствие - применяются различные типы ЭВМ, что вызывает несовместимость большей части ПО.
2. Отсутствуют средства связи и устройства, позволяющие осуществить информационную связь даже на уровне «Рудник-ГОК».
3. Отсутствуют устройства, регистрирующие и собирающие информацию непосредственно на машинных носителях.
4. Сосредоточение ЭВМ на уровне управления ГОКаи обуславливает незаинтересованность в компьютеризации основных исполнителей на рудниках.
5. Нет унифицированного представления результатов геолого-технологических исследований (например, объемных моделей).
6. Не ведутся работы по формированию баз данных (БД), ориентированных на единую идеологию. Практически все организации, занимающиеся САПР горных работ, используют различные типы СУБД.

7. Отсутствует преемственность в формировании БД между организациями геологоразведки, проектировщиками и эксплуатантами.

Основной проблемой, приведшей к недостаточной эффективности внедрения компьютерных технологий, стало, на наш взгляд, сочетание п.2 и п.4. Крайний дефицит и неразвитость технических средств на рабочих местах исполнителей привел к отсутствию ПО, решающего задачи так, чтобы можно было говорить о хоть каком-то преимуществе компьютерных технологий. Отсутствие возможности пополнять исходную информацию «снизу» приводило к неэффективной работе тех немногих автоматизированных систем, которые внедрялись на уровне ГОКов.

Из зоны интересов советских теоретиков и разработчиков САПР было совершенно упущено бурное развитие персональных компьютеров, начавшееся в начале 80-х годов в США, странах западной Европы, Японии. Это понятное сейчас упущение связано с политической изоляцией и санкционным давлением, выразившимся в ограничениях поставок высокотехнологического оборудования в СССР. Вследствие этого, другой важной проблемой развития САПР горного дела стало недостаточное внимание к разработке интерактивных графических программ класса «электронного кульмана», позволяющих выполнять элементарные чертежные операции, автоматизирующие, с одной стороны, построение графической документации, и, с другой, облегчающие процесс построения геометрических моделей, составляющих основу использования продвинутых оптимизационных алгоритмов для всего многообразия задач проектирования, планирования и управления горными работами. И это несмотря на то, что осознание этой проблемы, теоретические и практические основы ее решения были разработаны и показаны во многих работах [30, 47, 48]. Контраст между неразвитостью элементарных графических инструментов и далеко продвинувшимся фронтом теоретических исследований в области оптимизационных алгоритмов и расчетов был характерен не только для горных САПР, но, в общем, для большинства отраслей народного хозяйства, разрабатывающих и применяющих средства автоматизированного проектирования в СССР [49].

Преодолеть вышеуказанные противоречия смогло только массовое появление персональных компьютеров с середины 90-х годов, однако, к этому времени, практически все прежние наработки САПР и АСУ горных работ были потеряны в процессе распада СССР, угасания проектных и исследовательских организаций горного профиля, прекращения финансирования и закрытия отраслевых программ по разработке САПР. Многие научные коллективы, занимавшиеся этой тематикой, распались. Поэтому почти все реализованные ныне (на постсоветском пространстве) разработки по тематике горно-

геологических информационных систем (ГИС) (MINEFRAME, GEOMIX, K-MINE, САМАРА и др.) были начаты именно в это время, в организациях, ранее серьезно не занимавшихся такой проблемой, кроме, пожалуй, Кривбассакадеминвеста, унаследовавшего наработки Криворожского горнорудного института.

Можно было бы предположить, что появление персональных компьютеров повлечет за собой и использование зарубежного ПО, разработанного под требования зарубежных предприятий. Однако, иностранные горные пакеты с трудом находили применение из-за их дороговизны, высоких требований к квалификации персонала, проблем с русификацией интерфейсов программ и неприспособленностью к реалиям горного производства стран бывшего СССР. Поэтому наиболее массовое применение в 90-е получили программы общего назначения, такие как электронные таблицы (*Lotus 1-2-3*, *Quattro Pro*, *MS Excel*), текстовые редакторы (*WordPerfect*, *AmiPro*, *MS Word*), чертежные программы, реализующие режим электронного кульмана (*AutoCAD*, *Microstation*, *CorelDraw*). Чуть позже ограниченное применение получили программные средства класса географических информационных систем (ГИС) [50-53]. Преобладающим стало применение персональных компьютеров с операционной системой *MS Windows*, что во многом решило проблемы совместимости ПО, а появление развитого сетевого и инфраструктурного ПО облегчило кроссплатформенное взаимодействие и обмен данными, что частично сняло проблемы обмена данными между инженерными подразделениями карьеров, рудников и шахт. Достаточно подробно подходы к моделированию, алгоритмы и применение информационных технологий того времени в практике проектирования и планирования горных работ описаны группой авторов в [54].

Достаточно продолжительный период времени (начиная с 70-х годов прошлого века) горные предприятия, имевшие сильные отделы информационных технологий, предпринимали попытки разработки ПО собственными силами для решения своих производственных задач. Так в [55] описана автоматизированная система геолого-маркшейдерского обеспечения, являющаяся частью автоматизированной системы инженерного обеспечения горного производства для научно-производственного объединения (НПО) «Джезказганцветмет». Система реализовала информационную основу для планирования горных работ, автоматизируя текущие работы старшего и участкового маркшейдера, а также геолога. Была создана «геоматематическая» модель месторождения, позволяющая формировать варианты набора эксплуатационных блоков при планировании горных работ. Комплекс прикладных программ ФОСФОРИТ-80 был создан для горно-геометрического анализа пластовых сложноструктурных месторождений большой протяженности (фосфоритовое месторождение Каратау). Пакет находился в

промышленной эксплуатации и использовался для решения задач определения направления развития и календарного планирования горных работ. Особенностью метода моделирования было то, что карьерное поле по простиранию было разбито на несколько зон, длина которых соответствовала длине выработки, обеспечивающей подготовку нового горизонта. При понижении горных работ выделялся участок, который характеризовался такими показателями, как объем руды по сортам и вскрышных пород, качественными показателями полезных и вредных компонентов, средневзвешенной длиной транспортирования руд и пустых пород [29]. Таким образом, элементарные части модели были увязаны с технологией ведения горных работ. В Читинском филиале Гипроцветмета был разработан комплекс программ для автоматизированного расчета технико-экономического обоснования (ТЭО) кондиций и велась разработка САПР «Подземный рудник». Проводились оптимизационные расчеты по конечному виду продукции (концентраты, металл) по нескольким заданным критериям (прибыль, приведенные затраты, удельные капвложения, ущерб от потерь и разубоживания и т.д.) [56]. Производственный комбинат «Апатит» с помощью институтов ИПКОН и ГоИ КФ АН СССР вел интенсивные разработки в области автоматизированного формирования выбора вариантов развития горных работ на подземных рудниках [57].

Методы имитационного моделирования при создании САПР и автоматизации планирования горных работ рассматривали рудник как сложную систему, требующую соответствующих программных средств для расчета и взаимоувязки таких подсистем, как вскрытие, вентиляция, подготовка и очистная выемка, генплан, расчет технико-экономических показателей (ТЭП) и др. [58]. В Горном институте КНЦ АН СССР была разработана модель подземного рудника, представляющая собой сложную человеко-машинную систему. Модель предназначалась для решения задач управления технологией подземной добычи руды на рудниках, применяющих системы этажного и подэтажного принудительного обрушения. В результате моделирования обеспечивалась многовариантная оценка развития горных работ на руднике, устанавливалась зависимость изменения ТЭП от объемов горных работ, применяемой техники и технологии [59, 60, 61].

Автоматизированный выбор систем разработки, их параметров приведен в работе [62, 63, 64]. Предложенные методы решения этих задач обеспечивают выбор конкурентоспособных вариантов по горно-геологическим и горнотехническим возможностям, оптимизацию конструктивно-технологических параметров, расчет основных и вспомогательных процессов.

Разрабатывались и автоматизированные системы для расчетов отдельных технологических процессов, так в работе [65] описана разработанная в КазПТИ САПР

«Транспорта подземных рудников», которая включает в себя модули для расчета параметров электровозного, конвейерного и самоходного транспортов. Модули позволяли производить тяговые и эксплуатационные расчеты, выбор путевого развития транспортных выработок и провозной способности. А в работе [66] приведены подходы к обоснованию принципов построения математических моделей первых советских разработок в области САПР вентиляции подземных рудников. Исследование зависимостей удельной протяженности подготовительно-нарезных выработок, выхода руды при скважинной отбойке, эксплуатационной производительности погрузочно-доставочного оборудования, показателей извлечения от горно-геологических условий, физико-механических свойств руды и вмещающих пород привело к формированию метода автоматизированного формирования экономико-математических моделей технологии очистной выемки руды [67].

В начале 2000-х стали появляться электронные маркшейдерские приборы, в первую очередь, тахеометры, развитие средств глобального позиционирования *GPS* (*NavStar*, *GLONASS*) [68, 69, 70] упростило процесс привязки и получения координат снимаемых объектов. С начала 2010-х начали применяться средства лазерного сканирования [71, 72, 73, 74], что позволило автоматизировать процесс съемки подземных выработок и объектов открытых горных работ (ОГР), получая недостижимую прежде точность их модельного представления. На рудниках появляются носимые средства оперативного опробования, основанные на принципах регистрации различных видов излучений [75, 76], это решает проблему с экспресс оценкой качества ПИ.

В середине 2000-х появились примеры внедрения ГГИС, когда на уровне управлений горных предприятий действовали вычислительные центры, сосредотачивающие вычислительные мощности для обработки и хранения данных, а связь с рабочими местами на рудниках осуществляется посредством локальных и глобальных сетей [77]. Применение клиент-серверных и появившихся облачных технологий в принципе размывает подчиненность связи «рудник-управление», предоставляя каждому рабочему месту надежные и мощные средства хранения и обработки данных, исполнения массивных вычислительных задач, решая, таким образом, проблему совместной работы с данными.

На сегодняшний день выработан достаточно стандартизованный подход к формированию моделей с помощью ГГИС. Это сочетание векторных, триангуляционных и блочных моделей (БМ). С использованием этих моделей производятся такие работы, как геологическое моделирование и подсчет запасов, определение оптимальных границ карьеров, проектирование и планирование открытых и подземных горных работ и многое

другое. Данные по-прежнему хранятся в различных файловых форматах и БД, однако, ограниченный набор структур данных, составляющих модели, также достаточно давно стабилизировался, таким образом, проблема унификации и стандартизации форматов БД была преодолена с помощью средств экспорта-импорта и конвертации данных, встроенных во все ГГИС.

Такой подход помогает и для решения проблемы передачи БД между организациями геологоразведки, проектировщиками и эксплуатантами. БД достаточно легко используются различными организациями, претерпевая конвертацию в нужный формат, а в некоторых случаях средства ГГИС позволяют работать с ними как с одним из многих источников данных.

После почти двадцатилетнего перерыва в регулярных встречах ученых, разработчиков и производителей на конференциях и симпозиумах, посвященных автоматизированным технологиям в горном деле, в 2008 году на Всероссийской научной конференции с международным участием «Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ» в г. Апатиты собрались специалисты, заинтересованные в этой тематике. [78]. С этого времени такие встречи стали достаточно регулярными и проходили в Екатеринбурге [79] и Белгороде [80]. Конференции освещают современный уровень автоматизированного решения задач горного производства, результаты теоретических и прикладных исследований в области моделирования объектов горной технологии, использования отечественных и зарубежных разработок в практике проектирования, планирования и ведения горных работ, геомеханического моделирования при разработке месторождений в сложных горно-геологических условиях. Обмен достижениями и опытом разработки и внедрения информационных технологий на этих и других площадках показывает, что на сегодняшний момент сложилась экосистема конкурирующих на постсоветском пространстве ГГИС отечественной и зарубежной разработки, основанных практически на одних и тех же модельных представлениях, методах геологического моделирования и оптимизации процессов проектирования и планирования горных работ. Особенностью отечественных решений остается большая глубина и тщательность проработки решения технологических задач, зарубежным присуща большая концентрация на методах геологического моделирования и стратегического планирования процесса разработки месторождений ПИ (МПИ).

Состояние исследований в области информационных технологий горного дела можно проследить по тематике нескольких международных и российских симпозиумов – APCOM (International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry); «Mines and Technology»; MINEX; «Future of Mining»; конференции,

проводимые The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (The AusIMM). В качестве примера можно привести тематику симпозиума APCOM. Его история насчитывает более 50 лет, и на сегодня он является местом для представления новых алгоритмов, технических решений и идей, посвященных оптимизации процессов горного производства. Симпозиум этого года затрагивал как традиционные темы, такие как планирование и проектирование горных работ, геостатистическая оценка минеральных ресурсов, учет факторов неопределенности и количественной оценки рисков новых проектов, так и исследования в области разработок интернета вещей, использования больших данных и нейронных сетей, автономного горнотранспортного оборудования. Такие разработки не только показывают современное состояние исследований в области горных информационных технологий, но обозначают тенденции их будущего развития. Несколько характерных работ, представленных на APCOM-2017, показывают широту тематики исследований в области информационных технологий горного дела:

Разработчики Maptek занимающиеся методами оптимизации планирования горных работ заявили [81], что использовавшиеся для этого программные средства, основанные на алгоритмах линейного, целочисленного или смешанного целочисленного программирования не могут использовать преимущества таких новаций, как многопоточные, многоядерные процессоры или даже многопроцессорные серверные среды, поскольку были разработаны тогда, когда такие технологии были недоступны. Ими предложен генетический алгоритм - метод оптимизации, который неоднократно модифицирует популяцию индивидуальных решений способом, подобным биологической эволюции. Одной из причин того, что генетические алгоритмы лучше подходят для решения сложных проблем реального мира, является их гибкость. Генетические алгоритмы могут сочетаться с классическими методами оптимизации, позволяя полученному решению воспользоваться преимуществами этих методов, преодолевая некоторые из их недостатков. Генетические алгоритмы лучше подходят, чем их традиционные аналоги для решения крупномасштабных задач планирования за счет распараллеливания вычислений.

Другим подходом к планированию горных работ является использование экспертных систем [82], которые могут помочь в процессе принятия решений, и сделать их более надежными и эффективными. Была представлена экспертная система, которая помогает в планировании затрат на производственные процессы открытых горных работ. Предложенная экспертная система использует интеллектуальную базу данных и получает точные значения плановых показателей в соответствии с логическими предопределенными правилами посредством соответствующих сценариев производства с

учетом геологических условий. Внедрение системы обеспечивает эффективный процесс принятия решений, предлагает решения в непредвиденных сценариях производства и минимизирует затраты за счет уменьшения неопределенности, связанной с простоями.

Исследователи описывают и достаточно локальные задачи, решение которых становится частью процесса оценки запасов, проектирования и планирования горных работ. Так в работе [83] приводится алгоритм оконтуривания на блочной модели различных классов руд с ограничениями, обусловленными минимальной шириной выемочного блока для условий ведения открытых горных работ. Задача классификации типов руд имеет на входе в качестве основных параметров модель, состоящую из регулярной двумерной сетки блоков, где каждый блок содержит переменные, которые соответствуют доходу для каждой из возможных классификаций. Например, модель может иметь три переменные для каждого блока, указывающие доход, если блок идет на обогатительную фабрику, на выщелачивание или в отвал. Эти значения изменяются от блока к блоку и являются как положительными, так и отрицательными. Значение дохода основано на множестве разных факторов, некоторые из которых являются локальными, например, содержание золота и другие, которые являются глобальными, например цена на золото. Другим параметром является размер минимальной выемочной единицы, он задается как совокупность блоков, отрабатываемых одновременно, например - область размером 3×3 блока. Для решения задачи классификации использован метод ветвей и границ. Применение алгоритма позволяет минимизировать потери и разубоживание руды, а также обеспечивает проведение исследований чувствительности распределения сортов при изменении экономических условий.

Было уделено внимание применению беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для таких задач, как определение грансостава горных пород (ГП) после взрыва и в процессе отработки [84]. Определению объемов отвалов, сверке фактического и планового положения горных работ была посвящена работа [85], авторы которой отмечают, что современные алгоритмы аэрофотограмметрии в сочетании с БПЛА значительно удешевляют процесс маркшейдерской съемки при ее более высокой точности и скорости получения реалистичной геометрии объектов горных работ. Помимо расчетных задач, с помощью БПЛА можно получать видео и фотоматериалы, документирующие технологическую обстановку в карьере.

Технологии сканирования проникают и на подземные горные работы, например, использования мобильного лазерного сканера установленного на автомобиле для сбора данных о форме подземных горных выработок, которые будут использоваться для проектирования и установки вентиляционных каналов и вентиляционных барьеров [86].

Сканирование выработки позволило быстро разработать новую вентиляционную инфраструктуру, необходимую для обеспечения работы нового транспортного оборудования.

Технологии виртуальной реальности исследуются в лаборатории планирования горных работ в Университете Чили [87], там разрабатывается облачная программная платформа для интеграции приложений для планирования горных работ с использованием интеллектуальной системы баз данных, предназначенная для управления входной и выходной информацией, используемой в процессе планирования и для облегчения поиска оптимальных параметров технологических процессов. Облачная программная платформа включает в себя веб-интерфейс, с помощью которого визуализируются разнородные типы данных, например такие, как цена на сырье или время цикла транспортировки, используемые для различных версий плана добычи руды.

Оптимизация календарного планирования открытых горных работ всегда являлась важной проблемой для поиска новых и совершенствования известных алгоритмов. Так в [88] приводится методика, основанная на гибридном подходе, который учитывает информацию о времени разработки каждого вложенного контура карьера. Алгоритм основан на процедуре решения задачи LP релаксации. В отличие от традиционного метода, использующего параметризацию цены на металл, предложенный метод позволяет контролировать тоннаж руды и вскрыши для каждого положения карьера. Основным преимуществом предлагаемого метода является включение временного измерения в процедуру выбора этапа с помощью приближенного вычисления времени разработки различных участков карьера и создание альтернативных вариантов конечных границ карьера, которые выделяют наиболее ценные сектора с точки зрения дисконтированной стоимости извлечения ПИ. Другим преимуществом этой методики является то, что она дает четко определенные критерии выбора этапов разработки карьера из набора вложенных контуров.

В работе [89] приводится сравнение двух методов стратегического планирования открытой разработки – *LGNP (Lerchs-Grossman Nested Pits)* и *DBS (Direct Block Scheduling)*. Оба метода оптимизируют план горных работ, получая в результате, как ряд предельных положений карьеров, связанных с ценовыми факторами, так и набор ежегодных положений карьеров, задаваемых ограничениями по производительности рудника и перерабатывающих мощностей, так и геометрическими характеристиками борта карьера, например, минимальной шириной рабочей площадки. Входные данные для обоих методов одинаковы, а именно - угол наклона борта карьера и вычисленные значения ценности блоков. То, что сильно отличает эти два метода – это подход к

выделению стадий отработки. DBS основано на планировании ежегодных объемов добычи, т. е. отнесение блоков к отработке в определенный период времени, является оптимальным по сравнению с их отработкой в другой период. Этапы, выделяемые LGNP, оптимальны исключительно с точки зрения получения максимального чистого дисконтированного дохода (ЧДД), а производительность и геометрические ограничения, кроме угла наклона борта не учитываются.

В качестве примера было исследовано месторождение сульфидных руд (Cu-Au-Mo), в результате были получены следующие выводы:

- Максимальные значения извлекаемой ценности почти не отличаются, DBS дает немного более высокий ЧДД.
- Планы горных работ также были схожими, но решение на основе DBS привело к большей производительности по вскрыше на ранних этапах разработки, что позволило быстрее перейти к переработке руды и обеспечить более стабильный поток руды.
- Решение DBS обеспечивает лучшую исходную информацию для окончательной прорисовки положения карьера, так как включает ограничение на минимальную ширину рабочей площадки.

В работе [90] представлено применение стохастического метода, который одновременно оптимизирует решения для добычи и усреднения качества руд, рудных складов и переработки для нескольких рудников, обеспечивающих сырьем несколько обогатительных фабрик. Геологическая неопределенность и изменчивость руд учитываются с помощью использования нескольких геостатистических моделей рудных тел. Показано, что одновременная стохастическая оптимизация с помощью этого подхода уменьшает колебания качества потока руды при увеличении ЧДД. Задача комбинаторной оптимизации решается метаэвристическим алгоритмом, основанным на имитации отжига с адаптивным поиском окрестности.

Конструирование борта карьера с вписанными дорогами - это сложный этап планирования открытых горных работ, который занимает много времени и сильно зависит от опыта проектировщика, как отмечают авторы исследования [87-89]. Они предлагают оптимизировать решение этой задачи, используя модель целочисленного линейного программирования, которая создает модифицированное положение борта карьера с заданными параметрами внутрикарьерных дорог и геотехническими ограничениями. За основу берется положение карьера, полученное с помощью алгоритмов определения границ карьеров. Целью оптимизации является минимизация влияния конструкции дороги на экономическую ценность, форму и тоннаж оптимального борта карьера.

В работе [91] отмечается, что традиционная методика планирования горных работ не учитывает внутреннюю неопределенность и изменчивость системы горного предприятия, обусловленную сложным образом взаимоувязанных технологических процессов и недоизученности геологической обстановки. Таким образом, когда применяются планы, ориентированные на ЧДД, часто происходят значительные эксплуатационные отклонения в отношении производительности, выделения кондиционных руд и последовательности их отработки. Авторы описывают программный инструмент для планирования горных работ, который использует информацию о базовых показателях производственного плана для имитации последовательности отработки отдельных выемочных единиц, в которых отработка руд и пустых пород осуществляются в зависимости от набора приоритетов, основанных на распознавании образов, заданных на основе правил рационального ведения горных работ (логика машинного обучения). Таким образом, для заданной производительности, конкретных горно-геологических условий и качества ПИ рассчитывается план производства, согласованный с последовательностью ведения горных работ.

1.2 Геоинформационный подход в ГГИС

Как было отмечено ранее, история применения вычислительной техники в горном деле насчитывает более 50-ти лет. За это время разработано множество подходов, методов, алгоритмов для решения задач проектирования и планирования горных работ.

Условно их можно разделить на две большие группы:

1. Задачи, направленные на решение «элементарных» задач, связанных с геометрическими вычислениями и компьютерной графикой.
2. Задачи, связанные с поиском наиболее адекватного модельного представления геологической среды и с поиском оптимальных решений при проектировании и планировании горных работ.

Как правило, алгоритмы, реализующие эти задачи, тесно связаны, поскольку задачи второй группы оперируют с данными, обрабатываемыми и генерируемыми первой, и зачастую включают их, как составные части сложных автоматизированных инструментов.

Решение задач первой группы стало необходимым сразу, как только была осознана возможность применения компьютеров для обработки графической информации в 50-х годах прошлого века [92, 93]. А в начале 60-х, с появлением предшественников современных САПР [94, 95] методы компьютерной графики получили дальнейшее развитие.

Развитие средств САПР общего назначения (машиностроение, авиа-, авто-, судоприборостроения и др.) привело к развитию математических основ графического построения кривых и поверхностей, методов интерполяции, аппроксимации, сглаживания, методов конечных элементов и конечных разностей [96, 97], теоретических основ САПР, их программных и технических средств, систем управления данными и управления информационными потоками [98], нашедшими широкое применение при разработке ГГИС. В публикациях 80-90-х годов достаточно широко представлены вопросы анализа технологий проектирования, структуры, функционала и общих принципов построения САПР, их технического, математического, программного, информационного обеспечения. Уделялось серьезное внимание проблемам создания САПР с единых методологических позиций, основам общесистемной проработки всего комплекса системотехнических вопросов с использованием методов аналитического и имитационного моделирования [99-108].

В связи с технологическим отставанием средств графического ввода-вывода, советскими учеными больше внимания уделялось математическому и алгоритмическому обеспечению САПР, этому способствовала присущая тому времени изолированность отечественных разработчиков, сложность научного обмена с западными коллегами. Постепенно эти особенности развития были преодолены, появились развитые технические средства (мощные персональные компьютеры, широкоформатные плоттеры и сканеры), ПО и литературные источники, представляющие и описывающие основные концепции графического программирования, систем автоматизированной разработки чертежей, систем геометрического моделирования, интеграции САПР, автоматизированного производства и автоматизированной разработки в жизненном цикле продукта [109, 110]. Особый интерес для развития ГГИС представляли работы, связанные с интеграцией САПР и технологической подготовки производства [111], поскольку горные интегрированные пакеты, а затем и ГГИС изначально задумывались не только как средство для проектирования горных работ, но и как набор инструментов для планирования и управления ими.

В это же время развивалось и представление о роли геоинформационного моделирования в горном деле [54]. В середине 80-х годов XX века в публикациях профессора В.С. Хохрякова появляются первые упоминания геоинформатики в контексте горной науки [112, 113, 114]. Исследования по геоинформатике применительно к горному делу велись в основном в Свердловском горном институте, ИГД г. Новосибирска, Политехническом институте г.Алма-Ата, НИИКМА, ГоИ КФ РАН и др. [29, 30, 112, 115, 116, 117, 118, 119] и привели к формированию основных представлений о роли

пространственно привязанной информации в математическом моделировании объектов горного производства. А в начале 90-х годов основные положения горной геоинформатики были проработаны в ряде исследовательских работ и нашли свое применение в автоматизированных технологиях планирования и проектирования горных работ [120]. В структуре наук о Земле была показана связь геоинформатики с геоэкологией, геофизикой, геологией и горными науками, и то, что геоинформатика является для них, в определенной степени, базовой наукой.

Уже тогда появилось понимание того, что одной из основных особенностей горной геоинформатики является ландшафтно-преобразующая составляющая горного производства. Порождаемые в результате освоения недр горные выработки, формирующиеся насыпи отвалов и хвостохранилищ придают динамичность собственно координатной основе пространственных данных (связанную с развивающимся во времени процессом добычи ПИ), в отличие от большинства других приложений геоинформатики, исследующих изменчивость лишь пространственно обусловленных атрибутивных данных различных типов на, как правило, неизменном ландшафте. Другой особенностью горной геоинформатики является то, что основным объектом исследований является трехмерное (3D) пространство, расположенное под поверхностью Земли, поэтому необходимы особые методы моделирования сложных комплексов природных геологических и техногенных объектов горного производства, расположенных не только на дневной поверхности, но по большей части глубоко в недрах.

Появились теоретические труды, сформулировавшие проблемы и задачи геоинформатики как области знаний, находящейся на стыке наук о Земле и информационных технологий, изучающей законы и методы регистрации, хранения, передачи, обработки и интерпретации многоуровневой и многопараметровой геоинформации [121, 122]. Характерной особенностью этих трудов была их практическая направленность геолого-геофизического характера. Так цель геоинформатики была сформулирована как «...создание компьютерных технологий геологоразведочной деятельности по изучению строения и эволюции Земли, прогнозу и поискам МПИ, разработке ПИ, охране окружающей среды».

Теория геоинформационных технологий и их применение для задач управления, производства освещена в книге профессора Цветкова В.Я. [123]. Им было рассмотрено несколько основных типов функционального назначения ГИС:

- система управления разнообразными пространственными объектами;
- геосистема, включающая технологии сбора картографической информации, автоматизированные системы картографирования, автоматизированные фо-

тограмметрические системы, земельные информационные системы, автоматизированные кадастровые системы и т. д.;

- система, объединяющая в себе, как БД обычной информации, так и графические БД;
- система моделирования, использующая в максимальном объеме методы и процессы математического моделирования, разработанные и применяемые в рамках других автоматизированных систем;
- система получения проектных решений, использующая методы автоматизированного проектирования в САПР и решающая специфические задачи, связанные с географической привязкой объектов моделирования;
- система представления информации, являющаяся развитием автоматизированных систем документационного обеспечения и предназначенная для получения картографической информации;
- интегрированная система, объединяющая в единый комплекс многообразный набор методов и технологий на базе единой географической информации;
- прикладная система, широко применяющаяся в навигации, военном деле, топографии, географии, геологии, экономике, экологии, демографии и т. д.

Было отмечено, что в основе организации пространственной информации в ГИС лежит послойный принцип, где тематические слои представляются не только в векторной, но и в растровой форме. Этот подход в той или иной форме реализован практически во всех современных ГГИС. Описание алгоритмов искусственного интеллекта, нейронных сетей, систем принятия решений в ГИС приведено в [124], где также показаны особенности применения ГИС в таких отраслях, как геология, кадастровый учёт, лесное хозяйство, экология, муниципальное управление, а также приведен анализ рынка геоинформатики в России.

Теоретические и практические аспекты горной геоинформатики получили развитие в трудах Шека В.М. [125, 126] в виде разработки методов и алгоритмов объектно-ориентированного моделирования в распределенных АСУ производственными горнопромышленными системами на стадиях разведки, подготовки и отработки МПИ. Задача прогнозирования и обеспечения устойчивости подземных горных выработок на основе обоснования и разработки резонансно-акустического метода оценки плотностного разреза пород кровли решалась в исследовании Пустовойтовой Н.А. [127] с реализацией системы информационного обеспечения акустических исследований строения и плотностного разреза массива ГП. Вопросы планирования и прогнозирования перспектив развития минерально-сырьевого комплекса исследовались в работах по

геомоделированию производства и потребления минеральных ресурсов на базе нечеткой логики [128]; моделированию процессов производства и потребления минеральных ресурсов с использованием ГИС-технологий [129]; реализации методики и технологии создания информационно-аналитических систем мониторинга недропользования [130]. Актуальность решения экологических проблем и научно обоснованного управления процессами самовосстановления горнопромышленных территорий с разработкой специализированной ГИС, основанной на банке пространственно-координированных данных применительно к районам Крайнего севера России показана в [131]. Разработана компьютерная расчетно-аналитическая модель прогнозирования времени выхода на максимальное содержание органического вещества при формировании биогеобарьера для сохранения складированных отходов рудообогащения [132]. Геофизические аспекты геоинформационных технологий рассматривались с помощью геоинформационного моделирования пространственно-временных геофизических процессов с полигармонической структурой [133], и как пример развитой реализации методики и компьютерной технологии физико-геологического моделирования строения земной коры можно привести ГИС ИНТЕГРО-ГЕОФИЗИКА [134]. Подходы к концептуальному моделированию объектов горных технологий, использованию информационных технологий при решении задач проектирования глубоких карьеров и планирования горных работ, информационной поддержки освоения и эксплуатации МПИ реализованы в алгоритмах и программных средствах ГГИС [135, 136, 137].

Происходило развитие алгоритмов и методов моделирования, характерных для ГГИС и их компонентов, особенно стремительное развитие получили подходы, связанные с геологическим моделированием и планированием горных работ. С некоторой долей определённости можно сказать, что для первых основой стали труды Матерона и его последователей [4, 138, 139], а алгоритм оптимизации границ карьера Лерчса-Гроссмана [11] явился движущей силой для многих разработок в области стратегического планирования горных работ.

История развития и становления геостатистики на протяжении уже примерно 40 лет отражена во многих источниках, например [140]. На нынешнем этапе развития ГГИС нет никаких сомнений в том, что применение геостатистических методов для оценки запасов ПИ оправдано, наработаны методики их использования в различных геологических условиях, подробно описаны достоинства области применения, недостатки метода и проблемы его использования [141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148]. Методы геостатистики используются для решения задач, как геологического направления, так и в более широком понимании - как способ исследования пространственного распределения

технологических, геофизических, экологических и пр. признаков. Так Капутин Ю.Е. с помощью геостатистики и условного моделирования изучал возможность моделирования характеристик руды по регулярной сетке для имитации формирования рудопотоков, поступающих из карьера или шахты на обогатительную фабрику. Исследовалась оценка влияния размеров оборудования и последовательности извлечения запасов на изменчивость качества руды, поставляемой на переработку. [149, 150, 151, 152]. Демонстрация использования множества методов детерминированной и стохастической геостатистики в нефтяной индустрии приведена Оливье Дюбрюлом в [153, 154], особенно в части обработки геофизических сейсмических данных. Применение геостатистики для определения перспектив эксплуатации месторождения теплоэнергетических вод показано в работе [155], где была построена карта распределения температуры исследуемого пласта, показана возможность прогнозирования температуры и дебит, проведена оценка потенциальной мощности геотермальной станции. Геостатистические подходы используются и в таких неожиданных исследованиях, как, например, моделирование распределения параметров пылевых частиц при движении карьерных самосвалов по дорогам с различными типами покрытия [156].

Как было упомянуто, алгоритмы оптимизации границ карьеров, предложенные Лерчсом и Гроссманом, стали источником вдохновения для многих авторов, занимающихся разработкой программных средств для определения конечных границ карьеров и планирования ОГР [157-160]. На русском языке одно из первых описаний этих алгоритмов было опубликовано в 1981 г. в работе [161]. В диссертации С.Д. Коробова детально [162] рассмотрены существующие на то время алгоритмы оптимизации границ карьеров, основанные на теории графов и динамического программирования, методах плавающего конуса. Им самим предложено несколько алгоритмов и практическая реализация определения границ карьеров в плоской и 3D постановке, метод распределенных оценок для определения конечных контуров карьера, метод параметрического анализа контуров карьера, методика определения оптимального развития горных работ для выбора последовательности отработки запасов на основе параметрического анализа. Предложенные им методы и алгоритмы актуальны до сих пор, несмотря на то, что многие годы его достижения, как выдающегося алгоритмиста и теоретика моделирования открытой разработки недр, были недооценены. Предложенные Лерчсом и Гроссманом алгоритмы легли в основу ряда коммерческих программных продуктов (ПП), получили дальнейшее развитие в направлении учета факторов времени, многокомпонентности добываемых руд, баланса в отработке групп месторождений и т.д. [163]. Многие ГГИС имеют в своем составе модули для оптимизации границ карьеров или

программные интерфейсы для обмена данными со сторонними оптимизаторами [164, 165]. Интерес к алгоритмам оптимизации границ карьеров продолжается с момента их появления и до сих пор. Описываются особенности их реализации, появляются новые методические подходы [166, 167, 168, 169, 170], опыт применения в различных экономических и горно-геологических условиях [163, 171, 172, 173, 174, 175]. Такое внимание к алгоритмам определения границ открытой разработки объясняется их важностью и востребованностью в практике проектирования.

Развитие информационных технологий в горном деле тесно связано с развитием вычислительной техники и ПО. За это время сменилось нескольких поколений вычислительных машин, начиная с громоздких ЭВМ коллективного доступа 60-х, до персональных компьютеров в середине 80-х, и планшетных устройств в наши дни. Появились сравнительно недорогие средства печати широкоформатных документов – геологических карт, планов горных работ, разрезов и пр. Оцифровка старых бумажных материалов окончательно ушла от применения дигитайзеров и стала достаточно тривиальной задачей с появлением технологий сканирования и обработки растровых файлов. Технологический прогресс предоставил новые источники данных, такие как лазерное сканирование и космическое дистанционное зондирование поверхности Земли, которые становятся все более значимыми для актуализации моделей выработанного пространства открытых и подземных горных работ.

Развитие СУБД привело к тому что, постепенно все ГГИС, наряду с использованием бинарных и текстовых файлов, стали приобретать средства для хранения информации с помощью реляционных СУБД признанных отраслевых стандартов – фирм ORACLE, MICROSOFT, IBM, SYBASE, EMBARCADERO. Также стали использоваться СУБД, основанные на принципах открытой разработки – MySQL, Firebird, PostgreSQL и др.

Способы представления графической информации прошли эволюционный путь от использования псевдографических символов на экранах текстовых дисплеев и принтеров, до вполне реалистичной трёхмерной графики, обрабатывающей миллионы графических примитивов в секунду и визуализирующей в 3D пространстве с применением технологий OpenGL и DirectX объекты с заданным освещением, тенями и текстурами. Появились библиотеки, реализующие широкий набор математических, статистических, графических алгоритмов, параллельные вычисления, на основе которых стала возможной более качественная разработка прикладного ПО ГГИС, например: CGAL, OpenCV, OpenCL, WebGL, PhysX, CUDA, MAGMA и множество других.

1.3 Современное состояние информационных технологий в горном деле

Разработка МПИ, в современном представлении, стала немыслимой без широкого использования информационных технологий инженерного обеспечения всех этапов их освоения и эксплуатации: геологическая разведка месторождения, проектирование, добыча ПИ и рекультивация, закрытие предприятия. Развитие компьютерных методов решения задач горной технологии связано не только с необходимостью повышения производительности труда инженерно-технических специалистов, но также с тем, что без использования информационных технологий невозможно добиться ни максимально полного извлечения ПИ из недр, ни необходимого уровня автоматизации технологических процессов.

Среди отраслей народного хозяйства горнодобывающая промышленность имеет ряд особенностей, связанных, прежде всего, с необычностью объекта производства. В отличие от машиностроения, где обработка сырья и получение готовой продукции ведется в стационарных условиях, исходные материалы и получаемые из него продукты имеют фиксированные свойства, а обрабатывающие механизмы и станки имеют, как правило, большие размеры, чем изготавливаемые детали, в горном деле приходится иметь дело с природными объектами, свойства которых характеризуются большим разнообразием, а инструменты и оборудование значительно меньшими размерами, чем объект их приложения. И, если, например, суть машиностроения состоит в том, чтобы производить готовые изделия, состоящие из множества работающих совместно деталей, то в горном деле из массива пустых пород необходимо извлечь только то, что представляет экономический интерес.

Эти и многие другие особенности горного производства накладывают свою специфику на применяемые в горной промышленности компьютерные технологии, составляющие отдельные части ГГИС. Воспользуемся устоявшимися определениями разновидностей автоматизированных технологий *CAD/CAM/CAE* [110] и рассмотрим, какие виды программных продуктов соответствуют им в горном деле и какие задачи они решают. Представим их последовательно в виде таблицы 1.1

Таблица № 1.1 – Автоматизированные технологии *CAD/CAM/CAE* в горном деле

Автоматизированная технология	Инженерные задачи горной технологии	Специализированное ПО	ГГИС
CAD Автоматизированное проектирование.	Обработка первичной графической – геодезической, маркшейдерской и геологоразведочной документации. Моделирование скважинного и иного опробования. Проектирование выработок открытых и подземных горных работ. Проектирование насыпных	AutoCAD Arcinfo Blastmaker Digimine Mapinfo CAMARA Photomod	CAE Mining (Datamine) Carlson Mining Интегра Geovia

Создание геометрических моделей. Генерация чертежей.	сооружений. Проектирование буровзрывных работ. Построение разрезов, планов, профилей и иных графических документов в стандартах горной графики.		Geomix K-Mine Micromine Mineframe Minescape Minesight Techbase Vulcan
CAM Автоматизированная подготовка производства	Планирование горных работ от перспективного до краткосрочного.	Mine2-4D NPVSheduler Runge (XPACK, XACT)	
	Автоматизированное управление технологическими процессами (диспетчеризация).	Modular Mining Союзтехноком Vist Карьер Wenco	
CAE Автоматизированный инженерный анализ	Геологическое моделирование - определение закономерностей распределения значимых компонентов в недрах. Гидрогеологическое моделирование. Геомеханическое моделирование. Оптимизация границ карьеров. Горно-геометрический анализ карьерных полей. Определение параметров системы разработки. Моделирование систем вентиляции подземных рудников и расчеты безопасного состояния атмосферы карьеров. Моделирование процессов взрывного разрушения горных пород. Моделирование выпуска руды. Имитационное моделирование технологических процессов и их совокупностей.	ANSYS EcoSSe 3D Galena Genesis GST Leapfrog Modflow Move PLAXIS Rockware RockWorks Runge (Talpack, Haulsim, Dragsim) Sigma-GT Surfer SVOOffice	

Как видно из представленной таблицы, имеется несколько разновидностей программного обеспечения (ПО), которые можно отнести к САПР горных работ. В первую очередь, необходимо отметить наличие многофункционального ПО, специально разработанного для решения задач всего комплекса *CAD/CAM/CAE* горных работ. Ранее такое ПО называли интегрированными горными пакетами или системами, а сейчас все больше используется словосочетание горно-геологические информационные системы. И, хотя даже самые развитые ГГИС не решают всего набора *CAD/CAM/CAE*-задач, отличает их, прежде всего, интеграционная составляющая, которая позволяет различным частям ПО работать в едином информационном пространстве на основе унифицированного подхода к хранению и обработке данных. ГГИС являются основой для создания инженерных информационных систем горных предприятий и зачастую реализуют процедуру обмена данными между геологоразведочными, исследовательскими, проектными организациям и горными предприятиями. Можно выделить несколько компаний, разрабатывающих приложения не только для горной промышленности, но и других отраслей и имеющие широкий спектр программных продуктов САПР, в котором

горные приложения являются частью линейки предлагаемого ПО – *Dassault System, CAE, Mincom*.

В основе современных методов реализации ГГИС лежит использование 3D цифровых моделей, как носителей информации о размерах, пространственном положении, физико-механических, технологических и технико-экономических свойствах объектов горной технологии. Структура и состав цифровых моделей и БД, программные средства создания и управление ими, методы решения прикладных задач, способы визуализации моделей и подготовки на их основе технологической документации формируют компьютерную технологию работы с пространственной геотехнологической информацией. Некоторые системы имеют в своем составе модули, реализующие диспетчеризацию горнотранспортного оборудования (ГТО) и оперативного управления процессом добычи ПИ.

Кроме того, имеется множество программ, которые решают узкоспециализированные задачи, например: автоматизация проектирования массовых взрывов, решения маркшейдерских и геодезических задач, расчёт напряженно-деформированного состояния (НДС) массива ГП и т.д.

Специализированное ПО решает задачи определенной CAD/CAM/CAE- технологии и, как правило, используется в комплексе с ГГИС или другим вспомогательным ПО. Интеграция осуществляется за счет использования распространенных обменных форматов файлов (dxf, txt, csv, las, dat и пр.), наличием средств импорта/экспорта в форматы CAD, ГИС, ГГИС и доступа к информации, хранимой с помощью систем управления базами данных. Приведенные в таблице 1.1 названия ПО не составляют исчерпывающий список, можно найти гораздо больше программ различной направленности, функционала и проработанности - от проектов с открытым исходным кодом до коммерческих программ, например [176, 177].

Современное состояние развития горного дела и информационных систем поддержки горного производства характеризуется, прежде всего, поиском прорывных решений. Бурное развитие компьютерной техники и информационных технологий последних 20-ти лет выдвигает на передний край разработки, направленные на максимизацию прибыльности разработки месторождений ПИ. Все большее применение в технической сфере получают: облачные технологии вычислений, хранения и интеллектуальной обработки данных; методы работы с большими данными (*big data*), позволяющие анализировать потоки данных, генерируемые техническими средствами и производствами, определять корреляционные зависимости между процессами; технологии искусственного интеллекта (нейронные сети) для повышения эффективности

использования оборудования и минимизации влияния неопределенности исходных данных, связанных, в основном, с недостаточным знанием природных условий (геологических, климатических, экологических) разработки ПИ.

Компании, разрабатывающие программное обеспечение, берут на вооружение такие технологии, как виртуальная и дополненная реальности, для обеспечения наглядной визуализации проектных решений и скрытых деталей геологической среды. Эти решения помогают в обучении горного персонала и повышении безопасности труда, так как позволяют наглядно представлять и буквально вводить горнорабочих и операторов горного оборудования в реальную горнотехническую обстановку рабочих участков не выходя из учебных классов.

Роботизация и телеуправление горным оборудованием все шире применяется на открытых и подземных рудниках. В России разработкой таких технологий занимается компания «Вист групп» в сотрудничестве с ОАО БЕЛАЗ. Некоторые производители легковых автомобилей заявляют о достижении третьего уровня автономности в 2018 г. (при максимальном – пятом), это позволит двигаться со скоростью до 60 км/ч без контроля со стороны водителя. Для карьерных самосвалов этого более чем достаточно для транспортировки породы между пунктами загрузки и выгрузки.

Цифровизация горной промышленности стала насущной необходимостью, пришло понимание того, что цифровые технологии стали приносить реальные преимущества. Появляется видение того, как цифровые технологии увеличивают ценность горного бизнеса за счет визуализации данных и знаний о ресурсах (минеральных, оборудования, трудовых), обновления данных в режиме реального времени, совершенствования проектных и плановых решений, анализа и автоматизации управленческих решений. Тем не менее цифровизация пока ещё не является приоритетом для большинства горных компаний не только в России, но и в мире. Так авторы отчета [178] об отставании цифровизации горной промышленности от других отраслей отмечают, что многие компании сталкиваются с серьезными проблемами в превращении своих долгосрочных перспектив в цифровую реальность. Наблюдается явный диссонанс между потенциалом компьютерных технологий и неудовлетворительным послужным списком успешных реализаций на горных предприятиях. Как пример положительного влияния внедрения цифровых технологий отмечается:

1. Оптимизация оперативного планирования и управления: появляется возможность объединения геологических данных с данными об эксплуатации и техническом обслуживании оборудования в условиях реального времени для создания оптимальных планов работы.

2. Повышение коэффициента готовности оборудования: переход на интеллектуальное прогнозирование сроков технического обслуживания и ремонта позволит снизить затраты на запчасти и рабочую силу, минимизировать простои. Внедрение автоматизированных производственных процессов и роботизация.

3. Повышение гибкости и чувствительности к изменениям рыночных факторов, таких как фрахтовые ставки и тенденции поведения потребителей, что оптимизирует планирование доставки руды для сокращения простоев транспорта.

Таким образом, внедрение цифровых технологий остается насущной задачей для повышения эффективности горного производства, повышения производительности труда, улучшения безопасности горных работ.

На сегодняшний день известно достаточно много развитых ГГИС, представленных как зарубежными системами, такими как CAE-MINING (DATAMINE), GEOVIA (SURPAC, GEMCOM и др.), MINESCAPE, MICROMINE, MINESIGHT, VULCAN и пр., так и российскими - MINEFRAME и GEOMIX, а также стран СНГ - K-MINE и CAMAPA. Кроме того, имеется множество программ, которые решают узкоспециализированные задачи, например: автоматизация проектирования массовых взрывов, решение маркшейдерских и геодезических задач, оптимизация параметров вентиляционных сетей, расчёт напряженно-деформированного состояния массива горных пород и т.д. В настоящее время ГГИС имеют похожую базовую функциональность:

- управление БД;
- интерактивная 3-мерная графика;
- 3D моделирование объектов горной технологии;
- средства автоматизации решения геологических, маркшейдерских и технологических задач;
- формирование горной графической и технологической документации.

Ниже приведён обзор ГГИС, получивших наибольшее распространение среди горных предприятий России.

1.3.1 Datamine

Одна из первых импортных систем, появившихся на российском рынке специализированных программных продуктов для горной индустрии. В 2010 году Datamine Group вошла в состав компании CAE со штаб квартирой в Канаде. Это слияние привело к созданию интегрированного решения, названного *CAE Mining*. Собственные разработки CAE в области имитационного моделирования и тренажерных систем были

скомбинированы с подходами Datamine в области геологического моделирования и планирования горных работ.

В 2015 году *Datamine* был приобретен *Constellation Software Inc (TSX: CSU)*, крупнейшей в Канаде компанией производителем программного обеспечения (ПО). Программное решение *Summit* на основе облачных вычислений использует мощности крупных центров обработки данных для параллельной обработки нескольких вариантов развития горных работ. Конечный пользователь не имеет локального ПО, а другие заинтересованные стороны могут входить в систему для просмотра результатов. Компании могут заранее подготовить планы для ряда потенциальных сценариев, основанных на комбинациях внешних и внутренних переменных, включая цены, затраты, геологическую неопределенность и параметры добычи. В фокусе разработчиков *Datamine* находятся следующие направления развития:

- Неявное (*implicit*) моделирование;
- Поддержка типов данных по угольным месторождениям и их обогатимости в геологической базе данных;
- Система стратиграфического моделирования;
- Развитие системы планирования *5D Planner*.

ПО *Datamine* состоит из модулей, реализующих функционал по управлению данными, обработке результатов геологической разведки, геологическому моделированию, проектированию и планированию горных работ, управлению горным производством.

Обработку данных геологоразведки обеспечивают несколько модулей, рассчитанных на работу как в однопользовательском режиме в полевых условиях, так и предназначенных для работы в информационной системе предприятия, среди них:

- *Fusion* – комплексное решение для хранения и управления данными геологической разведки, геологического опробования (ГО), картирования, геодезических и маркшейдерских съемок;
- *DHLogger* – часть системы ввода и обработки данных скважинного опробования, имеет встроенные средства обеспечения и контроля качества данных опробования (QAQC) для последующей оценки запасов;
- *Downhole Explorer* – графическое представление колонки скважины и построение геологических разрезов, модуль содержит функции генерации отчетов, таблиц, разрезов, планов, импорта топографических данных и может работать с различными источниками данных, такими как: текстовые файлы, электронные таблицы, SQL серверы;

- *MineMapper 3D* – создание карт с использованием текущего положения открытых или подземных горных работ, реализованные функции позволяют, по мере сбора данных, рассчитать технологические и геомеханические характеристики ГП, показатели качества, тоннажи и другие параметры, влияющие на ведение горных работ;

- *Sample Station* – сбор данных опробования, измерений состояния атмосферы, водных ресурсов, почв и других свойств окружающей среды в полевых условиях;

- *LIMS* (Laboratory information management system) – управление данными опробования в аналитических лабораториях, используются штрих-коды для установления связей между БД пользователя и лабораторным оборудованием с поддержкой системы контроля и управления качеством аналитических работ.

Для моделирования объектов геологической среды и планирования горных работ используется модуль *Studio*, обладающий следующими возможностями:

- Поддержка комплексных наборов данных, включая скважинное и бороздовое опробование;
- Геостатистические исследования, включающие: вариограмный анализ с интерактивным подбором теоретической модели, перекрестную проверку, 3D кригинг;
- Каркасное моделирование геологических тел и поверхностей (рисунок 1.1);

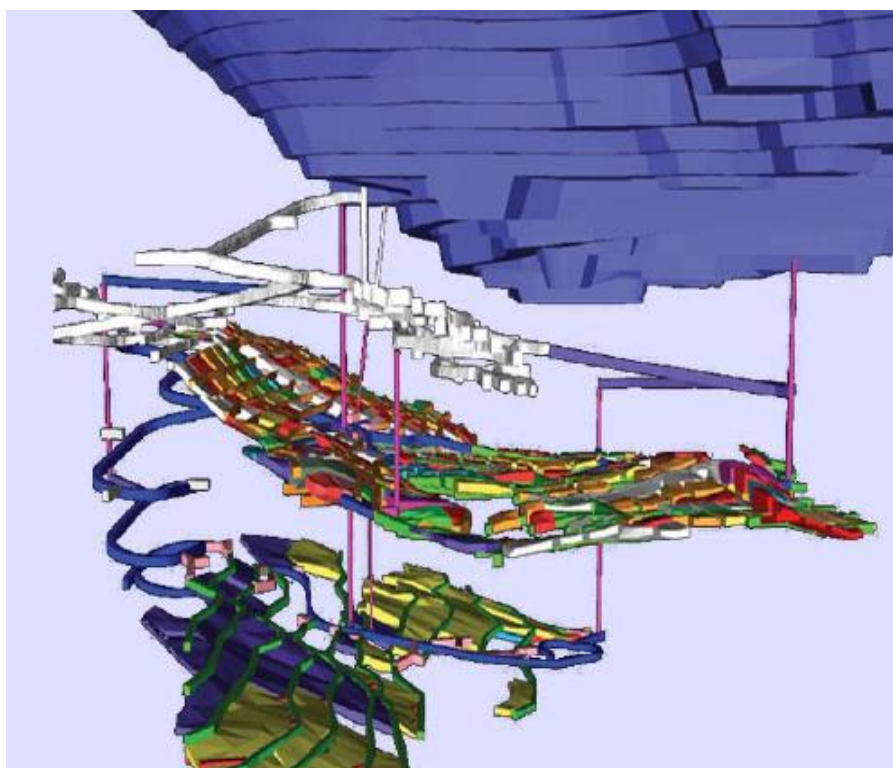


Рисунок 1.1 – Каркасные модели карьера, рудных тел и подземных горных выработок

- Блочное моделирование с субблокированием;

- Многопараметрическое моделирование показателей горной технологии и обогащения;
- Формирование выемочных единиц (ВЕ) с переходом от геологических запасов к эксплуатационным.

Инструменты планирования горных работ покрывают все стадии – от стратегического до оперативного. Для ОГР используется инструмент чистый приведенный доход (*NPV Scheduler*), с помощью которого на основе алгоритма Лерчса-Гроссмана определяются границы карьеров, выделяются этапы разработки, создаются промежуточные положения карьера. *Multimine Scheduler* – инструмент оптимизации планов горных работ сразу для нескольких рудников.

Инструмент *Mineable Reserves Optimiser* используется для оптимизации доли запасов ПИ, добываемых открытым и подземным способами. Работа инструмента основана на оптимизационном алгоритме плавающего забоя. В качестве критерия оптимизации может выступать максимизация содержания полезных компонентов или стоимость блока.

RMScheduler – решение для календарного планирования при разработке месторождений строительных материалов. Возможности этого инструмента позволяют определить границы ОГР, найти оптимальную последовательность отработки запасов с заданными параметрами усреднения потоков минерального сырья или с максимизацией чистого дисконтированного дохода.

Mine 2-4D – набор инструментов для детального планирования подземных горных работ. Система полностью интегрирует перспективные и текущие планы. Имеется возможность просмотра вариантов развития горных работ с оценкой горно-геологических условий и определением стоимостных показателей разработки.

Ventsim Visual – пакет программ для моделирования воздушных потоков и определения их параметров (давления и температуры) для подземных горных работ.

Кроме перечисленного выше, *Datamine* предлагает набор решений для управления горным производством.

OreController – гибкая модульная система для контроля качества добываемого ПИ, включающая в себя: планирование опробования, бурения скважин и проходки разведочных траншей, проведение химических анализов, картирование; интерпретацию результатов опробования и картирования, построение 3D моделей залежей ПИ; оценку блоков руд и пустых пород в 3D модели; управление процессами добычи ПИ.

Raw Materials Manager – система для мониторинга и управления горными работами на известняковых карьерах, поставляющих сырьё для цементных заводов.

Ring Designer – приложения для интерактивного проектирования скважинной отбойки применительно к подземным горным работам.

Sirovision – система дистанционной оценки геологических особенностей и технологических характеристик уступов и бортов карьеров на основе стереосъемки участка их поверхности.

MineTrust – система управления данными и создания общего информационного пространства горного предприятия.

1.3.2 Geovia

Компания Gemcom Software International Inc. была известна как разработчик ПО *GEMS*, которое включает в себя функции ввода первичных данных, каркасного и блочного моделирования месторождений, проектирования и планирования открытых и подземных горных работ. После покупки в 2006 году компании Surpac Minex Group Pty Ltd, которая является разработчиком ПО *Surpac* и *MINEX*, Gemcom Software International Inc стала владельцем конкурирующих и дополняющих друг друга ПП. Компанией Gemcom также была приобретена компания Whittle Pty, известная своими ПП в области проектирования и планирования горных работ. В свою очередь, Gemcom была поглощена корпорацией Dassault Systemes, которая под брендом Geovia выпускает несколько ПП. В рамках этого приобретения в ПО *Geovia* в 2013 году была интегрирована технология от других промышленных подразделений *Dassault Systemes*.

ПО *Surpac* предназначен для информационного обеспечения геологов, маркшейдеров и горных инженеров при освоении различных типов залежей различными способами ведения горных работ. Его инструменты включают: управление данными геологоразведочного бурения, геологическое моделирование, блочное моделирование, геостатистику, проектирование и планирование горных работ, оценку запасов и многое другое. Все задачи могут быть автоматизированы и настроены под особенности горнодобывающей компании и потоки данных. ПО является модульным и настраиваемым. Имеются средства для работы с реляционными БД и интерфейсы для использования файлов распространённых ГИС, САПР и других систем. Реализована интеграция с инструментами планирования горных работ *Geovia MineSched*.

Решение геологических задач построено на использовании 3D графики и геостатистики. Инструменты вариограммного анализа позволяют осуществлять подбор лучшей теоретической вариограммы. Инструменты оценки содержаний имеют интерфейс к библиотеке GSLIB для реализации процедуры кригинга.

ПО содержит набор инструментов для проектирования и планирования открытых и подземных горных работ. При планировании могут быть использованы данные из различных источников. Различные типы данных визуализируются одновременно и могут быть напрямую использованы из других ПП посредством импорта. Это обеспечивает взаимодействие со всеми типами данных, необходимыми для проектирования и планирования горных работ: скважинное опробование, модели рудных тел и поверхностей, оболочки оптимизированных карьеров, блочные и сеточные модели, выработки, забои и пр.

Инструменты проектирования бортов карьеров и дорог используют данные маркшейдерской съемки для обеспечения точности, требуемой при ведении земляных работ. Интегрированные модели ресурсов, карьеров и данные маркшейдерской съемки используются при планировании горных работ и генерации отчетов по объемам и качеству ПИ.

ПО *GEMS* - решения для коллективной работы в геологии и горной промышленности, применяются для открытой и подземной разработки недр, в геологоразведке, моделировании, проектировании горных работ, календарном планировании и управлении производством.

Использование единой БД дает доступ к актуальной геологической и горной информации. Средства обеспечения безопасности данных отвечают требованиям отраслевых стандартов JORC, SAMREC и NI 43-101.

Инструменты геологического моделирования и оценки запасов позволяют управлять данными скважинного опробования (рисунок 1.2), создавать чертежи, карты, модели поверхностей и твердых тел, применять геостатистические методы для определения качественных показателей, визуализировать и анализировать залежи ПИ. Для оценки распределения качественных признаков в зависимости от типа месторождения могут быть использованы методы блочного или сеточного моделирования. Обеспечивается полный контроль интерполяционных процессов с учетом анизотропии свойств, нарушений, ураганных значений опробования.

Инструменты *Unwrinkle/Unfold* позволяют разглаживать и распрямлять сложные волнистые и нарушенные пласты, для чего исходные точки располагаются в трансформированном пространстве, а затем, после анализа и интерполяции данных, возвращаются в первоначальное состояние.

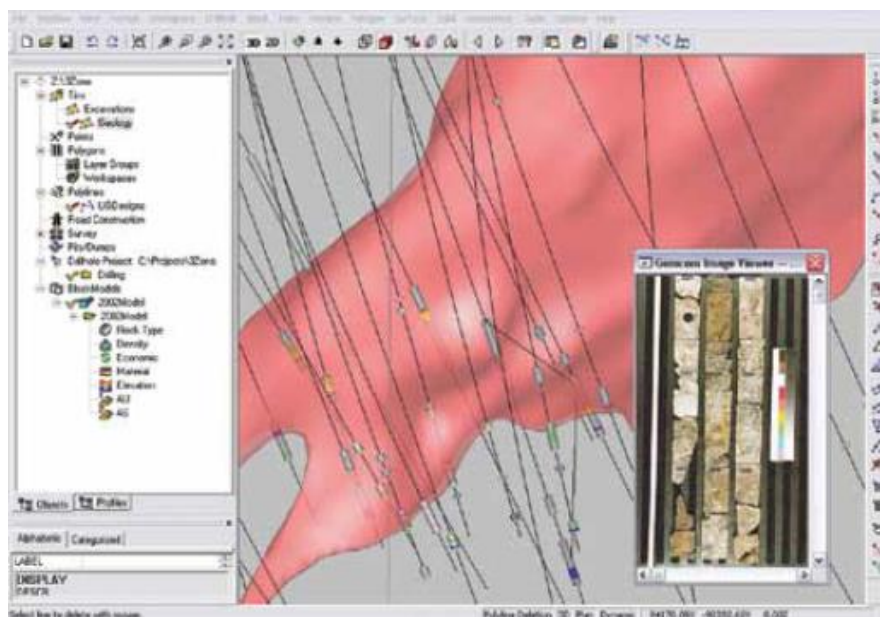


Рисунок 1.2 – Работа с данными скважинного опробования

ПП содержит инструменты планирования и проектирования открытых и подземных горных работ. Инструменты долгосрочного планирования позволяют рассматривать варианты развития для определения лучших решений горного плана для нескольких периодов разработки, осуществлять сверку плановых показателей производительности и текущих возможностей.

Оперативное управление построено на использовании актуализированных данных маркшейдерской съемки и качества добываемого ПИ. Для подтверждения реалистичности плана на основе имитационного моделирования работы парка ГТО используется *GEMS Go Simulator*.

Инструменты для ОГР включают:

- интерфейс к *Whittle*, используемый для оптимизации границ карьеров и определения этапов разработки;

- модуль проектирования БВР, формирующий сетку взрывных скважин.

Инструменты для подземных горных работ включают:

- автоматизированное построение моделей подземных выработок по осевой линии с нишами безопасности и пересечениями с другими выработками;

- проектирование очистных работ с определением объемов и разубоживания;

- проектирование вееров взрывных скважин.

ПО *Minex* - интегрированное ПО, разработанное для угольных и других пластовых месторождений, таких как хромиты, фосфориты, бокситы, железные руды, платиноиды. Охватывает все аспекты ведения горных работ – от разведки до рекультивации.

Моделирование построено на множестве доступных данных (геофизическая разведка, опробование, литология, обогатимость, данные о структуре месторождения). ПО содержит инструменты моделирования пластов (включая почву и кровлю) их разделений, слияний и выклиниваний; определения коэффициентов вскрыши и экономических показателей; генерации разрезов, планов, отчетов по таким атрибутам, как зольность, мощность, глубина залегания; подсчета запасов в соответствии с JORC, SAMREC и другими стандартами.

Minex Coal Washability - модуль расчета обогатимости угля производит моделирование кривой обогащения угля таким образом, что зольность, выход угля и другие аналитические данные обогащения могут быть полностью оценены для всего месторождения.

Модуль *Minex Pit Optimiser* использует алгоритм Лерчса-Гроссмана для генерации вложенных контуров карьера, которые показывают последовательность отработки месторождения в соответствии с изменяющимися экономическими параметрами.

Mine и *Ramp Design* - модули проектирования бортов и съездов, позволяют генерировать в ручном режиме или автоматически карьеры и отвалы. Уступы располагаются на определенных высотных отметках, по почве или кровле пласта, а также поверхности, обеспечивающей дренаж уступа. Углы откосов уступов, ширины берм и площадок задаются в соответствии с технологией ведения работ.

Volumes и *Reserves* – модули, обеспечивающие расчет объемов, качества и запасов на основе совмещения проекта разработки и геологической модели.

Краткосрочное планирование включают в себя инструментальные средства:

- моделирования поверхностей и точек съёмочного обоснования. Имеется интерфейс к GPS инструментам для загрузки съемок или для выноса точек в натуру;
- проектирования БВР на карьерах, имеются инструменты проецирования скважин на угольный пласт, создания первого ряда скважин, контурных рядов и предварительного щелеообразования;
- проектирования дорог с автоматическим построением проекций выемки и насыпи на топоповерхность и вписывание дорог в существующий рельеф;
- проектирования отвалов с переменными углами откосов, которые могут изменяться по мере отсыпки отвала от рабочих откосов до поставленных в конечное положение для рекультивации;
- решения задач по выполаживанию откосов для рекультивации отвалов, включая сглаживание рельефа отвала для формирования поверхности пригодной для рекультивации.

Модуль *PCBC* используется компаниями, применяющими систему разработки с самообрушением на подземных горных работах. Использование инструментов *PCBC* помогает в ходе работ по ТЭО, проектированию и управлению добычным процессом.

Система *Whittle* используется для оценки финансовой устойчивости и поиска оптимальной стратегии развития горных работ. Решение строится на использовании следующих модулей:

Foundation module – ядро системы, обеспечивающее инструменты импорта данных, обработки БМ, моделирования откосов бортов карьера и их оптимизацию, анализ результатов. Углы откосов бортов карьера могут быть заданы как посредством простых прямоугольных регионов, так и с помощью регионов более сложной формы. Можно определить до пятидесяти профилей, каждый из которых может содержать до восьми пар простираний и углов наклона. Оптимизация производится с помощью алгоритма Лерчса-Гроссмана.

Multi-Element – модуль расширяет возможности системы для обработки одновременно до десяти различных компонентов, представленных в БМ. Модуль полезен при разработке комплексных многокомпонентных руд. Каждый компонент может иметь собственные показатели обогащения, структуру стоимости и ограничения по производительности.

Milawa Algorithm – модуль для оптимизации планов горных работ при максимизации чистого дисконтированного дохода (ЧДД) учитывает производственные и экономические ограничения. Алгоритм устанавливает правила подвижки уступов и бортов, используя следующие параметры: минимальную и максимальную подвижку уступа между смежными положениями, скорость углубки.

NPV Practical Push Backs – модуль, который создает подвижки борта карьера, отвечающие критерию максимума ЧДД при минимально допустимой ширине рабочих площадок. Функционал модуля позволяет: модифицировать заданные пользователем оболочки этапов или конечных бортов карьеров, так чтобы они соответствовали требованию минимальной ширины площадок; выбрать набор промежуточных положений карьера с максимальным ЧДД для заданных конечных границ.

Multi-Mine – модуль для оптимизации нескольких месторождений, как единой БМ. Для каждого месторождения могут быть заданы свои условия оптимизации.

Simultaneous Optimisation – модуль для стратегического планирования горных работ. Модуль позволяет оптимизировать план горных работ, бортовое содержание и рудные склады. Модуль учитывает взаимозависимости между этими факторами для получения добавочного ЧДД.

Stockpiles and Cut-offs – модуль создает план горных работ, устанавливая последовательность разработки запасов, оптимизирует использование рудных складов и бортовое содержание ПИ для максимизации ЧДД;

Blending – модуль для оптимизации процесса усреднения качественных характеристик ПИ, в комбинации с модулем *Milawa Algorithm* оптимизирует использование усреднительных складов. Его основные функции - валовое и раздельное усреднение. Учитываются показатели извлечения ПИ, цена, издержки и ограничения сбыта.

ПО *MineSched* используется для создания долгосрочных и краткосрочных графиков работ и усреднения качества руды. ПО предоставляет механизмы по заданию исходных условий, с помощью которых можно создавать альтернативные варианты развития горных работ. При создании варианта развития горных работ учитывается длина фронта работ, объем, тоннаж или количество любого типа готовой продукции (концентрат, металл, сорт ПИ). Исходной информацией являются блочные, сеточные и полигональные модели с любым количеством разновидностей руд и их сортов. *MineSched* использует 2D и 3D графический режим для визуальной проверки, обработки данных и автоматизированного проектирования; предоставляет функции отчетности, которые дают возможность получить четкое представление о тоннаже, содержаниях, потребности в оборудовании, экономических показателях варианта для каждого периода.

В последние годы *Geovia* сосредоточила свое внимание на расширении набора инструментов для подземных горных работ. Новый модуль *Stope Design Tools* от *Surpac* предлагает простой и быстрый процесс проектирования, позволяющий максимизировать извлечение руды и минимизировать операционные затраты. Интерактивный инструмент *Stope Designer* создает границы разработки рудного тела, а инструмент *Stope Slicer* делит их на элементы системы разработки – секции, блоки, целики.

Minex также разработал два новых инструментария планирования для своего модуля проектирования подземных горных работ: *Quick Scheduler*, который является неинтерактивным планировщиком, устраняющим необходимость ручного планирования движения горно-транспортного оборудования; *Schedule Playback*, который позволяет просматривать графики в 3D. *Surpac* и *Minex* теперь напрямую интегрированы с *Geovia Hub*, что обеспечивает их функциями обмена данными. Это дает пользователям доступ к нужным данным и помогает избежать ошибок в геологическом моделировании, проектировании и управлении горными работами.

1.3.3 Maptek Group

Maptek Group - это консорциум компаний с более чем тридцатилетней историей участия в горном бизнесе. Консорциум предоставляет решения для горной промышленности во всем мире, имеет несколько ПП, а также предоставляет консалтинговые услуги.

ПП *Maptek Vulcan* представляет собой широкую линейку инструментов, которые обеспечивают функции 3D геологического моделирования, проектирования и планирования горных работ. Вся линейка инструментов разбита на несколько групп:

Vulcan Enviewer – предоставляет возможности 3D просмотра и отображения данных, таких как: геологические скважины, карты, сеточные модели, триангулированные поверхности и твердотельные модели, БМ, геофизические и геотехнические данные.

Vulcan CAD – представляет собой автономную версию *Vulcan* с возможностями 3D САПР: черчение и редактирование, импорт/экспорт данных, реализация запросов к источникам данных, возможности подготовки графической документации.

Vulcan Surveyor – набор программ, который позволяет импортировать данные маркшейдерских замеров и съемок в среду *Vulcan* для отображения, обработки и обновления; обеспечивает автоматическое назначение атрибутов на точки съемки, вычисляет площади и объемы триангулированных поверхностей.

Vulcan Modeller – предоставляет расширенные инструменты для импорта данных (TXT и DXF), черчения и оцифровки линий, точек и текстовых объектов; имеет функционал 3D САПР; включает средства для построения триангуляций, сеточного моделирования, расчета статистических характеристик.

Vulcan Explorer – обеспечивает процесс геологоразведки инструментами 3D визуализации и моделирования, осуществляет интеграцию данных ГО, геофизического и дистанционного зондирования для анализа данных и проектирования на их основе БВР.

Vulcan GIS Explorer – предназначен для геологов, которым требуется использовать данные, подготовленные в ГИС. Фактически он представляет собой *Vulcan Explorer* с добавлением средств интерфейса *Vulcan ESRI ArcGIS*.

Vulcan Mine Modeller for Open Pit – содержит набор инструментов для моделирования и проектирования ОГР. Инструменты работают в 3D среде и предназначены для создания моделей бровок, берм, траншей и насыпей, а также различного рода поверхностей.

Vulcan Mine Modeller for Underground – содержит набор инструментов для моделирования подземных горных работ. Специализированные инструменты, а также

стандартные функциональные возможности визуализации и анализа позволяют проектировать и планировать подземные горные работы.

Vulcan Geo Modeller – предназначен для геологов, обеспечивающих разведку и эксплуатацию МПИ; представляет собой набор инструментов для моделирования рудных тел и стратиграфического строения месторождения. Имеются инструменты для работы с БД опробования, создания стратиграфических сеточных и БМ сложных пластовых структур с нарушениями.

Vulcan Geo Stat Modeller – содержит инструменты для геологического моделирования и оценки запасов, включает функционал *Geo Modeller* с добавлением инструментов геостатистического исследования, оценки содержаний методами обратных расстояний, простым, обычным и индикаторным кригингом.

Geology Solutions – решения для геологического моделирования рудных тел, предоставляющие возможность доступа и просмотра данных опробования и формирования геологических зон.

Database Management module – является обязательным компонентом всех приложений Vulcan, которым требуется импорт, редактирование и проверка информации о скважинном опробовании; позволяет просматривать и анализировать данные, хранящиеся в БД других ПП, содержит средства создания и управления БД.

Vulcan Resource Modelling – содержит инструменты для оценки содержаний с использованием методов обратных расстояний, кригинга, вариографии и тетра-моделирования.

Набор инструментов, объединённых под названием *Resource Modelling*, представлен модулями:

Block Modelling Tools – содержит инструменты для создания, визуализации и управления БМ, в том числе и с субблоками. Эти инструменты включают в себя:

- Набор процедур для оценки содержаний и классификации запасов, включая статистический и кластерный анализ, а также методы интерполяции (кригинг, обратных расстояний, полигонов).
- Вариограммные вычисления, отображения 3D поля поиска и данных, построение 3D карт.
- Моделирование вариограмм с использованием большого набора теоретических моделей, интерактивное 3D моделирование множественных структур и автоматическая подгонка параметров теоретической модели; оценку содержаний простым, обычным и индикаторным кригингом, аффинную логнормальную коррекцию, индикаторное моделирование и графическое 3D «разъяснение» процесса оценки.

- Оценку содержаний для сильно искривленных пластовых месторождений. Этот способ моделирования может быть применен для месторождений с хорошо выраженной зоной минерализации границы, заданной структурными поверхностями.

Base Geostatistics Module содержит простые инструменты для применения геостатистических методов внутри процессов *Vulcan*. Он основан на библиотеке GSLIB и содержит различные процедуры для вариограммного моделирования, включая 3D вариографию, автоматическую настройку модели и интерактивный подбор модели в 3D пространстве. Имеется возможность исследовать различные геометрические параметры для каждого направления, получая направленные вариограммы. Процедуры оценки включают простой и обычный кригинг.

Stratigraphic Modelling Tools содержит набор инструментов для стратиграфических приложений, что позволяет:

- Моделировать угольные залежи с возможностями учета сдвигов, надвигов и других разрывных нарушений. При моделировании используются данные скважинного опробования. Могут использоваться два метода моделирования – согласно мощности пластов и непосредственное создание структурных поверхностей.

- Моделировать различного рода нарушения как плоскости или сложные криволинейные поверхности, построенные с использованием инструментов триангуляционного моделирования. Эти поверхности формируют области между разрывными нарушениями. Для каждой такой области возможно создание стратиграфической модели, которая моделируется независимо от смежных областей.

- Моделировать стратиграфию месторождения с использованием HARP-моделей. Модели создаются автоматически на основе сеточных и триангуляционных поверхностей, разрывных нарушений, сеточных моделей качества. HARP-модели предназначены для точного представления волнистых, тонких пластов без дискретности, характерной для традиционных БМ. HARP-модели залежей могут быть использованы для оценки запасов, планирования и проектирования горных работ без потерь точности.

ПО *Geotechnical Tools* содержит инструменты, позволяющие создавать БД структур геомеханических и инженерно-геологических данных. Данные могут быть визуализированы в 3D пространстве, в круговых, стереографических диаграммах (сеть Вульфа) или по траектории скважины. ПО включает следующие модули:

Downhole Image Mapping Module – инструменты для создания 3D виртуальной скважины, посредством телесъемки или эхолотации внутри скважины.

Monitoring Module – содержит инструменты обработки и визуализации данных различного рода мониторинга: загрязнения грунтовых вод, величины деформации бортов карьеров и пр.

ПО *Ore Control Tools* содержит инструменты управление качеством руды и определения границ руды и пустой породы при селективной выемке. Включает следующие модули:

Grade Control Module – позволяет визуализировать данные опробования по взрывным скважинам, БМ, геологическим картам, фотографиям забоев и пр. Имеется возможность подключения по ODBC к внешним БД.

Automated Dig Limits Module – предназначен для повышения прибыльности разработки добычных блоков. Используются геостатистические методы для расчета качественных и экономических характеристик в БМ. В процессе оптимизации генерируются границы разработки руд и вскрышных пород с максимизацией прибыли.

Channel Sampling Module – предназначен для работы с данными бороздового опробования. В основном, используется на подземных горных работах, позволяет производить оцифровку и редактирование интерактивно на экране компьютера.

Geophysics module – позволяет отображать данные геофизических измерений, хранящиеся в БД ISIS, в привязке к скважинам.

Vulcan содержит набор инструментов для проектирования и планирования горных работ. Проектирование ОГР представлено модулями:

Vulcan Hardrock Pit Design Module – содержит набор инструментов для проектирования выработок, отвалов, съездов. Позволяет работать с несколькими вариантами углов откосов уступов и ширины берм, имеет интерактивные инструменты для проектирования уступов и внутрикарьерных дорог.

Interactive Surface Road Design Module – содержит инструменты для проектирования автомобильных, железных дорог и трубопроводов. В качестве параметров при проектировании задаются максимальная и минимальная кривизна, приращения длин и уклонов для горизонтальной и вертикальной профилировки.

Drill & Blast Module – содержит инструменты для проектирования БВР на карьерах. При проектировании могут задаваться параметры, формирующие сложные шаблоны размещения взрывных скважин. Модуль содержит справочник по размерам буровых долот, скоростям бурения, параметрам средств инициирования и взрывчатых веществ (ВВ).

Pit Optimiser Module – содержит инструменты для формирования оптимальной геометрии карьера. При оптимизации используются блочные и триангуляционные модели,

содержащие геологическую, инженерно-геологическую и экономическую информацию. В модуле реализованы оптимизационные алгоритмы Лерчса-Гроссмана и плавающего конуса.

Cutoff Grade Optimiser – содержит инструменты оптимизации бортового содержания, что максимизирует NPV для рассматриваемого варианта ведения горных работ.

Haulage Profile and Productivity Analysis – используется для оценки длительности рабочего цикла и производительности самосвалов, а также другого оборудования. Технологические параметры работы машин и оборудования могут быть сохранены как переменные в БМ, что позволяет использовать их при подсчете запасов и в календарном планировании.

Dragline Module – предоставляет набор инструментов для имитационного моделирования взрывов на выброс, моделирования и оптимизации работы драглайнов, бульдозеров, автомобильно-экскаваторных комплексов.

Для планирования ОГР *Vulcan* предлагает следующие модули:

Chronos Reserving and Scheduling Module – содержит инструменты для планирования горных работ и создания отчетов об объемах добычи. Обработка данных и вычисления производятся в таблице Excel, с которой обеспечивается связь.

Инструменты проектирования и планирования подземных горных работ представлены модулями:

Development Design Tools – содержит инструменты, обеспечивающие проектирование подземных горных работ, включая: создание автоуклонов, спиральных съездов, квершлагов, штреков; анализ стоимости проходки для обеспечения процесса принятия решений.

Underground Drill & Blast Module – содержит инструменты для автоматизированного проектирования БВР, позволяющие на основе использования шаблонов сформировать оптимальную сетку размещения взрывных скважин и подготовить отчёты по использованию ВВ.

Ventilation Module – используется для моделирования потоков воздуха по выработкам подземного рудника; содержит БД вентиляторов, помогает выявить области рудника с потенциальными проблемами проветривания посредством использования настраиваемых цветовых схем.

Polygon Reserver – модуль, известный также как *I-Scheduler*, содержит инструменты планирования. Модуль позволяет рассчитывать отрабатываемые запасы наряду с планированием разработки ВЕ.

Для обработки результатов лазерного сканирования используется ПО *I-SiteStudio Software*, что реализуется с помощью инструментов: построения 3D-моделей рудных складов, отвалов и хвостохранилищ; определения расхождения фактического бурения и проекта; анализа состояния уступов и бортов карьера, откосов отвалов с использованием фотографий высокого разрешения.

Кроме перечисленного выше, *Maptek* предлагает пользователям ПО *Mine Suite*, предназначенное для мониторинга и управления парком ГТО. ПО позволяет отслеживать положение, создавать отчеты по видам добываемого сырья, работающему оборудованию, производственным процессам и персоналу при ведении горных работ.

ПО *Vulcan* компании *Maptek* разрабатывается и совершенствуется в направлении ускорения алгоритмов. Например, в последнее время скорость оптимизация границ карьеров была повышена в несколько раз. Планировщик *Gantt* позволяет запускать операции планирования непосредственно из проектов подземных рудников. Модуль *Stope Optimiser* генерирует формы выемочных единиц, которые *Level Designer* использует для проектирования точек транспортного доступа на горизонт, и эта информация затем передается в планировщик *Gantt*. Инструменты *Vulcan Ring Design* затем используются для проектирования БВР. Таким образом, весь процесс проектирования и планирования подземных горных работ теперь полностью может быть сделан в *Vulcan*.

Разработаны новые варианты неявного геологического моделирования, они включают инструменты выборки геологического опробования и элементы управления процессом триангуляции. *Vulcan* позволяет создавать большие многодоменные геологические модели. Модели могут применяться и обновляться для сценариев «что, если» в течение цикла планирования горных работ. Оптимизаторы *Pit* и *Level Designer* обеспечивают быстрый предварительный просмотр результатов планирования перед подробным анализом, поэтому пользователи могут решить, какие проекты стоит разрабатывать. Для окончательного дизайна можно выбрать комбинацию сценариев.

1.3.4 Mincom

Компания *Mincom* в своем ПП *Intelligent Mining Solution (IMS)* предоставляет широкий диапазон технических решений для горнодобывающей отрасли, которые охватывают весь спектр задач от разведки и геологического моделирования до планирования горных работ, управления лабораторными данными, отслеживания материалов, учета, сбыта и логистики. *Mincom IMS* объединяет следующие приложения:

Mincom Exploration – комплексное решение для управления данными по бурению и результатами анализов проб.

Mincom MineScape – набор интегрированных решений, разработанных для использования при проведении работ по открытой и подземной добыче на месторождениях угля и руды. ПО включает функциональные возможности для геологического моделирования и проектирования карьеров и подземных рудников. Все модули *MineScape* полностью интегрированы и предоставляют многопользовательский доступ к единой БД в локальной вычислительной сети (ЛВС). Каждый модуль выполняет определенные функции по обработке данных и решению задач горной технологии.

Кроме функций создания и управления моделями объектов горной технологии, *MineScape* имеет большой набор специализированных модулей:

Block Model – содержит инструменты блочного моделирования, используется для моделирования не стратифицированных месторождений. Модели месторождений создаются путём интерпретации данных геологической разведки и каркасного моделирования рудных тел.

Geologic Database (GDB) – БД геологического опробования, позволяет хранить данные о трассе скважины, литологии и качественных показателях, генерирует набор стандартных и заданных пользователем отчетов и графической документации по скважинам. *GDB* содержит инструменты для отображения литологии и интервалов опробования, данные геофизической разведки, и имеет функции для расчёта композитов и параметров обогатимости ПИ.

Stratmodel – содержит инструменты стратиграфического моделирования, с помощью которых осуществляется построение сложных пластовых моделей с тектоническими нарушениями.

Drill&Blast – интерактивный инструмент для размещения взрывных скважин по палетке и экспорта проекта на бурение в устройства управления буровых станков, оборудованных GPS-устройств.

Roads – содержит инструменты проектирования дорог, оптимизации баланса выемки и насыпи, генерации документации в текстовом и графическом виде.

Open Cut – содержит средства генерация и проверка краткосрочных горных планов, а также перспективных проектов разработки. Инструменты модуля позволяют визуализировать и изменять проект на различных стадиях его создания.

Survey – содержит инструменты решения маркшейдерских задач, обеспечивает автоматическое создание инструкций для выноса объектов горного плана в натуру. Обеспечивает ввод данных в БД по съемкам вручную и с электронных приборов. Создает отчеты по объемам добычи и обеспечивает кратковременное планирование горных работ, погашение и сверку запасов.

Schedule – обеспечивает оптимизацию последовательности ведения горных работ с планированием процессов перемещения ГП и использования горно-транспортного оборудования при календарном и краткосрочном планировании ОГР.

Underground – содержит инструменты календарного и годового планирования для подземных горных работ. В процессе планирования могут быть использованы данные по эксплуатационной разведке и маркшейдерским съемкам.

CCLAS – система управления лабораторными данными (LIMS), автоматизирует процессы в аналитических лабораториях, включая регистрацию проб, печать штрих кодов, сбор данных и отправку результатов через Интернет.

Assay Management – технология для обеспечения работ по отслеживанию проб, запросу и получению аналитических данных, контролю и обеспечению качества опробования, а также контролю затрат по аналитическим данным.

Production Accounting – производственный учёт и контроль баланса металлов для горно-металлургического производства. Решение используется при ведении работ по добыче и обогащению руды.

MineMarket – управление логистическими цепочками, отгрузкой, транспортировкой и прочими коммерческими операциями в горнодобывающей отрасли.

Mobility – интегрированный, комплексный набор приложений, которые позволяют повышать производительность труда путем автоматизации деятельности эксплуатационного персонала при помощи мобильных устройств, таких как ноутбуки, электронные планшеты, КПК и др.

LinkOne – предоставление каталогов в графической форме, что позволяет сформировать точную и своевременную информацию о запасных частях для крупной и географически рассредоточенной сети дилеров и обслуживающего персонала.

1.3.5 MICROMINE

Основанная в Западной Австралии в 1986 г., компания Micromine Pty Ltd является независимым поставщиком программных решений для геологоразведки и горного производства. Одноимённый продукт компании под названием *MICROMINE* включает в себя ряд модулей, которые можно комбинировать в зависимости от требований пользователя:

Модуль ЯДРО – основной модуль *MICROMINE*, предназначенный для импорта, проверки, обработки, визуализации и интерпретации геологоразведочных и других данных. Модуль имеет следующий функционал: 3D визуализация; совместимость с различными форматами данных других систем; графическая интерпретация скважинного

опробования и других источников данных; инструменты для статистической обработки и преобразования систем координат; автоматизация и повторение любого процесса *MICROMINE* с использованием макросов и наборов форм.

Модуль *Профессионал* предоставляет расширенный набор функций, предназначенных специально для геологоразведки и горных работ. В этот набор входят специализированные утилиты для отображения данных буровых скважин и работы с ними. У модуля следующие возможности: управление геологоразведочными данными на основании проекта разведки; корреляция данных скважинного опробования и их композитирование; преобразование координат; импорт файлов с геофизическими данными.

Модуль *Лаборатория* предназначен для хранения и обработки данных, относящихся к сбору, подготовке и анализу образцов. Возможности модуля: настройки процедур для отдельных лабораторий; выполнение полного согласования отгрузки и приемки образцов, что обеспечивает исчерпывающую проверку соответствия информации полученному запросу, в противном случае выполняется проверка приемлемости данных.

Модуль *Разведка* предоставляет набор инструментов для детальной обработки данных с буровых скважин, включая: выполнение статистических расчётов, а также создание планов и разрезов на базе цифровых моделей поверхности (ЦМП); расчёты по скважинам с использованием различных опций композитов; статистические и геостатистические расчёты; секторные диаграммы, обработку структурных буровых данных, 3D контуры; моделирование цифровых поверхностей и их расчёт, в том числе - оконтуривание и подсчёт объёмов.

Модуль *Каркасное моделирование* содержит инструменты моделирования замкнутых и разомкнутых каркасов в 3D среде. Инструментальные средства модуля позволяют: создавать и редактировать каркасные модели, используя различные источники данных; формировать отчёты по тоннажу и содержаниям, используя данные по скважинам или БМ; выполнять операции пересечения двух и более каркасов с их объединением или вычитанием; формировать разрезы на основе пересечения плоскостями каркасных моделей; изменять координаты каркаса посредством вращения, масштабирования или преобразования географических координат; находить точки пересечения скважин и каркаса.

Модуль *Оценка запасов* содержит инструменты, используемые при: создании БМ и интерполяции содержания ПИ различными методами (обратных расстояний, обратного и полииндикаторного Кригинга, полигонального); классификации, определении количества

и формировании отчёта по содержаниям и геологическим запасам руды; подборе вариограмм; моделировании пластовых месторождений.

Модуль *Оптимизация карьера* создаёт оптимальные контуры карьеров. В модуле используется алгоритм Лерчса-Гроссмана, находятся наиболее экономически выгодные контуры карьера с учётом цен на конечный продукт, величины потерь и разубоживания руды, данных стоимости переработки ПИ и прочих затрат. Оптимизатор учитывает возможность задания переменных значений углов откоса борта карьера, коэффициенты потерь и разубоживания.

Модуль *Горный* содержит инструменты для проектирования и ведения открытых и подземных горных работ. Инструменты позволяют в режиме моделирования осуществлять проектирование конструктивных элементов карьеров и подземных рудников. В модуле имеются инструменты проектирования БВР для открытых и подземных горных работ.

Модуль *Календарное планирование* позволяет создавать планы и отчёты, относящиеся к производству, посредством формирования ВЕ, календаря ресурсов и норм извлечения.

Модуль *Съёмка* используется для импорта и обработки данных маркшейдерской съёмки. Модуль предоставляет инструменты для расчёта точек, контуров, поверхностей и объёмов.

Модуль *Уголь* предоставляет собой набор функций, предназначенных для повышения эффективности работы с данными месторождений угля, обладающих сложной структурой. Возможности: учёт данных частичной и суммарной обогатимости угля на фракциях разного размера; процедуры для компиляции стандартизированной матрицы обогатимости путем интерполяции значений на основе данных по обогатимости.

Модуль *Печать* позволяет быстро перевести изображение из формата *MICROMINE* в формат страницы, которую можно просматривать в любом Windows – приложении. Модуль также обладает инструментами формирования чертежей, для ускорения их создания используются шаблоны.

ПО *MICROMINE* предлагает также программное решение *Geobank* для управления данными, поступающими из различных источников, их сбора, проверки и хранения данных. Возможности: запросы данных и представления данных; объединение корпоративных данных благодаря возможности подключения к *MicrosoftSQLServer*, *MicrosoftAccess* и *Oracle*. *Geobank* имеет многофункциональный генератор отчетов, позволяющий не только просматривать и распечатывать отчет в знакомом формате

(например, послойный геологический разрез скважины), но и просматривать БД с использованием этого же графического формата.

Также *MICROMINE* предлагает решение *Pitram* для управления горным производством и формирования отчетности. Система *Pitram* интегрируется в процессы горного производства и обеспечивает единое решение для работы со всем объемом данных, необходимым для разработки месторождения. Набор программных продуктов *Pitram* состоит из компонентов с расширяющимися функциональными возможностями: от простого табеля учета рабочего времени до полностью интегрированной и работающей в режиме реального времени системы планирования и оптимизации производства.

В последние годы усилия *Micromine* были направлены на увеличение скорости и производительности, а также на разработку специализированных инструментов для планирования ПГР и проектирования взрывных работы. Блок оптимизации границ карьеров теперь может работать с повернутыми блочными моделями, новые режимы анализа горных планов позволяют получить более реалистичные графики разработки месторождений. Были разработаны новые модули геологического моделирования: стратиграфическое и неявное моделирование. Неявное моделирование использует радиальные базисные функции для моделирования границ ПИ с различным содержанием компонентов, литологических разностей, поверхностей нарушений. Стратиграфическое моделирование позволяет строить блочные модели пластовых месторождений с учетом согласованности расположения пластов и нарушений.

Еще в 2014 был произведен переход на 64 битные приложения. Это позволяет работать с большими наборами данных. Были улучшены инструменты проектирования карьеров с новыми вариантами размещения съездов и пересечений дорог. Интересными стали примеры применения технологий дополненной реальности в геологии с помощью технологий *Microsoft HoloLens*.

1.3.6 Carlson Software

Компания *CarlsonSoftware* специализируется на разработке ПО для САПР, обработки данных полевых измерений, гражданского строительства и горной промышленности. Для горной промышленности компания имеет специализированную линейку ПО, включающую *Carlson Mining* и *Carlson Survey*. ПО разработано как приложение к программам компании *Autodesk Inc.* - *AutoCAD/AutoCADMap3D/AutoCADCivil3D*. Также ПО можно устанавливать не только как приложение к платформе *AutoCAD*, но и со встроенным графическим ядром *IntelliCAD* - аналогом *AutoCAD*, работающим с форматом чертежей *DWG*.

ПП *Carlson Mining* состоит из 4-х программ:

Geology – ввод, анализ, редактирование данных по скважинам. Построение геологической модели. Позволяет импортировать скважины из файлов формата *MDB*, текстовых файлов практически любых форматов. Редактировать скважины можно как по отдельности, так и с помощью специальной электронной таблицы, в которой выделены отдельные окна для редактирования устьев скважин, информации о пластах и качественных характеристик пластов. Программа имеет такие инструменты моделирования, как обработка несогласных залеганий, выклиниваний, нарушений, разделения пластов, определение выхода на поверхность. Для создания более достоверной модели используются дополнительные данные изысканий, – линии ограничения для выходов на поверхность, 3D полилинии для подошвы пластов, бороздовые пробы. Поддерживаются основные методы моделирования: триангуляции, обратных расстояний, Кригинга, полиномиальный и наименьших квадратов.

Surface Mining – проектирование и планирование ОГР. ПО, используя топографию, данные геологии и характеристики оборудования, позволяет автоматизировать процесс проектирования. Проектирование карьера выполняется с учетом различных характеристик уступов на разных бортах карьера. В случае использования блочного метода выполняется оптимизация путем деления карьера на зоны с автоматической вставкой съездов с заданным уклоном в указанном месте.

Имеется возможность детального проектирования последовательности работ при разработке карьера драглайном. Для этого задаётся линия вынимаемой породы, а также расположение отвалов в зависимости от характеристик драглайна и естественного угла насыпи. В результате формируются поперечные сечения по осевой линии движения драглайна и новое положение уступа.

Underground Mining – проектирование и планирование при ведении подземных горных работ. При проектировании вентиляции можно автоматически разместить пути эвакуации и дополнительные выходы. Выполняется планирование добычи ПИ и определение графика работы оборудования. Результат планирования может быть представлен в текстовом и графическом видах (отчеты различной формы).

Basic Mining – базовые команды для открытых и подземных горных работ. Основные функции: ввод данных по скважинам, анализ данных с использованием фильтров; построение геологических карт, сеток пластов по данным скважин; построение разрезов и оценка запасов по данным скважин. В отличие от модуля *Geology*, все вычисления выполняются без построения геологической модели. Также имеются инструменты для вставки условных обозначений в чертеж.

ПО *Carlson Survey* реализует следующие функции:

Ввод и обработка данных маркшейдерской съемки. ПО позволяет помещать в рисунок *AutoCAD* данные съемки тремя способами: непосредственно с электронных приборов; вводом данных по записям полевого журнала; вставкой точек из текстовых файлов. Для автоматизации решения маркшейдерских задач имеется специализированный калькулятор. По введенной информации можно построить модель 3D поверхности, вывести горизонтالي и проанализировать данные в моделируемом пространстве.

Формирование плана горных работ. Модель поверхности формируется автоматически по мере ввода данных съемки отработанных участков. Графические элементы модели карьера формируются как инструментами *Survey*, так и средствами *AutoCAD*. Следует отметить, что *Survey* работает с 3D моделями поверхностей, представленными в виде сеток, и на основе этих моделей вычисляют объемы.

Построение профилей. Исходными данными для построения профиля является 3D модель поверхности и линия, по которой строится профиль. Поверхность строится по данным (точки, структурные линии), которые вводятся на этапе формирования плана горных работ. Профиль по текущей поверхности можно совместить с профилями, построенными ранее и, таким образом, получить еще один необходимый графический документ.

Проектирование канав, отвалов, водоемов. Проектирование объектов этого типа выполняется путём задания периметра объекта и угла наклона откоса.

1.3.7 Geomix

ПП разработан институтом ВИОГЕМ, г. Белгород [179]. ПП предназначен для формирования горно-геологических моделей месторождений ПП при открытой и подземной разработке и решения на их основе горно-геологических задач: подсчёт геологических и эксплуатационных запасов, автоматизация геолого-маркшейдерских работ, проектирование БВР, текущее и перспективное планирование горных работ. Реализует возможности современных ГИС-технологий, в том числе создание карт различного тематического содержания и информационных систем инженерной инфраструктуры промплощадок горнодобывающих предприятий. Представляет собой интегрированную систему, состоящую из ядра системы и функциональных модулей:

Растровый редактор Elastic – программа, предназначенная для обработки и подготовки растровых изображений к векторизации. Редактор позволяет: склеивать отдельные файлы неограниченного размера в файл основы; производить обработку материалов дистанционного зондирования Земли (аэрофотосъемка, космическая съемка и

пр.). Обработанные при помощи растрового редактора изображения в дальнейшем используются для оцифровки в векторном редакторе.

Векторный картографический редактор MapProj предназначен для формирования и ведения геологической и горно-эксплуатационной графики. Полуавтоматическая векторизация по растровой подложке позволяет значительно сократить время создания карт. Программа позволяет: создавать легенды для карт, используя несколько картографических слоев; осуществлять интерактивное редактирование, просмотр и печать картографических данных в 3D режиме; связывать графические объекты с атрибутивными БД; помещать электронные таблицы на карты; производить векторизацию данных в полуавтоматическом режиме; выводить картографическую информацию на любой принтер/плоттер в реальных масштабах и с автоматической разбивкой на страницы. Для обеспечения совместимости поддерживается экспорт-импорт форматов MID/MIF, DXF, SHP, WMF, KDR, SXF.

СУБД NetBase – ПО, предназначенное для хранения и обработки алфавитно-цифровой информации. Структура самой БД иерархическая, представлена таблицами данных с системой ссылок и индексов. ПО позволяет производить запросы к БД по принадлежности точки к контуру, скважине, и формировать таблицы данных в соответствии с формулой запроса. Для обеспечения совместимости поддерживает экспорт-импорт данных в файлы DBF и DB.

Геологический модуль предназначен для работы геологоразведочной и геолого-эксплуатационной информацией (документирование скважин и горных выработок, результаты опробования, карты, геологические разрезы и планы и т.п.) путём создания БД и использования её для моделирования месторождения и отдельных его участков. Модуль содержит инструменты: подсчета запасов методом вертикальных сечений; пересчета запасов по горизонтальным слоям (этажам); оценки пространственной изменчивости оруденения; построения геологических планов и разрезов; планов в изолиниях содержания компонентов, регламентирующих качество руд; подсчета запасов в эксплуатационных блоках; годового и оперативного планирования добычи.

1.3.8 K-MINE

ПО *K-MINE*, разработанный на Украине [180], позиционируется разработчиками как ГИС, предназначенная для решения технологических задач предприятий горной промышленности. ГИС имеет модульную структуру, состоит из десятков взаимосвязанных модулей, работающих под единой информационной оболочкой, с единым форматом данных, с типизированным пользовательским интерфейсом.

Основные модули ГИС:

Графическое ядро – выполняет низкоуровневые операции по: поддержке целостности данных, взаимодействию данных с памятью и графической подсистемой компьютера, визуализации данных, разграничению полномочий доступа к данным (при многопользовательском режиме).

K-Raster – осуществляет подготовку и векторизацию картографического материала, входит в базовый состав ГИС. Главное назначение модуля – работа с растровыми изображениями, которые были получены в результате сканирования начального графического материала (карты, планшеты) для перевода их в векторный формат. Программные средства модуля делятся на 2 части: калибровка раstra и векторизации раstra.

K-BinEditor – редактор структуры классов и объектов, предназначен для создания новых типов объектов, создания шаблонов, а также для редактирования свойств и методов уже встроенных в ГИС стандартных объектов или добавления к ним новых свойств (методов).

K-GraphModeling – модуль графического моделирования, предназначен для работы с графической средой ГИС.

K-Print – модуль печати, предназначен для вывода графической информации на печатающие устройства. Модуль печати *K-Print* интегрирован в ГИС и может использоваться как для печати непосредственно из графической среды, так и для печати из дополнительных модулей.

K-GeoMark – модуль геолого-маркшейдерского обеспечения горных работ. Функционал: автоматизация камеральной обработки данных полевых измерений; формирование цифровых моделей объектов по результатам обработки данных полевых измерений; расчет объемов и площадей разными методами; определение расстояний транспортирования по существующей транспортной сети; построение геологической модели месторождения по данным детальной и эксплуатационной разведки, расчет количественных и качественных показателей ГП; построение совмещенных геолого-маркшейдерских разрезов в произвольном направлении.

K-BVR – модуль проектирования БВР, предназначен для автоматизации работ, связанных с проектированием и ведением буровых и взрывных работ для предприятий с открытым способом добычи ПИ. Функционал: создание и ведение паспортов взрывов; выбор места проектируемого бурового блока; проектирование буровых скважин в блоках с учетом геологической структуры пород, схем взрывания, типов ВВ и зарядов; расчет и

проектирование схем коммутации; расчет зарядов скважин; расчет замедлений; ведение карты буримости пород.

K-Project – модуль проектирования ОГР. Функционал: проектирование конечных контуров карьеров и отвалов, согласно заданным параметрам (ширины бермы и величины угла откоса борта карьера); создание календаря отработки месторождения (возможность разбивки проекта отработки на этапы); проектирование автомобильных и железнодорожных съездов; проектирование дорог и объектов транспортирования; подсчет объемов добычи между заданными контурами; моделирование подвижки бортов или участков бортов на заданное расстояние с возможностью расчета объемов.

K-Plan – модуль планирования горных работ, предназначен для выполнения задач оперативного и текущего планирования на предприятиях с открытым и подземным способом добычи. Функционал: набор объемов плановой добычи руды и породы для разных типов экскаваторных заходов (при открытом способе добычи) или выемочных камер (при подземном); планирование горных работ в карьерах с оптимизацией мест размещения выемочных блоков и очередности их отработки; оперативное планирование горных работ с возможностью корректирования при изменении производственной ситуации; оптимизация мест заложения автомобильных и железнодорожных съездов.

K-Topograph – модуль топографической съемки, предназначен для создания планов географических территорий, обеспечения упрощенного графического построения объектов электронных карт и земельных участков.

K-Granules – модуль определения гранулометрического состава взорванной горной массы. Функционал: предварительная обработка изображения, которая включает разные виды редактирования и контрастирования; определение гранулометрического состава взорванной горной массы на снимке с точностью 5-7%; вывод результатов обработки в БД в виде графиков и таблиц, формирование отчетов; вычисление среднестатистических показателей гранулометрического состава во взорванном блоке.

1.3.9 Специализированные ПП

На рынке ПП для горнодобывающей промышленности значительную долю занимают специализированные ПП, нацеленные на решение отдельных задач горной технологии. В качестве примера таких программных продуктов можно привести три из них: *Runge Mining*, *CAMAPA* и *BlastMaker*.

Runge Mining Pty Ltd

Компания специализируется на создании ПО для планирования горных работ, направленного на оптимизацию финансово-экономических показателей работы горного

предприятия с учетом характеристик месторождения и используемой техники. Компания предлагает следующее ПО:

Mining Dynamics – формирует визуальную систему управления данными для всего процесса производства - от геологии, моделирования и проектирования до планирования и анализа результатов.

ХРАС – автоматизированное многовариантное календарное планирование открытых и подземных горных работ. В результате планирования производится отбор выемочных блоков и расчет доли каждого из них в рудопотоке для получения требуемого качества и тоннажа руды, поставляемой на переработку. Оценка бортового содержания в руде осуществляется на основе анализа ситуации на мировых рынках.

XERAS – финансовое моделирование и прогнозирование, расчет бюджетов и калькуляции себестоимости, экономические расчеты. Порядок работы предусматривает учёт следующих параметров производства: капитальные и эксплуатационные расходы; производственные планы предприятия; принятые нормы и правила; учет показателей всего предприятия.

FACETS – программа предназначена для моделирования и оптимизации процесса добычи в длинной очистной выработке (лаве). Оптимизация добычи рассматривает такие факторы, как: вентиляция, ограничения по газу и оборудованию. Программа выявляет проблемы и ограничения по установленному добычному забою.

DragSim – программные средства моделирования процессов отработки заходок драглайном с целью оптимизации процесса перемещения породы и увеличения производительности экскаватора. Инструменты *DragSim* позволяют моделировать особенности рабочих операций драглайна и используются как для среднесрочного, так и долгосрочного планирования.

Talpac – программные средства имитационного моделирования, предназначенные для определения производительности и экономических показателей экскаваторно-автомобильного комплекса на реальных моделях развития горных работ.

Хаст – специальное приложение для краткосрочного планирования, имеет иерархическую систему навигации и 3D представление планов горных работ.

FracSIS – содержит средства визуализации данных геологической разведки и объектов горной технологии, а также их хранение в БД.

CAMAPA

Разработчик системы *CAMAPA* – ООО «Лаборатория комплексных технологий». Система *CAMAPA* (Система Автоматизации камеральных Маркшейдерских Работ) построена на платформе AutoCAD, и её основное назначение – автоматизация

маркшейдерских работ на карьерах и подземных рудниках. Так как САМАРА является приложением к AutoCAD, это обеспечивает ей интеграцию со смежными программными продуктами и обеспечивает возможности обмена графическими данными с другими системами САПР.

Система обеспечивает: ввод, накопление и обработку данных полевых измерений с последующим их графическим отображением; проведение комплекса работ, связанных с отображением текущего состояния горных выработок, их проектированием и контролем проходки; проведение измерительных и разметочных операций в плановой проекции и 3D пространстве; автоматическое формирование 3D моделей горных выработок; подготовку и изготовление горной графической документации; ввод, накопление и обработку данных о геологической структуре горного отвода, получаемых в ходе разведочного бурения, проходческих и очистных работ; формирование и анализ пространственных моделей рельефа и геологических пластов.

Имеются инструменты: для расчета профилей горных выработок с произвольным количеством параметров (почва и кровля выработки, головка рельса, ширина, высота выработки, высота прокладки кабеля, высота конвейера, ширина рабочего прохода и т.д.); предрасчета сбоек; формирования текстового документа и отрисовки результатов.

Blast Maker

САПР БВР на карьерах разработана коммерческой организацией ООО «*Blast Maker*» при поддержке Международного научно-технического центра в сотрудничестве с МИФИ и Горной школой Парижа [181]. Система представляет собой программно-технический комплекс, сочетающий технические средства сбора данных в процессе бурения и экскавации и ПО – автоматизированное рабочее место инженера-проектировщика БВР. Разработанный комплекс – это реализация способа ведения БВР с постоянным уточнением прочностных свойств разрабатываемого массива путем измерения энергоемкости бурения взрывных скважин.

Прогнозирование устойчивости горных выработок осуществляется на основе численного моделирования НДС горного массива и непрерывного мониторинга деформаций.

Программный модуль *Split Analyzer* осуществляет объективную оценку качества взрыва. Модуль предназначен для определения гранулометрического состава взорванной горной массы на основе обработки цифровых фотографий и позволяет получить сетку распределения отдельных фракций и выполнить анализ полученных данных. Система имеет возможность печати изображений и статистических данных, полученных в результате анализа, может работать с несколькими фотографиями одновременно. В

составе системы *Blast Maker* данный модуль позволяет сопоставить прогнозируемые и реальные результаты взрыва.

1.4 Перспективы развития ГГИС

Использование компьютерных технологий в горном деле имеет богатую историю, следующую согласно основным вехам развития информационных технологий – поколения ЭВМ, появление новых алгоритмов обработки данных и решения оптимизационных задач, эволюция подходов к созданию и программированию сложных систем. Современное состояние характеризуется наличием разнообразного программного обеспечения – от небольших специализированных утилит, до сложных систем, комбинирующих в себе средства моделирования горно-геологических объектов, инструменты САПР, геомеханического анализа, планирования горных работ, расчета и оптимизации параметров технологических процессов, много другого. На процесс развития ГГИС влияют общие тенденции развития современного ПО в других отраслях промышленности. Так динамично развивающейся автоматизированной технологией в строительстве является «Информационное моделирование здания (сооружения)» - *BIM* (*Building Information Modeling* или *Building Information Model*). Это подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонта сооружения, который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о сооружении со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда здание и все, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект [182]. Особенность такого подхода заключается в том, что строительный объект проектируется как единое целое, а изменение какого-либо одного из его параметров влечёт за собой автоматическое изменение остальных связанных с ним параметров и объектов, вплоть до чертежей, спецификаций и календарного графика работ.

Эта концепция, с одной стороны, частично реализована во всех развитых ГГИС в виде геологических моделей и определяемых на их основе моделей карьеров и подземных рудников с множеством атрибутивной информации и превалированием 3D моделей над чертежами, с другой стороны, она не оформлена как методический подход для обеспечения жизненного цикла именно горного предприятия. Основная проблема заключается в том, что горная часть проекта предприятия включает такие сложные вопросы, как определение производительности и ее развитие во времени, оптимизация границ карьеров и шахтных полей, выбор системы разработки и определение ее параметров, выбор способа вскрытия, структуры комплексной механизации и многих

других. Эти задачи находятся в сложной взаимосвязи друг с другом, и изменение параметров любой из них в большей или меньшей степени может повлиять на остальные. Основная цель такого подхода в горном деле будет заключаться в том, чтобы объект горных работ (карьер, подземный рудник) проектировался как единое целое, а изменение параметров и вариантов проектных решений приводило к автоматическому изменению остальных.

Особое значение приобретают вопросы безопасности ведения горных работ в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях. Увеличение масштабов и производительности подземных и открытых горных работ, их углубление приводят к необходимости организации средств мониторинга состояния природно-технических систем. Автоматизированные технологии сбора первичных данных мониторинга (например, геомеханического), их анализа и визуализации, принятия решений должны быть интегрированы со средствами моделирования объектов горной технологии, системами проектирования и планирования горных работ.

Можно отметить несколько перспективных направлений, в которых будут развиваться ГГИС горного производства и сопутствующие им технологии. Это, в первую очередь, использование компьютерных технологий, которые активно развиваются в последнее время. Например, технологии глубокого обучения (*deep learning*), относящиеся к области искусственного интеллекта, и основанные нейронных сетях, в последнее время так снизили требования к вычислительным ресурсам компьютера, что их применяют в мобильных устройствах при распознавании голоса, переводов с одного языка на другой и т.д. Основанные на этом технологии интеллектуальных интерфейсов приведут к тому, что взаимодействие пользователей и ГГИС станет более персонифицированным и настроенным на конкретного пользователя и в совокупности с технологиями порождающего проектирования (*generative design*) даст возможность принимать решения, основываясь на достаточно общем выражении проектного намерения пользователем, освобождая его от рутинных не творческих операций.

Уже сейчас мы видим примеры использования роботизированных технологий в горном деле и строительстве. Информационная основа ГГИС, технологии больших данных (*big data*) и облачные технологии, интегрируясь естественным образом в едином автоматизированном производстве, будут реализовывать цепочку от проектного намерения через технологии порождающего проектирования напрямую к его реализации исполнительными механизмами всей структуры комплексной механизации (рис. 3): подготовка горных пород к выемке, экскавация, транспортирование. Исходные данные о постоянно изменяющейся рабочей зоне, положении забоев, темпах проходки, выпуска,

состоянии дорог и выработок, других элементах подземных рудников и карьеров, а также оперативного опробования и контроля качества ПИ, всего разнообразия видов мониторинга технологических, техногенных и природных процессов в зоне ведения

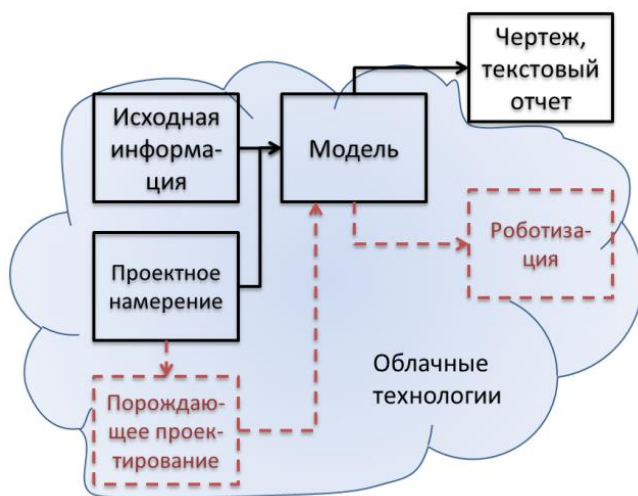


Рисунок 1.3 – Перспективные технологии, связанные с ГГИС

горных работ будут обрабатываться с помощью технологии больших данных в среде ГГИС. Облачные технологии предоставят для этого вычислительные ресурсы для распараллеливания вычислений, хранения собственно исходных данных и возможности для коллективной разработки моделей объектов и процессов горных работ, проектирования, планирования и управления.

Мощным средством визуализации скрытых в недрах объектов и процессов может стать технология дополненной реальности (*augmented reality*). Она позволит с помощью специальных технических средств (очки виртуальной реальности или даже обычный планшет) реализовать концепцию «рентгеновского» зрения. В результате, человек находясь на месте ведения горных работ сможет видеть как реальную обстановку вокруг себя, так и совмещенное с ней модельное представление того, что скрыто и не доступно непосредственному наблюдению. Это могут быть, например, соседние подземные выработки и пустоты, особенности геологической обстановки, включая залегание ПИ и тектонические нарушения, результаты геомеханического и гидрогеологического моделирования, распределение качественных характеристик ПИ в развале горных пород, характеристики и состояние наблюдаемого горно-транспортного оборудования, рабочего персонала и пр. Реализация такой технологии поможет не только лучше представлять и визуализировать реальные и модельные объекты горной технологии, но и улучшить контроль и безопасность ведения горных работ.

Выводы

История развития ГГИС насчитывает несколько десятилетий развития от разработки отдельных алгоритмов и программных средств, решающих локальные задачи горного производства, к появлению САПР отдельных отраслей и способов разработки,

объединяющих геометрическое моделирование и аналитические подходы к оптимизации планирования и проектирования горных работ.

Сейчас горнодобывающая промышленность является рискованным бизнесом, на состояние которого влияет множество факторов - от политических отношений между странами, новых технологических потребностей в минералах и металлах, до глобальных климатических изменений и экологических угроз. Горная отрасль подвержена риску когда сталкивается с возможными нарушениями привычной бизнес-модели, так спад цен на минеральное сырье приводит к тому, что многие компании приложили значительные усилия для сокращения операционных расходов, и даже свертыванию производства. Основная задача для горных информационных технологий на современном этапе заключается в том, чтобы максимально нивелировать такие риски за счет принятия оптимальных проектных и плановых решений, основанных на прочном математическом фундаменте. Опыт применения информационных технологий в других отраслях промышленности, удачные примеры использования ГГИС на горном производстве, первые примеры внедрения автономной и роботизированной горной техники ясно показывают, что другой альтернативы повышения эффективности и безопасности работы таких сложных индустриальных комплексов не существует.

Резюмируя, можно выделить особенности создания ГГИС, которые могут быть сформулированы следующим образом: необходимо создать физическую и логическую структуру информационной системы так, чтобы система содержала все данные, необходимые для эффективной работы всех пользователей и функционирования собственно системы. Основными задачами создания ГГИС являются:

- Удовлетворение требований по функционалу для всех пользователей в области геологического моделирования, решения маркшейдерских задач, проектирования и планирования горных работ;
- Реализация естественной и простой для понимания и визуализации структуры данных;
- Обеспечение готовности всей семантической информации для возможных изменений структуры;
- Обеспечение требований к высокой эффективности обработки данных;
- Реализация простых и интуитивно понятных пользовательских интерфейсов.

Анализ состояния проблемы позволил сформулировать следующие задачи, требующие решения при создании ГГИС:

1. Разработать архитектуру горно-геологической информационной системы, предназначенной для решения задач проектирования, планирования и инженерного сопровождения горных работ.
2. Разработать структуры баз данных ОГТ, геологического опробования (ГО), горнотранспортного оборудования (ГТО), и программных средств управления ими, обеспечивающих многопользовательский режим работы.
3. Разработать алгоритмы и программные средства графической платформы, реализующих базовые функции по созданию, редактированию и визуализации моделей объектов горной технологии.
4. Создать на базе графической платформы алгоритмические и программные средства автоматизации и оптимизации решения задач проектирования, планирования и инженерного сопровождения горных работ.
5. Разработать системный подход к формированию компьютерной технологии проектирования и планирования горных работ на различных этапах жизненного цикла работы горного предприятия.

Объектами исследования стали горные предприятия с открытым и подземным способами разработки, характеризующиеся большим разнообразием горно-геологических условий, добываемых ПИ, применяемых систем разработки, масштабов горных работ. Среди них ОАО «Апатит», ПАО «ППГХО», ОАО «СЗФК», ОАО «Боксит Тимана», ОАО «Оренбургские минералы», АК «Алроса» и другие. Разнообразие условий позволило выработать общие системные подходы к архитектуре, средствам моделирования и автоматизированным инструментам, входящим в состав ГГИС. В связи с этим можно предполагать, что результаты исследований могут быть использованы на большинстве горных предприятий Российской Федерации и стран СНГ.

2. Архитектура и состав ГГИС

В ходе развития информационных технологий были выработаны принципы информационного обеспечения сложных технических систем, к которым в полной мере относится горное производство. С учётом специфики горного производства это:

1. Создание максимально адекватной модели МПИ и её корректировка по мере получения новых геологических данных.
2. Представление фактического положения, а также результатов проектирования и планирования горных работ в виде 3D моделей технологических объектов.
3. Реализация инструментов автоматизации работы специалистов на основе использования моделей объектов горной технологии (ОГТ).
4. Многопользовательский, контролируемый доступ к моделям ОГТ на основе СУБД.

Модель ОГТ – отображение в электронном носителе технологических свойств, геометрических, природных и технических параметров объектов горного производства позволяющее производить автоматизированное решение задач проектирования, планирования и управления в горнодобывающей отрасли.

В этом плане цифровые модели ОГТ, к которым относится природная и техногенная среда, вовлечённые в процесс добычи ПИ, являются удобным средством хранения информации о форме и содержании составных элементов геотехнологии. При этом следует отметить, что существуют разные подходы к формированию цифровых моделей и разнообразные варианты реализации на их основе ГГИС.

Ещё относительно недавно информационное пространство горного предприятия складывалось на основе бумажного документооборота. Его «жизнь» регламентировалась исторически сложившимися составом и структурой подразделений, обслуживающих основные производственные процессы. В последние десятилетия горные предприятия осуществляют внедрение компьютерных технологий практически во всех производственных службах. Эти процессы развиваются в основном по двум сценариям. При первом - внедряемые информационные технологии следуют сложившейся практике получения, обработки и хранения информации. Как правило, это собственные разработки на основе электронных таблиц, локальных БД, конструкторских редакторов САПР. При втором - внедряемая информационная технология имеет в своем составе все необходимые инструменты и обеспечивает целостную систему обмена данными и документооборота, но может потребовать модификации структуры отделов предприятия и связей между ними под себя.

Специфика горного производства заключается в том, что в подготовке информационного сопровождения (ИС) производственных процессов, из которых складывается добыча ПИ, должны быть использованы весьма разнородные модели и алгоритмы их обработки. В двух крайних случаях это приводит либо к использованию большого количества узкоспециализированных ПП и к необходимости иметь связующие программные компоненты, либо – к внедрению суперсистемы, охватывающей все информационные аспекты производственной жизни предприятия. В чистом виде эти варианты не встречаются, первый - в силу того, что даже изначально функционально ограниченные программы развиваются и расширяют сферы своего действия на смежные участки, второй - по причине крайней сложности проектирования, настройки и обслуживания такой системы. Чаще всего, ИС горных предприятий формируются как конгломерат различных по значимости программных средств, полностью или частично охватывающих процесс производства товарной продукции.

Интересной задачей в этом плане является определение степени «крупности» составных частей ИС и способы их взаимодействия друг с другом. Наиболее рациональной представляется следующая схема организации информационного пространства горного предприятия (рисунок 2.1). Каждый из блоков этой схемы является специализированной ИС, имеющей свою предметную область, специфические данные и алгоритмы их обработки. Несомненно, эти системы должны иметь средства стыковки для передачи данных, также должен существовать слой ПО, осуществляющий «склейку» разнородных компонентов ИС.

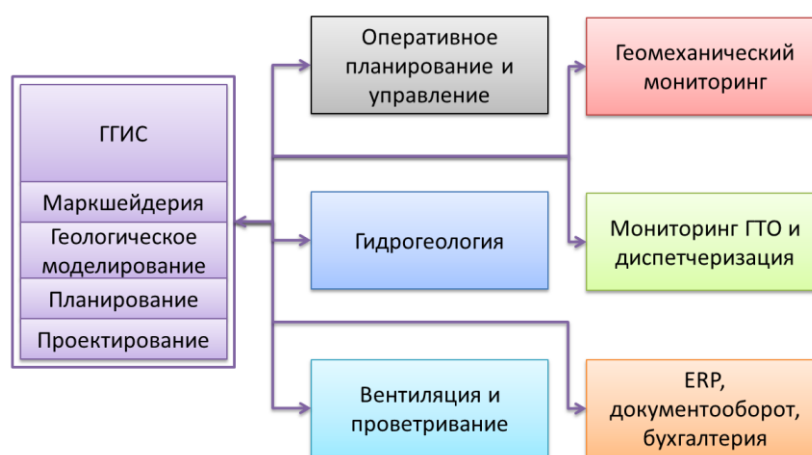


Рисунок 2.1 – Основные части ИС горного предприятия

2.1 Концептуальная модель ГГИС MINEFRAME

Состав программных средств и моделей ГГИС напрямую связан с особенностями разработки МПИ, которая представляет собой последовательность действий,

направленных на извлечение запасов минерального сырья и изменение естественного состояния массива ГП и окружающей среды. Любые действия, связанные, как с изучением месторождения, так и с его разработкой, предполагают получение и обработку информации, на основе которой формируется стратегия и тактика ведения горных работ, обеспечивающие эффективную добычу ПИ. Вся совокупность действий при подготовке и ведении горных работ на месторождении и связанное с ними информационное обеспечение схематично может быть представлено в виде моделей объектов, меняющихся под воздействием моделей технологических процессов (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Структурные связи системы информационного обеспечения горных работ

Эффективность отработки месторождения в значительной степени зависит от объема и качества исходных данных, используемых при проектировании, планировании и реализации горных работ. Поэтому одной из основных целей любой ГГИС, направленной на решение задач геотехнологии, является сбор и обработка данных об её объектах и процессах. Объем и направленность получаемой при обработке данных информации, степень ее систематизации, форма хранения, способы получения и доступность, а также методы представления и алгоритмы обработки, в конечном счете, определяют область применения, глубину и эффективность автоматизации.

В идеале, ГГИС должна представлять собой цифровые модели реальных объектов и средства моделирования процессов, направленных на формирование этих объектов. В этом случае принимаемое технологическое решение, особенно в области проектирования и планирования горных работ, будет, как минимум, смоделировано, а в случае использования алгоритмов оптимизации будет получено лучшее, по принятому критерию, решение.

ГГИС, позволяющая в полной мере моделировать и оптимизировать все процессы создания и изменения объектов горной технологии, может называться комплексной. Важность комплексного решения горно-геологических задач связана с необходимостью создания сквозной технологии автоматизации инженерного обеспечения горных работ, отсутствие в которой хотя бы одного важного элемента приводит к снижению общей эффективности всей технологической цепочки. При всем многообразии ПП [152], сегодня реально не существует систем, полностью соответствующих признаку комплексных. Объясняется это сложностью и многообразием вариантов и схем отработки месторождений, различием горно-геологических, природно-климатических и социально-экономических условий их эксплуатации, что сильно осложняет задачу создания программных средств, легко адаптируемых к широкому диапазону возможных вариантов моделирования геотехнологии. Исходя из этого, правильнее было бы к числу комплексных относить системы, обладающие потенциалом для превращения в ПП данного класса. Наряду с перечнем объектов и процессов, подлежащих моделированию, существует еще одно требование, которому должна удовлетворять система, нацеленная на комплексное решение задач геотехнологии. Это требование предполагает работу с 3D моделями объектов в режиме коллективного доступа к удаленным БД в ЛВС предприятия или глобальной сети (облачные технологии), что создает условия для адекватного моделирования горно-геологической обстановки и формирования единого информационного пространства горного предприятия.

Следует отметить, что на выбор концептуального подхода к формированию ныне известных зарубежных ГГИС [183, 184, 185, 186, 187, 188] сильное влияние оказали три фактора:

1. Дата начала работ по созданию ГГИС, что, принимая во внимание быстрое развитие средств разработки программ, во многом предопределило структуру создаваемых систем и методы реализации её функционала и основные архитектурные решения характерные для тех лет.

2. Прикладная нацеленность разработчиков ГГИС на решение определённого круга задач на первоначальном этапе создания системы: например, развитие инструментов

моделирования геологической среды и оценки запасов – DATAMINE, MICROMINE; автоматизация решения задач разработки угольных месторождений – MINESCAPE.

3. Ориентация на использование существующих графических платформ, обеспечивающих работу с 3D изображением в принятом для этой платформы формате данных. В качестве такой платформы наибольшей популярностью пользовались ГИС и CAD-приложения [188].

Способы формирования геоинформационной среды определяются разнообразием ее составных элементов:

1. **Сетевая инфраструктура.** На сегодня существует сложившийся рынок программных и технических средств, обеспечивающих её формирование при относительно невысокой цене. При этом создаваемая сетевая инфраструктура используется не только с целью формирования единого геоинформационного пространства предприятия, но также для обеспечения работы его кадровых, экономических, технических и др. служб.

2. **СУБД.** Практически все существующие сегодня промышленные СУБД отвечают требованиям горных предприятий. Выбор СУБД зачастую определяется выбором программных средств, в которых реализована работа с определенным списком СУБД. Основными критическими требованиями к сетевой инфраструктуре и СУБД являются надежность, а также скорость обработки запросов и передачи данных.

3. **ПП**, формирующие части ГГИС и созданные на их основе автоматизированные рабочие места геологов, маркшейдеров, технологов, специалистов вспомогательных и мониторинговых служб (например: вентиляции, управления транспортов, прогноза горных ударов). В настоящее время горным предприятиям и проектным организациям предлагается не менее десятка крупных программных комплексов и сотни специализированных программ, обеспечивающих решение практически всего спектра встречающихся в горной практике задач.

Система MINEFRAME [189, 190] разрабатывается с 1997 г. К этому времени в проектных организациях и на горнодобывающих предприятиях России стали массово появляться персональные компьютеры, а вместе с ними и зарубежные ГГИС. Поэтому, началу работ по созданию системы MINEFRAME предшествовал анализ уже существующего ПО, который позволил сформулировать целевую направленность создаваемого продукта – реализация алгоритмов комплексного решения геологических, маркшейдерских и технологических задач для подземного и открытого способов разработки месторождений твёрдых ПИ на основе учёта технологических и экономических особенностей функционирования российских горнодобывающих

предприятий. Это, в свою очередь, привело к формированию концептуального подхода к созданию ГГИС, который включал в себя следующие положения:

1. Структура цифровой модели объекта горной технологии должна быть универсальной и обеспечивать хранение в связанном виде всей информации о пространственных и семантических свойствах объекта.

2. Графическая платформа ГГИС должна обладать многооконным режимом, обеспечивающим одновременную работу и визуализацию объектов в разных видовых представлениях, проекциях и разрезах.

3. Функционал ГГИС должен обладать системными и рабочими инструментами, обеспечивающими формирование автоматизированных рабочих мест. Структура ГГИС должна обеспечивать развитие функционала и реализацию его возможностей с минимальной модификацией ядра системы.

4. Способ хранения и обработки цифровых моделей в БД должен обеспечивать многопользовательский режим работы и масштабирование ГГИС при обеспечении персонализированного контролируемого доступа к БД.

5. ГГИС должна обладать встроенными средствами формирования отчетной текстовой, табличной и горной графической документации, тесно интегрированными с моделирующей средой и моделируемыми объектами.

6. Вектор развития системы должен быть связан с созданием инструментов моделирования технологических процессов и формирования на их основе экономико-математических моделей вариантов разработки МПИ.

7. Состав и функционал ГГИС должен обеспечивать формирование компьютерной технологии инженерного обеспечения горных работ применительно к условиям конкретного горнодобывающего предприятия.

Требования к создаваемой ГГИС были сформулированы следующим образом:

- Удовлетворение основных требований специалистов горного профиля по функционалу в области геологического моделирования, решения маркшейдерских задач, проектирования и планирования горных работ;
- Реализация естественной и простой для понимания и визуализации структуры данных;
- Обеспечение готовности структур представления данных к изменениям семантической информации и технических условий хранения данных [191];
- Обеспечение высокой эффективности обработки данных (скорость выполнения алгоритмов и потребляемая память);

- Реализация простых и интуитивно понятных пользовательских интерфейсов для 3D геологического и горного моделирования.

Исходя из структуры, представленной на рисунке 2.2, наиболее логичной, с точки зрения построения ГГИС, является последовательность, при которой сначала создаются средства моделирования геологических и технологических объектов, а затем алгоритмы и средства информационного обеспечения, моделирования и автоматизации технологических процессов. При создании ГГИС MINEFRAME была реализована именно такая последовательность [192, 193].

Разработка сложной программной системы, к которой можно отнести и ГГИС MINEFRAME, невозможна без формирования архитектуры, от логики построения которой во многом будут зависеть трудозатраты на разработку и качество ПП. Изменения в архитектуре сопряжены со значительными модификациями кода ПП, поэтому при разработке ГГИС целесообразно использовать модульный принцип формирования её архитектуры. В соответствии с этим принципом необходимо сформировать набор функциональных блоков и выстроить необходимые логические связи между ними, что позволяет упростить и упорядочить дальнейшее развитие ГГИС. Такой подход позволяет получить следующие преимущества:

1. Повышается надёжность ГГИС в целом и упрощается поиск и устранение ошибок, т.к. в чёткой структуре легче выделить функциональный блок, в результате работы которого возникает ошибка, и устранить её.

2. Упрощается наращивание функциональных возможностей ГГИС, т.к. определены правила и механизмы взаимодействия программных модулей, в соответствии с которыми и выполняется это наращивание.

3. С определением интерфейсов взаимодействия модулей появляется возможность оптимизации функционала конкретного модуля без необходимости изменения других частей ГГИС.

С другой стороны, концептуальную модель (КМ) ГГИС можно представить как совокупность следующих теоретико-множественных отношений ее компонентов, составляющую следующий набор множеств:

$$K_{ггис} = \{GG, M, DB, O, P\} \quad (2.1)$$

Ее элементами являются:

GG – цель создания ГГИС – наиболее эффективное решение множества задач (подцелей) проектирования, планирования и сопровождения горных работ;

M – множество методических материалов, инструкций;

DB – множество баз данных, включает БД геологического опробования, объектов горной технологии и горно-транспортного оборудования;

O – множество моделей объектов горной технологии;

P – множество приложений и программных компонентов;

Модели объектов горной технологии включают:

$$O = \{ MT, M, Attr \} \quad (2.2)$$

MT – множество типов моделей ОГТ;

M – способы моделирования;

Attr – множество атрибутов моделей ОГТ.

Более подробно модели объектов горной технологии и способы моделирования будут представлены в 4-й главе.

Множество программных компонентов и приложений реализуют целевую направленность ГГИС – решение задач проектирования, планирования и сопровождения горных работ и содержат основной функционал бизнес-логики предметной области:

$$P = \{ Fn, A, B, IE, IT, Ne, W, C, LA, AX \} \quad (2.3)$$

Здесь:

Fn – множество вычислительных процедур и функций;

A – множество алгоритмов обработки данных;

B – множество инструментов решения прикладных задач;

IE – множество средств импорта и экспорта данных;

IT – множество интерфейсных средств пользователя;

Ne – множество сетевых средств взаимодействия приложений и БД;

W – множество вариантов визуализации ОГТ;

C – классификатор объектов горно-графической документации;

LA – множество вариантов локализации ПО;

AX – множество средств хранения пользовательских настроек.

Используем функционально-целевой подход (ФЦП) для создания концептуальной модели предметной области ГГИС. Его суть заключается в формировании многоуровневых иерархических древовидных структур как способа структурно-алгоритмического формирования системы. Этот подход был разработан в восьмидесятых годах для решения проблем управления сложными распределенными объектами [240].

Основная идея функционально-целевого подхода – это решение проблем посредством формирования системы целей. Решение поставленной задачи означает достижение соответствующей цели. ФЦП служит для структурного синтеза систем, составные части которых, их функции, обеспечивают решение задач предметной области. Концептуальная модель синтезируется в форме древовидной системы целей. Иерархичность такой структуры необходима для ее описания, но также является инструментом структурно-алгоритмического проектирования системы, который обеспечивает учет особенностей структуры исследуемой предметной области. «Для обеспечения таких возможностей модель функций системы имеет структуру, аналогичную структуре модели целевой предметной области. А модель функций определяет структуру синтезируемой системы. Модели, разработанные с помощью функционально-целевого подхода, основаны на двухоперационных алгебрах целей и функций. Это означает, что в иерархической системе целей любая цель достигается последовательно-параллельными композициями подцелей нижележащего уровня. То есть для достижения цели нужно обеспечить достижение подцелей последовательно друг за другом и/или одновременно (параллельно). Необходимость ограничения такими композициями обусловлена тем, что в функционально-целевом подходе в декомпозиции действий отражена декомпозиция целей (исходная декомпозиция), а естественный путь реализации цели — это последовательное и параллельное (совместное) достижение подцелей» [240]. Т.е. ФЦП определяет соответствие между целями и функциями различных уровней КМ: целям каждого уровня иерархии соответствует функция, обеспечивающая их достижение. В свою очередь, эти функции являются целями, достигаемыми на следующем уровне иерархии.

Согласно теореме о покрытии [240] система в целом должна строиться из таких подсистем, которые обеспечивают покрытие соответствующих подзадач основной целевой задачи GG системы С. В случае ГГИС это обуславливает состав программных средств обеспечивающих решение задач связанных с автоматизацией процессов геологического моделирования, проектирования, планирования и сопровождения горных работ.

$$C = Cg \cup Cs \cup Cu \cup Co \quad (2.4)$$

где

Cg – подсистема геологии;

Cs – подсистема маркшейдерии;

Cu, Co – подсистемы подземной и открытой геотехнологии.

При декомпозиции глобальной цели ГГИС – получение наилучших, наиболее эффективных решений по разработке ТПИ, получаем множество подцелей (GG_1) для

решения целевых задач соответствующих подсистем. Декомпозиция проводится таким, образом, чтобы множество подцелей не пересекались:

$$GG = \bigcup_i GG_i \quad () \quad (2.5)$$

$$GG_i \cap GG_j = \begin{cases} GG_i, & \text{если } i = j, \\ \emptyset, & \text{если } i \neq j. \end{cases} \quad (2.6)$$

Каждой подцели должна соответствовать подсистема C_i , которая будет включать совокупность действий D_i покрывающую подцель GG_i . Таким образом, происходит декомпозиция первого уровня.

На следующем уровне декомпозиции некоторая подцель GG_i может быть представлена как множество подцелей следующего уровня иерархии, т.е.

$$GG_i = \bigcup_j GG_{ij}, j = \overline{1, N_i} \quad (2.7)$$

где

N_i – количество подцелей цели GG_i

Таким образом, множество действий D_i покрывает совокупность целей GG_i тогда, когда действия D_{ij} подсистем C_{ij} покрывают соответствующие подцели GG_i для каждого j , и так далее. Структура и степень декомпозиции зависит от степени примитивных (с точки зрения функционала ГГИС) целей. С одной стороны такие примитивы GG_{ij} должны иметь значимую для предметной области смысловую нагрузку, с другой – набор покрывающих действий D_{ij} .

В структуре ГГИС MINEFRAME можно выделить несколько значимых уровней ее иерархии. Им соответствуют цели и функции, обеспечивающие решение соответствующих задач на этих уровнях, входные и выходные данные Da .

Начальным является уровень программных модулей MINEFRAME:

$$P_1 = \{Pm, Psys, Pa\} \quad (2.8)$$

где

Pm - основные программы:

$Pm = (GEOTOOLS, GEOTECH-3D, MINEGEAR, GEOUSERS);$

$Psys$ – программные средства операционной системы;

Pa – дополнительные программы:

$Pa = \{Pdb, Pnet, Paux\}$

Pdb – множество программных средств для работы с БД;

Pnet - программные средства для сетевого взаимодействия;

Paux – множество вспомогательных программных средств.

Следующим является уровень программных инструментов прикладных задач геотехнологии:

$$P_2 = \{Pg, P_{sr}, Pu, Po, P_{mg}, P_{io}, P_{gr}\} \quad (2.9)$$

где

Pg – множество программных инструментов геологии;

Psr – множество программных инструментов маркшейдерии;

Pu, Po – множество программных инструментов решения технологических задач открытых и подземных горных работ;

Pmg – средства управления данными;

Pio – инструменты ввода/вывода данных, в т.ч. импорта/экспорта;

Pgr – средства графического вывода, в т.ч. подготовки горно-графической документации.

Еще более низким является уровень алгоритмов и процедур моделирования объектов горной технологии:

$$P_3 = \{P_{vec}, P_{tr}, P_{bm}, P_{msh}, P_{int}, P_{clc}\} \quad (2.10)$$

где

Pvec – множество процедур векторного моделирования;

Ptr – множество процедур триангуляционного моделирования;

Pbm – множество процедур блочного моделирования;

Pmsh – множество процедур сеточного моделирования;

Pint – множество процедур методов интерполяции;

Pclc – множество процедур расчета натуральных показателей моделей.

Наиболее низким уровнем является уровень вычислительных операций составляющих основу математического обеспечения ГГИС:

$$P_4 = \{P_{va}, P_{mst}, P_{la}, P_{cg}, P_{cgr}, P_{or}, P_{mtx}\} \quad (2.11)$$

где

Pva – операции векторной алгебры;

Pmst – методы математической статистики;

Pla – методы линейной алгебры;

Pcg – методы вычислительной геометрии;

Pcgr – методы компьютерной графики;

Рог - математические методы исследования операций;

Pmtx – операции над матрицами.

Нет необходимости проводить декомпозицию далее и рассматривать более низкие уровни иерархии, которые включают в себя элементарные вычислительные и логические операции, не являющиеся специфическими для построения ГГИС.

Для подцелей каждого уровня иерархии P_j присущи наборы покрывающих действий D_j^i , которые являются объединением этих множеств:

$$D_j = \bigcup_i D_j^i, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \quad (2.12)$$

Здесь m – уровень декомпозиции, n – число подцелей заданного уровня иерархии концептуальной модели.

Можно определить набор действий концептуальной модели, в виде объединения множеств D_j . Каждому действию соответствует подцель, для покрытия которой оно реализовано. Таким образом, формируется подмножество R_p множества всех отношений концептуальной модели R , которое состоит из пар (p_i, d_j) , где p_i – подцель, а d_j действие из набора действий концептуальной модели.

$$R_p = \{(p_i, d_j), p_i \in P_i, d_j \in D_j, i = \overline{1, |P|}, j = \overline{1, n}\} \quad (2.13)$$

Пары подцель-действие формируют подмножество R_w множества отношений концептуальной модели R , элементы которого $\{rw_j\}$ задают наличие функциональной зависимости для действий:

$$rw_j = \begin{cases} (d_j, p_i), & \text{если действие } d_j \text{ зависит от подцели } p_i; \\ (d_j, d_i), & \text{если действие } d_j \text{ зависит от действия } d_i. \end{cases} \quad (2.14)$$

Таким образом, задается концептуальная модель ГГИС объединяющая программные средства, алгоритмы, процедуры и функции обработки данных и моделирования, она также включает базы данных и модели ОГТ, методики их создания, хранения и редактирования. Решение некоторой технологической задачи Tt является совокупностью решений связанных подзадач $Tt \subset GG$, при этом набор исходных данных IN преобразуется в набор выходных данных OUT .

$$IN_i \subseteq Tt_i \times P(Da) \quad (2.15)$$

$$OUT_i \subseteq Tt_i \times P(Da) \quad (2.16)$$

где

IN – отношение задача - множество входных данных Da ;

OUT – отношение задача - множество выходных данных Da, являющимися входными данными для вышележащего уровня иерархии структуры ГГИС:

$$IN_i = \bigcup OUT_{i+1}, \quad (2.17)$$

$$Da_{OUT}^i = \bigcup_{tt_k \in Tt_i} OUT(tt_k), \quad (2.18)$$

$$Da_{IN}^{i-1} = \bigcup_{tt_l \in Tt_{i-1}} IN(tt_l), \quad (2.19)$$

Т.е. получено соответствие входных и выходных данных для смежных уровней иерархии подзадач концептуальной модели. Типы данных, их состав, количество и формат предопределены особенностями алгоритмов и процедур, реализующих каждую отдельную подзадачу.

В последующих главах будут представлены элементы концептуальной модели: базы данных и модели, алгоритмы моделирования, автоматизированные прикладные инструменты, методические подходы использования ГГИС для решения задач горного производства.

2.2 Архитектурные особенности реализации ГГИС MINEFRAME

ГГИС MINEFRAME создавалась [189, 194] и развивается в соответствии с модульным принципом. Исходя из этих соображений, система разделена на несколько отдельных приложений входящих в первый уровень иерархии КМ. Они применяются в определенных областях, используют БД и модели, имеют необходимый функционал для

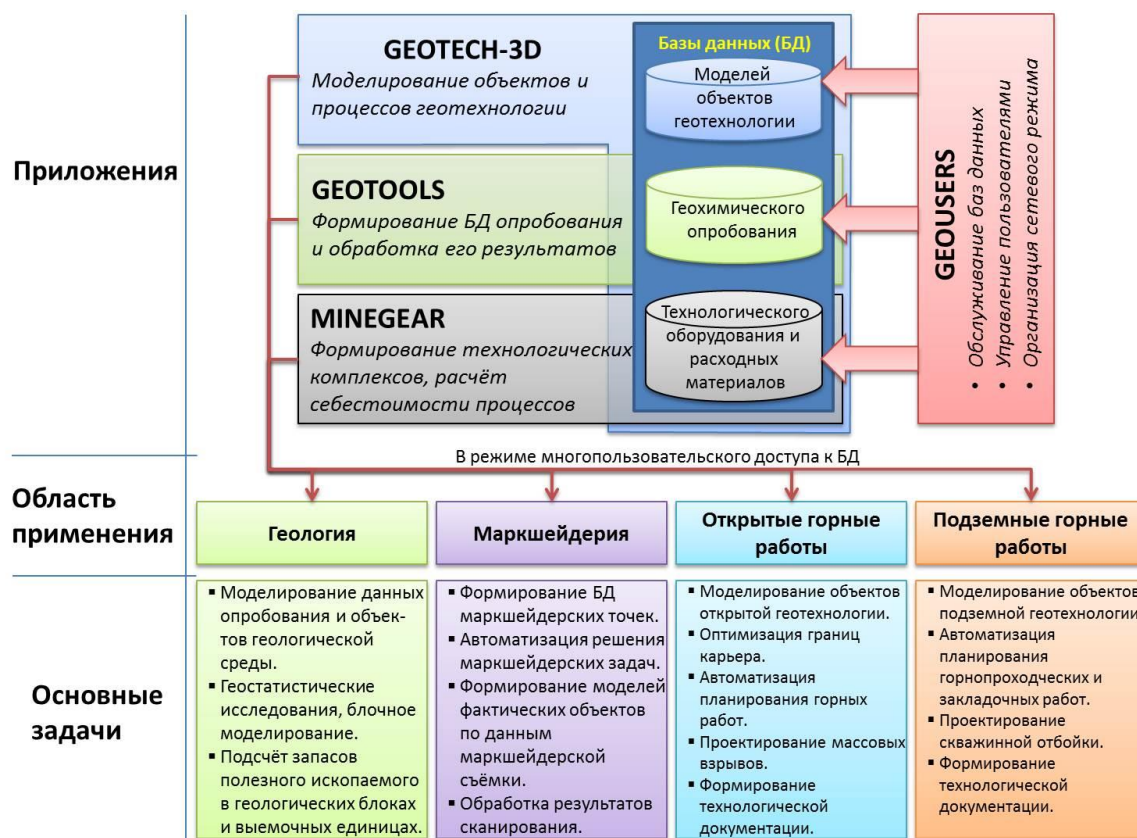


Рисунок 2.2 – Структура ГГИС MINEFRAME

решения прикладных задач (рисунок 2.2):

- **Многофункциональный графический редактор ОГТ – GEOTECH-3D.** Обеспечивает функционирование моделирующей среды, является графической платформой для решения горно-геологических задач (геологическое моделирование, проектирование и планирование горных работ, маркшейдерские расчеты, визуализация результатов, пополнение и редактирование моделей объектов горной технологии).

- **Редактор БД ГО – GEOTOOLS.** Пополнение и редактирование данных геологического опробования, выделение кондиционных и сортовых интервалов.

- **Редактор БД ГТО – MINEGEAR.** Пополнение и редактирование данных о горном оборудовании, расходных материалах и горюче-смазочных материалах (ГСМ). Подбор оборудования и расходных материалов по технологическим параметрам. Формирование технологических комплексов, используемых в процессе планирования горных работ

- **Программа обслуживания БД – GEOUSERS.** Администрирование БД, архивирование, резервное копирование, восстановление, изменение структуры, назначение прав пользователей и контроль их действий.

Разделение системы на несколько приложений выполнено с учётом того, что задачи, решаемые каждым из них, выполняются, как правило, различными специалистами, и не пересекаются во времени. При этом графическая среда GEOTECH-3D предназначена для реализации алгоритмов решения геологических, маркшейдерских и технологических задач. В основе архитектуры GEOTECH-3D (рисунок 2.3) лежат несколько функциональных блоков, решающих специализированный набор задач.



Рисунок 2.3 – Схема взаимодействия модулей графического редактора GEOTECH-3D

Ключевым элементом системы являются классы объектов, с помощью которых осуществляется моделирование объектов геотехнологии. Именно они содержат данные и функционал, необходимые для моделирования предметной области (например, модели таких объектов, как выработки, карьеры, рудные тела, ВЕ, взрывные блоки, маркшейдерские точки, геологоразведочные скважины). Остальные части системы либо используют эти классы, либо предоставляют им свой функционал. Все классы объектов основаны на геоинформационном подходе, т.е. они реализуют геопространственную привязку ОГТ.

Информация о предметной области представлена в виде моделей ОГТ. Для их хранения используется SQL-сервер и клиент-серверная технология, т.к. необходимо, чтобы результаты моделирования использовались совместно специалистами различных служб предприятия. БД может подключаться как в локальном (находясь на клиентской машине), так и в сетевом (находясь на сервере) режимах. В любом из этих режимов СУБД обеспечивает целостность данных.

Модели ОГТ, как правило, создаются с помощью различных инструментальных средств ГГИС, предназначенных для решения различных прикладных задач. С помощью этих инструментов решаются такие задачи, как векторное, триангуляционное и блочное моделирование поверхностей и объектов геологической среды, выполнение специализированных расчётов на основе сформированных моделей, дополнительные построения, создание моделей объектов на основе расчётов – это уровень алгоритмов и процедур моделирования объектов иерархии КМ. Маркшейдерские расчеты, модули сопровождения горных работ (проектирование БВР, обеспечения закладочных работ), проектирования и планирования горных работ, и множество других функций относятся ко второму уровню иерархии КМ.

Помимо создания моделей с помощью инструментальных средств GEOGESH-3D, для ввода информации в систему из других источников предусмотрен модуль импорта данных, с помощью которого модели ОГТ создаются на основе информации из других программных систем. Для обмена данными с ними имеется модуль экспорта данных, с помощью которого информация в виде моделей объектов или чертежей может быть передана в другие программы, например, в AutoCAD. Такой подход обеспечивает хранение всей информации ГГИС с помощью СУБД, а файлы используются только для обмена данными с другими приложениями.

Для отображения результатов моделирования разработана подсистема визуализации. Она включает в себя модуль визуализации моделей в 3D пространстве с возможностью интерактивного управления отображением (поворот, перемещение, изменение масштаба сцены), модуль отображения информации в 2D - на планах и разрезах, модуль подготовки листов печати с отображением информации в стандарте горной графики. Для подготовки информации к выводу на печать средствами подсистемы визуализации отображаются модели ОГТ совместно с правилами классификатора, которые назначены на соответствующие элементы моделей. Визуализация моделей осуществляется с помощью технологий DirectX и Windows GDI.

Для перехода от моделей к графической документации в стандарте горной графики в MINEFRAME имеется *Классификатор*, с помощью которого в ГГИС вносятся правила о

способах отображения в 3D и на плоскости линейных, точечных и площадных объектов в различных масштабах. Классификатор содержит редакторы (легенды, условных знаков, типов линий и штриховок, штампов и рамок), обеспечивающие формирование чертежей и сохранение информации о правилах отображения моделей объектов.

Для подготовки и вывода графической информации на различные устройства печати в MINEFRAME разработана подсистема печати. Данная подсистема использует информацию из моделей ОГТ совместно с правилами их отображения, определяемыми *Классификатором*. Для формирования готовых чертежей в требуемом виде с наименьшими трудозатратами подготовка горной графики выполняется с применением шаблонов, видовых экранов, штампов и других элементов оформления. Применение шаблонов, включающих в себя настройки расположения видовых экранов и отображаемой в них информации, использование набора штампов и дополнительных табличных данных позволяют оперативно формировать графическую документацию в соответствии со стандартами горной графики и на основе результатов моделирования.

Функционирование ГГИС сопряжено с выполнением различных геометрических и алгебраических расчётов, для решения которых разработан математический модуль. Модуль содержит набор функций для геометрических расчётов в декартовой и полярной системах координат, матричных преобразований и вычислений, а также алгоритмическую основу процедур триангуляции, построения БМ и множество других – это уровень вычислительных операций иерархии КМ.

Управление режимами отображения ОГТ, изменение их свойств и связей с другими объектами осуществляется с помощью *Менеджера* объектов. *Менеджер* объектов представляет собой древовидную структуру, группирующую объекты по технологическим и функциональным признакам. Он содержит информацию обо всех объектах в открытом проекте, и включает в себя интерфейс для просмотра свойств каждого объекта и их модификации. Элементы пользовательского интерфейса *Менеджера* управляют визуализацией объектов, включая назначение правил отображения, согласно *Классификатору*.

В качестве достаточно простого примера взаимодействия модулей системы рассмотрим работу инструмента проектирования массовых взрывов при ведении ОГР [195]. Взрывной блок представляет собой участок уступа карьера с размещёнными по определённым правилам взрывными скважинами и схемой коммутации зарядов в скважинах. Для его моделирования в системе реализованы соответствующие объекты. При формировании модели взрывного блока инструмент проектирования БВР использует функционал геометрических расчётов и алгоритм триангуляции из модуля

математических вычислений и создаёт объект соответствующего класса для моделирования. Таким образом, создаётся модель взрывного блока в виде самостоятельного объекта, построенного на основании исходных данных участка модели карьера. Сформированный блок отображается с применением функционала визуализатора. Далее средствами инструмента проектирования БВР выполняется расчёт положения взрывных скважин на блоке и определение параметров их заряжения, при этом используются соответствующие математические расчёты и на их основе создаются объекты соответствующих классов (скважины и элементы конструкции заряда). Результаты в виде моделей скважин и конструкций зарядов отображаются средствами визуализатора и могут быть изменены. Аналогичным является и формирование схемы коммутации зарядов в скважинах. При выводе текстовой документации используется функционал модуля экспорта, с помощью которого результаты моделирования передаются в MS Excel в виде паспорта взрывного блока. Вывод графической информации (проект бурения скважин, характерные разрезы по блоку, зарядная карта и схема коммутации) может быть осуществлён также через функционал модуля экспорта в виде чертежа в формате DXF, либо выполнен с использованием функционала подсистемы печати совместно с данными классификатора.

Подобным образом организовано функционирование и других инструментов. Оно основано на взаимодействии с соответствующими модулями системы для создания, обработки, представления и хранения информации, необходимой для автоматизации решения соответствующей задачи. При этом архитектура ГГИС позволяет в случае необходимости подключать новые модули, и тем самым наращивать функциональные возможности. Таким образом, использование модульного принципа формирования архитектуры ГГИС MINEFRAME создаёт предпосылки для её дальнейшего развития и сопровождения, как сложной программной системы.

2.3 Интерфейс графического редактора GEOTECH-3D

Интерфейс всех составных частей ГГИС MINEFRAME основан на стандарте оконного графического интерфейса WINDOWS программ и содержит такие стандартные элементы как: окна – диалоговые и рабочих областей, Главное и Контекстные меню, кнопки вызывающие инструменты или включающие различные режимы, поля ввода числовых и текстовых данных, радиокнопки, поля выбора списочных параметров, древовидные иерархические структуры, таблицы и пр. Наиболее развит и сложен графический интерфейс (рисунок 2.4) GEOTECH-3D, включает в себя следующие составные элементы:

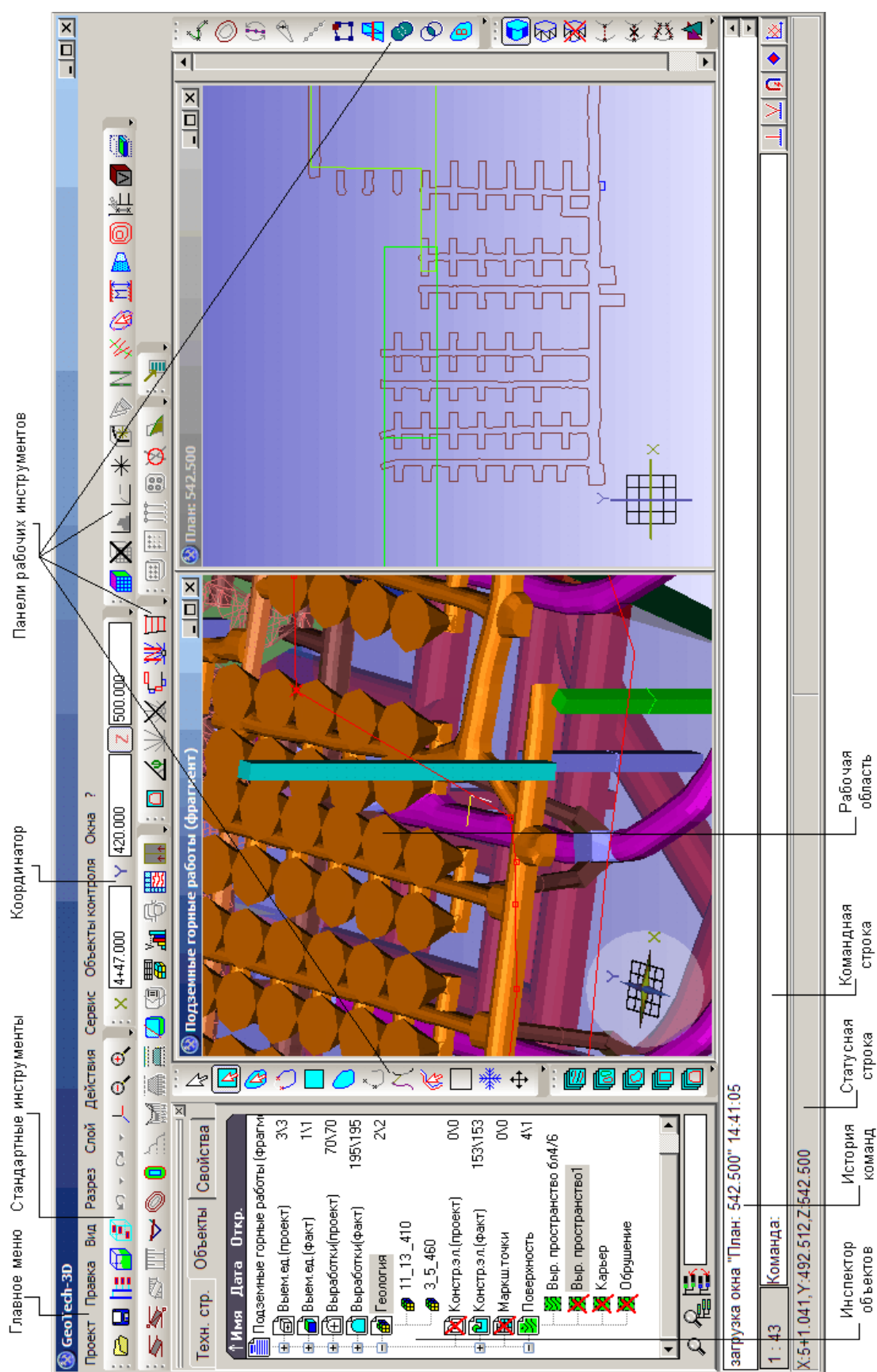


Рисунок 2.4 – Элементы интерфейса GEOTECH-3D

1. Главное меню, элементы которого дают доступ к основным функциям, таким как: управление проектами, разрезами, слоями, настройка панелей инструментов.

2. Панель системных инструментов, где расположены наиболее часто используемые инструменты.

3. Координатор – отображает координаты выделенного объекта, точки, слоя, разреза. Позволяет точно ввести требуемое значение по любой координате.

4. Панели рабочих инструментов. На этой панели размещаются группы рабочих инструментов для решения определенных задач. Группы рабочих инструментов могут быть сформированы пользователем с помощью пунктов основного меню Инструменты/Команды.

5. Основное 3D окно даёт объемное представление горно-геологических объектов, позволяет выбрать любой ракурс изображения с произвольной точки взгляда. Позволяет задавать видимую область проекта, отображает разрезы моделей объектов и позволяет открыть 2D окна для каждого разреза.

6. 2D окна – отображают разрезы объектов, шаблоны чертежей и листы печати. Если разрез построен по исходному сечению, то возможно редактирование контуров объектов, все изменения отображаются и в основном 3D окне. В каждом 2D окне может быть отображена и координатная сетка. Режим отображения включается в контекстном меню. Сетка отображается в соответствии с параметрами, заданными при ее создании.

7. Панель состояния служит для отображения такой информации, как масштаб изображения, подсказки к инструментам, название выделенного объекта, название скважины, показатели проб и пр.

8. Диалоговые окна рабочих инструментов содержат элементы управления и ввода управляющих параметров. Такие окна могут быть модальными, т.е. не требующими взаимодействия пользователя со средой моделирования, и более сложными – не модальными, тогда пользователь во время работы с инструментом может указывать на объекты 3D и 2D окон для интерактивного управления работой алгоритмов.

Рассмотрим некоторые из этих элементов подробнее.

Координатор выполняет несколько функций:

1. Отображает координаты текущей точки, которые могут быть рудничными (принятая на предприятии система координат: разрезы, магистрали и т.п.) или геодезическими.

2. Изменяет координаты выбранного объекта или его выделенных точек. Сигнализирует об определенной ориентации в моделируемой области рабочей поверхности (РП).

3. При повороте моделируемой области ориентация РП осуществляется автоматически, при этом выбирается та из плоскостей XY, XZ, YZ, проекция которой на экран монитора максимальна.

РП является важным интерфейсным понятием, она определяет плоскость, в которой пользователь производит редактирование ОГТ. Введение этого элемента необходимо для того, чтобы у пользователя появилась возможность рисовать в 3D пространстве, имея в наличии двумерный экран дисплея и графический манипулятор (обычно – мышь), который также работает на плоскости. В двумерном окне РП, как правило, совпадает с плоскостью (разрез, плана), отображенной в окне. В 3D окне РП может располагаться произвольно, потому необходимы интерфейсные средства и правила задания РП. Исходя из правила «РП должна быть наиболее близка к плоскости экрана» РП автоматически меняет свою ориентацию по мере вращения сцены моделирования.

Рабочие инструменты реализованы через кнопки, расположенные на панелях рабочих инструментов, являются инструментами для создания моделей ОГТ и работы с ними в режиме решения задач горной технологии. Кнопки не привязаны жестко к панелям и могут быть расположены на любой из них или одновременно на нескольких. За счет этого достигается необходимая гибкость в настройке GEOTECH-3D для работы с различными горно-геологическими и горно-технологическими задачами. Все инструменты (кнопки) можно разбить на группы в зависимости от их функциональной направленности.

Рабочая область используется для размещения на ней одного основного (3D) окна с моделями объектов горной технологии и неограниченного числа дополнительных (2D) окон с планами и разрезами. Для работы с моделями объектов используются приведенные выше элементы управления графического интерфейса.

Для загрузки моделей объектов из БД и сохранения в ней, управления свойствами объектов и параметрами элементов используется **Инспектор объектов**, обеспечивающий:

1. Формирование «дерева» объектов, связанного с элементом «дерева» технологической структуры (рисунок 2.5). Выбор того или иного элемента приводит к накладыванию пространственного фильтра на таблицу моделей объектов в БД, что отражается на составе «дерева» объектов. Пространственный фильтр может быть задан не только путём выбора соответствующего элемента технологической структуры, но и интерактивно – путём создания в моделируемом пространстве произвольной прямоугольной области. Само «дерево» объектов может иметь произвольное количество уровней, что является удобным средством структурирования всего набора моделей.

2. Выборочную загрузку моделей объектов из БД и управления режимом их видимости (отображаются всегда или только на разрезах) в 3D моделируемом пространстве и на разрезах;

3. Задание свойств модели объекта (название, габариты, принадлежность к той или иной группе, характеристики текущего элемента, статистика и т.д.) и параметров элементов (цвет; степень прозрачности; форма отображения в виде векторной, каркасной или блочной конструкции).

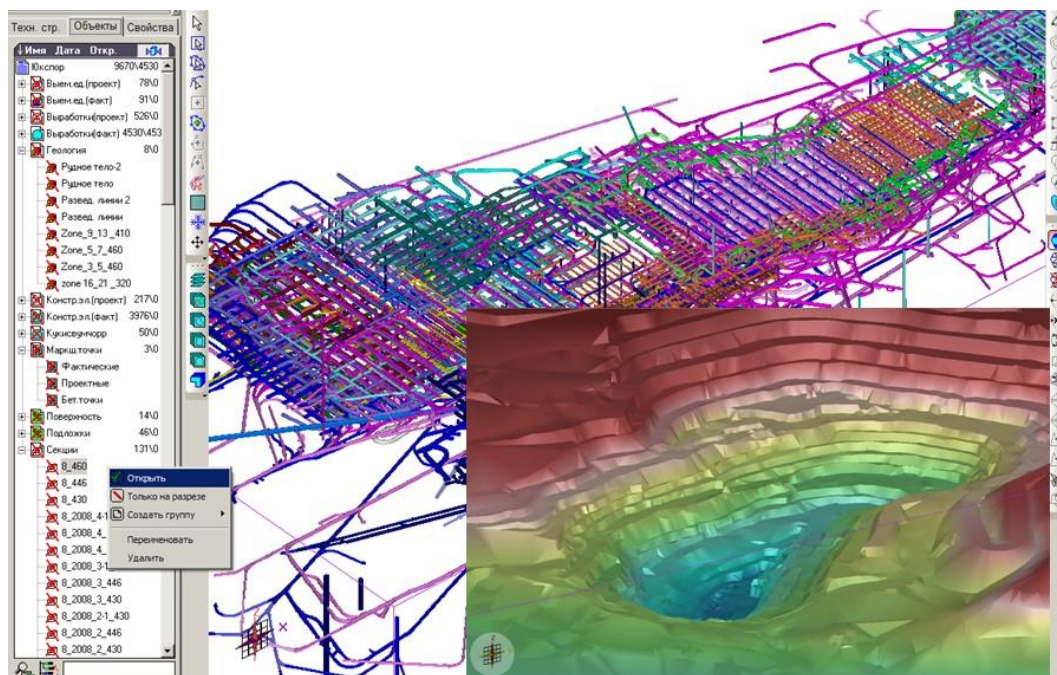


Рисунок 2.5 – Работа с моделями ОГТ в среде многооконного графического редактора GEOTECH-3D

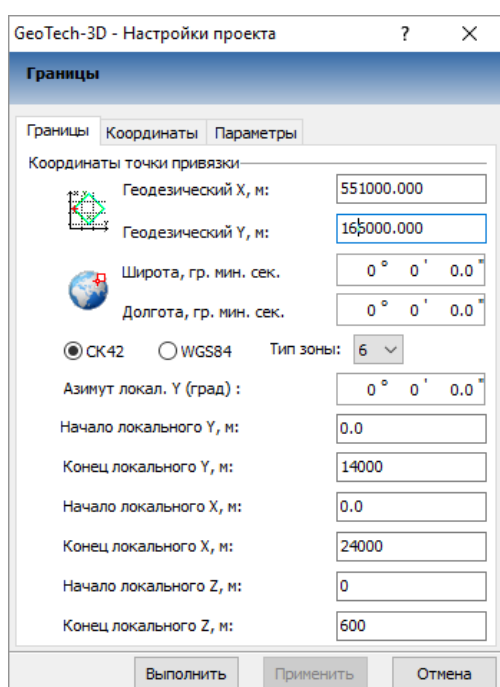


Рисунок 2.6 – Границы и координатная привязка проекта

Важным понятием ГГИС MINEFRAME является «Проект», он представляет собой совокупность ОГТ, ограниченных 3D прямоугольной областью пространства. Область имеет геодезическую и географическую привязки, что позволяет одновременно работать с рудничными (локальными, местными), и геодезическими (рисунок 2.6). Как правило, проект включает в себя месторождение, рудник, шахту, карьер или разрез, иногда, их группы.

Все модели объектов объединены в группы, количество и структура которых

зависит от масштабов месторождения и используемой системы разработки. Группы содержат модели объектов с похожими технологическими или природными свойствами. В проектах могут присутствовать следующие типы групп объектов:

- Геология – геологические тела, моделирующие рудные залежи, пласты, вмещающие породы, зоны с измененными свойствами, а также поверхности, моделирующие геологические нарушения;
- Поверхность – естественные и технологические поверхности, включая карьеры, отвалы, склады горной массы, обрушения;
- Выработки (факт) – пройденные подземные горные выработки;
- Выработки (проект) – проектные подземные горные выработки;
- ВЕ (факт) – фактические добычные блоки и секции для открытых и подземных горных работ;
- ВЕ (проект) – проектные добычные блоки и секции для открытых и подземных горных работ;
- Маркшейдерские точки – проектные и фактические точки маркшейдерского обоснования;
- Листы чертежа – чертежи горной графической документации;
- Разрезы – сохраненные разрезы;
- График работы оборудования – графики работы горного оборудования для ОГР.

Каждая из групп, в свою очередь, может содержать другие группы. Принадлежность группы к определенному типу используется при решении технологических задач и формировании горной графики.

В одной БД может находиться неограниченное число проектов. Вновь создаваемый проект может быть сформирован на основе существующего, заимствуя его параметры и структуру.

2.4 Функции графического редактора GEOTECH-3D

Многооконный графический редактор предназначен для визуализации 3D моделей ОГТ и решения на этой основе геологических, маркшейдерских и технологических задач. Для реализации этих функций GEOTECH-3D содержит инструментальные (программные) средства:

- создания и открытия проекта;
- управления моделями объектов, включая их загрузку из БД и сохранения в ней;

- визуализации моделей объектов;
- создания и изменения моделей объектов;
- экспорта графической информации в стандарте горной графики;
- настройки редактора на решение задач горной технологии.

Основным инструментальным средством управления моделями является Инспектор объектов, обеспечивающий реализацию следующих функций:

- Формирование *дерева объектов* с помощью технологической структуры *Менеджера объектов*. Разбиение всей моделируемой области месторождения на прямоугольные подобласти позволяет сформировать технологическую структуру проекта, где каждая подобласть является ее технологическим элементом. При этом каждая подобласть, в свою очередь, может включать в себя свои подобласти. Представление всей структуры проекта в виде *дерева технологической структуры* (рисунок 2.7) предоставляет форму выбора моделей объектов, так как выбор элемента дерева приводит к формированию списка объектов только из тех моделей, которые попали в область пространства, связанного с соответствующим элементом технологической структуры. Технически это реализуется путем наложения пространственного фильтра на соответствующие таблицы БД. Структура БД объектов горной технологии приведена в приложении 1.

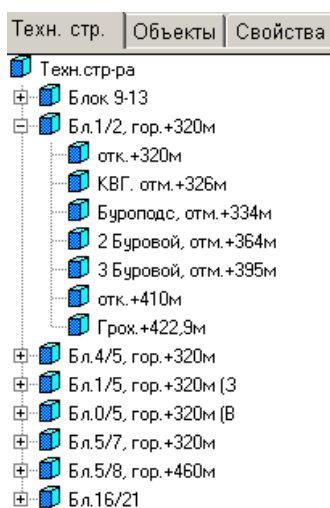


Рисунок 2.7 – Технологическая структура инспектора объектов

Прямоугольная область (как часть технологической структуры) может быть сформирована как параметрическим способом, так и интерактивно с помощью элементов графического интерфейса.

- Изменение статуса моделей объектов. *Дерево объектов* имеет многоуровневую иерархию, состоящую из групп и входящих в группы моделей (рисунок 2.8). Управление заключается в изменении состояния элементов *дерева*, связанных с группами или моделями объектов. При изменении состояния группы синхронно изменяются состояния элементов моделей, входящих в эту группу. Моделям можно задавать следующие состояния:

- «не загружена» - модель не загружена из БД (означает, что объект попал в область фильтрации, но данные по его модели не считаны из БД, а сама модель не создана);
- «загружена» - загружена из БД и отображается в 3D окне;
- «невидимая» - загружена из БД, но отображается только в виде контура рассечения модели в окне разреза.

- Перемещение моделей объектов из одной группы в другую. Модели объектов могут перемещаться из одной группы в другую, что позволяет менять структуру «дерева

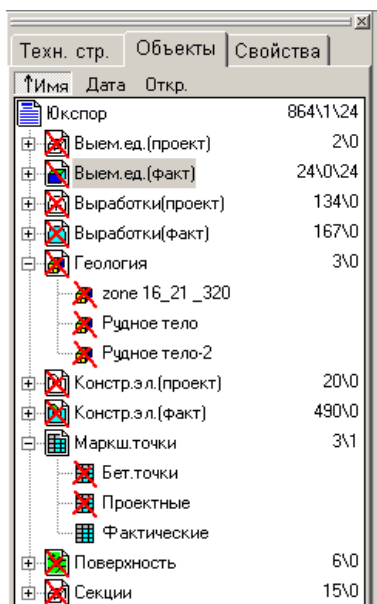


Рисунок 2.8 – Менеджер объектов

объектов». Операции по перемещению моделей используются также в том случае, когда необходимо изменить принадлежность объекта, например, переместить модель горной выработки из группы проектных в группу фактических объектов, что означает начало проходки выработки.

- Экспорт и импорт моделей объектов. Экспорт и импорт моделей необходим для обеспечения совместимости как с разными версиями БД MINEFRAME, так и с другим ПО. Для этого GEOTECH-3D содержит программные средства импорта моделей объектов из одной БД в другую. Инструментальные средства такого экспорта реализованы как специализированный инструмент и предполагают

одновременное подключение к GEOTECH-3D как БД, в которую осуществляется импорт модели, так и БД, из которой совершается экспорт.

Для обмена моделями объектов, территориально разделенных БД существуют средства экспорта и импорта, не требующие одновременного подключения двух БД. В этом случае формируется файл формата *.GTM, содержащий в упакованном виде всю информацию о модели объекта. Файл может быть передан другому пользователю по электронной почте или иным способом и добавлен в нужный проект. Так как координаты объекта имеют геодезическую привязку, отпадает проблема стыковки проектов, имеющих разное пространственное положение и размеры.

Для обмена цифровыми моделями с другим ПО, не входящими в состав MINEFRAME, используется экспорт и импорт файлов в стандарте *.DXF, и некоторых форматов других ГГИС, что обеспечивает совместимость практически с любыми известными ПП данного класса.

Пространственное 3D отображение моделей обеспечивает необходимый визуальный контроль над процессом создания и изменения объектов. Программные средства, реализованные в виде набора инструментов, позволяют производить с моделями объектов в рабочей области редактора GEOTECH-3D следующие манипуляции:

- Поворот и наклон моделируемой области пространства. Вращение осуществляется вокруг центра поворотной сферы. Сферу можно устанавливать в любой точке моделируемой области (рисунок 2.9).

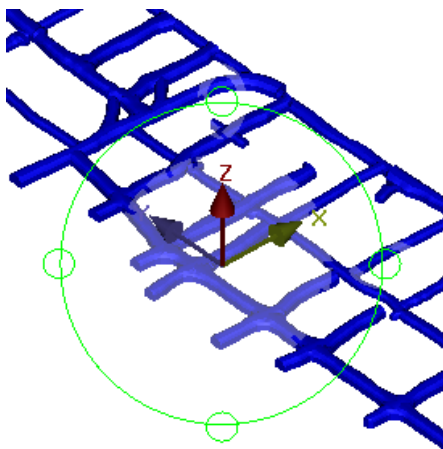


Рисунок 2.9 – Поворот и наклон моделируемой области

- Увеличение и уменьшение изображения, что имитирует приближение к объекту или удаление от него.

- Создание разрезов моделей объектов (рисунок 2.10).

Основным видом разреза является разрез плоскостью. Разрез этого типа может быть получен несколькими способами:

1. Формированием разреза с ориентацией, ортогональной осям рудничной системы координат моделируемой области. С использованием интерактивных средств плоскость разреза может перемещаться в моделируемом пространстве.

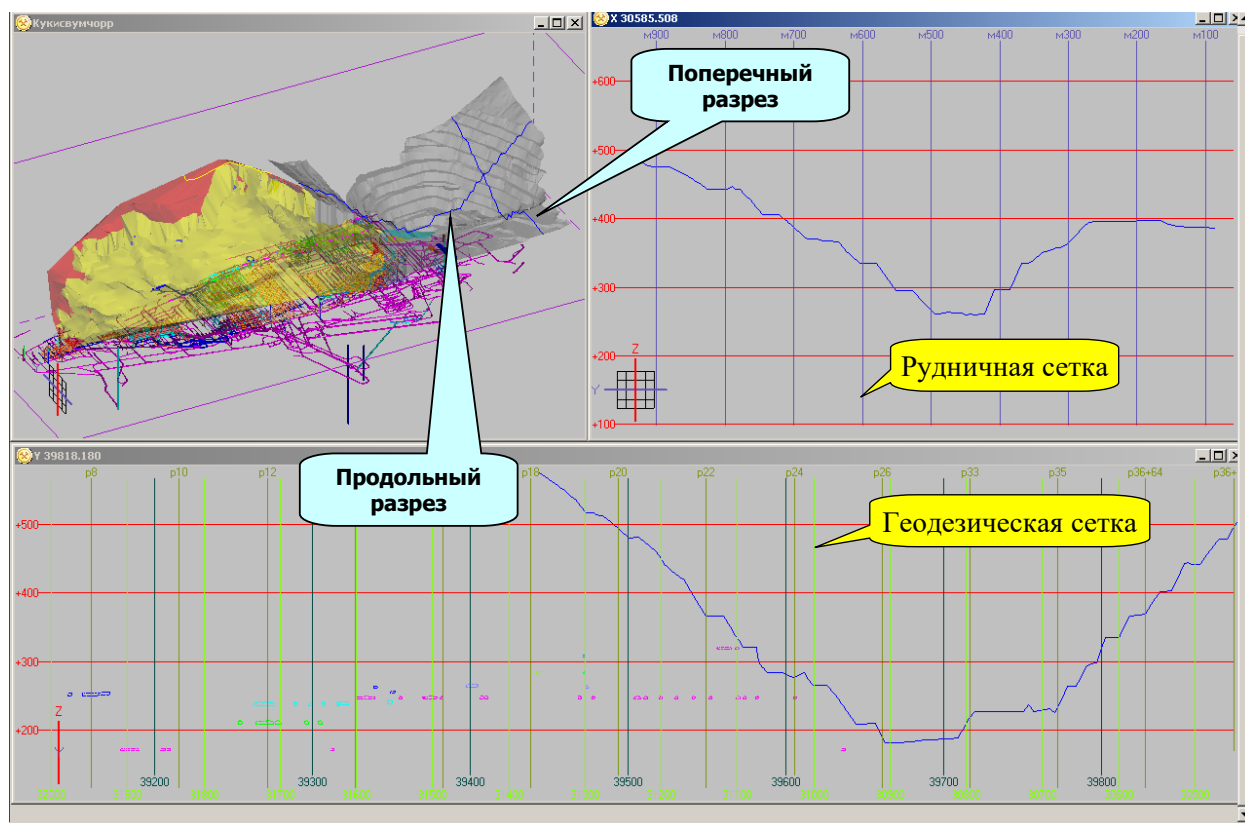


Рисунок 2.10 – Формирование разрезов различного типа с отображением на них контуров пересечения объектов и координатных сеток (рудничной и геодезической)

2. Формированием разреза произвольной ориентации. Разрез этого типа проходит через выбранную точку пространства. Необходимый угол наклона и поворота плоскости разреза может быть задан интерактивно с помощью «сферы вращения».

3. Формированием разреза по выбранному сечению модели. Так как модель данного типа содержит список сечений с параметрами плоскостей, то выбор соответствующего сечения не требует дополнительных интерактивных действий.

4. Формированием разреза по разведочным линиям. Открытию разреза по разведочным линиям предшествует процесс их создания. В пространстве разведочные линии моделируются вертикальной плоскостью, пересечение которой с горизонтальной плоскостью дает разведочную линию.

5. Разрез по двум или трем интерактивно заданным точкам в моделируемом пространстве.

Сформированные тем или иным способом разрезы могут быть отображены в отдельном окне рабочей области экрана. На разрез могут быть наложены рудничная и геодезические сетки, что облегчает процесс дальнейшей работы по редактированию моделей объектов и созданию горно-графической документации (ГГД).

Некоторой модификацией построения горизонтальных разрезов является получение полного и поуступного планов. В первом случае в окне разреза отображаются все контуры векторных моделей поверхностей, включая карьер, а во втором случае – верхние и нижние бровки уступов карьера, приуроченные к выбранному уступу.

Созданные любым из перечисленных способов разрезы могут быть помещены в список и сохранены. Сформированный таким образом список часто используемых разрезов позволяет ускорить процедуру их создания и открытия связанного с ними окна.

Другим видом разреза является разрез по профилю, представленному ломаной линией, т.е. набором участков плоскостей. Такой ломаной линией может быть линия, проходящая через устья разведочных скважин, точки оси дороги или выработки, любые другие точки моделируемого пространства. При открытии разреза по профилю может быть сформирована таблица расстояний, абсолютных и относительных высотных отметок, уклонов между точками профиля.

- Создание «страничных» и «видовых» закладок – окон. Открытые окна могут произвольным образом располагаться в рабочей области экрана, в том числе частично или полностью перекрывая друг друга. Для повышения удобства работы в многооконном режиме предусмотрен механизм формирования страничных закладок, каждая из которых связана с соответствующим окном. Другой возможностью работы с отображением в

границах окна является создание видовых закладок, представляющих собой сохраненный ракурс отображения моделируемой области пространства в конкретном окне.

- Перемещение изображения в рабочей области окна.
- Изменение размеров и местоположения «видимой области» моделируемого пространства. Операция может выполняться интерактивным или параметрическим способом. При изменении «видимой области» те модели объектов, которые выходят за ее границы, становятся невидимыми, что позволяет временно отключать ненужные в данный момент модели или их части. Работать с «видимой областью» можно в режиме каркасной и блочной боковой (отсекаемой плоскостями области) поверхности. В этом случае внутренняя область контура сечения модели соответственно отображается цветом каркасной модели или набором сечений блоков. Последнее бывает полезно при анализе внутреннего строения моделей рудных тел, где поверхности «видимой области» выполняют роль плоскостей сечений.

- Задание режимы отображения для объектов. В зависимости от типа модели для нее можно устанавливать различные режимы и варианты отображения:

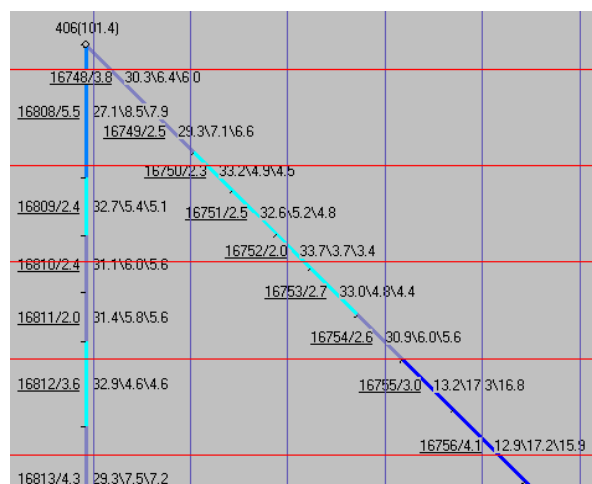


Рисунок 2.11 – Отображение проб на разрезе

1. Поверхности могут отображаться в виде векторных моделей, представленных контурами с наборами точек и отрезков. Рядом с точками могут выводиться высотные отметки и любая другая текстовая информация, привязанная к ним.

2. Поверхности могут отображаться в виде каркасных моделей: проволочных или твердотельных с различной степенью прозрачности.

3. Тела могут отображаться как в виде векторных и каркасных, так и в виде БМ, цвет элементарных блоков которых зависит от значения выбранного компонента или рассчитанной характеристики.

4. Объекты «геологической сети» (скважины и пробы) отображаются в виде набора моделей проб, цвет которых зависит от значения текущего содержания или характеристики пробы (рисунок 2.11). Дополнительно к этому с помощью «инспектора объектов» может быть включен режим отображения рядом с устьем скважины ее названия

и длины, а рядом с пробой – ее номера, длины, содержания всех компонент и значения всех характеристик.

5. Объекты «маркшейдерской сети» отображаются в виде соответствующих значков, рядом с которыми может быть выведен номер маркшейдерской точки (рисунок 2.12).

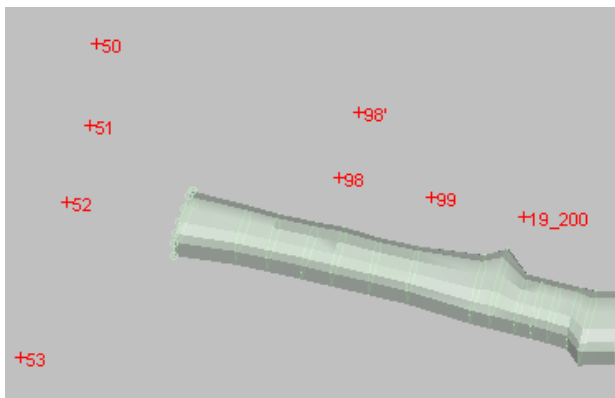


Рисунок 2.12 – Отображение маркшейдерских точек в 3D моделируемом пространстве

Создание и изменение моделей объектов может осуществляться как в интерактивном, так и параметрическом режиме. Любые действия по созданию и изменению объектов осуществляются с активными моделями, которые от остальных объектов отличаются цветом и формой точек. В состоянии активности модель автоматически переходит к

векторной форме отображения составляющих ее контуров. Принимая во внимание, что некоторые операции редактирования могут осуществляться сразу над несколькими моделями объектов, существует возможность перевода в активное состояние нескольких моделей одновременно.

При выборе модели объекта в статусной строке отображается основная информация о модели объекта: название модели, название текущего элемента. Если текущий элемент имеет каркасную модель, то выводится информация об ее объеме, а если модель является ВЕ, для которой рассчитаны показатели содержания полезных компонентов, то дополнительно - их значения.

Для работы с ОГТ и их частями принят следующий подход, унифицирующий правила обращения с ними. Все операции De проводятся с выбранным объектом, им может быть, собственно, ОГТ (Ogt), множества его сечений Pln, контуров Cnt и точек Pnt, а также их подмножества (рисунок 2.13).

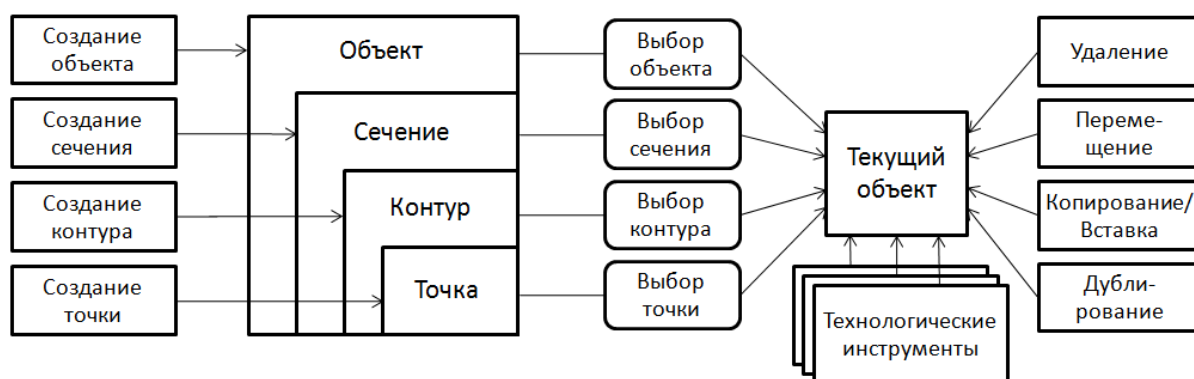


Рисунок 2.13 – Схема унификации операций с объектами

Выбор производится соответствующим инструментом выбора, далее работа с выбранным объектом происходит единообразно для операций удаления Dd , перемещения Dm , копирования Dc и дублирования $Ddbl$:

$$De = (Dd, Dm, Dc, Ddbl) \quad (2.20)$$

$$Ogt = \{p_{nt} \in Pnt \mid A(p_{nt})\} \quad (2.21)$$

Где $A(p_{nt})$ – условие отношения точек к ОГТ, определяется формой объекта.

$$Pln \subset Ogt \Leftrightarrow (Pln \subseteq Ogt) \wedge (Pln \neq Ogt) \quad (2.22)$$

$$Cnt \subset Pln \Leftrightarrow (Cnt \subseteq Pln) \wedge (Cnt \neq Pln) \quad (2.23)$$

$$Pnt \subset Cnt \Leftrightarrow (Pnt \subseteq Cnt) \wedge (Pnt \neq Cnt) \quad (2.24)$$

Взаимодействие действий и моделей выражается декартовым произведением:

$$De \times Ogt = \{(d_e, o_{gt}) \mid (d_e \in De, o_{gt} \in Ogt)\} \quad (2.25)$$

Рабочие инструменты Dw , как правило, также требуют предварительно выбранного объекта и работают только тогда, когда такой объект подходит им по типу:

$$Dw \times Ogt = \{(d_w, o_{gt}) \mid (d_w \in Dw, o_{gt} \in Ogt)\} \quad (2.26)$$

$$Dw = \bigcup_i D_i, i = 1, N \quad (2.27)$$

Для реализации различных методов работы с активными объектами GEOTECH-3D содержит набор инструментов, позволяющий:

- Создавать модели объектов. Создание модели объекта инициируется различными инструментами. При этом в зависимости от используемого инструмента модель обладает начальными свойствами, соответствующими выбранному инструменту (рисунок 2.14а). Так при формировании модели рудного тела «по умолчанию» предлагается задать горизонтальную ось, на которой будут располагаться сечения с контурами тела, а саму модель поместить в геологическую группу. При использовании инструмента для создания ВЕ «по умолчанию» предлагается задать вертикальную ось, а модель поместить в группу ВЕ и т.п. Предложенные по умолчанию свойства могут быть изменены с помощью *Инспектора* объектов. К таким свойствам относятся: название модели и текущего элемента, цвет текущего элемента, принадлежность модели к соответствующей группе, ориентация и тип оси (для подземных горных выработок ось является ломаной линией), способ отображения (векторная, каркасная, блочная), вид

отображения (прозрачная, непрозрачная), габаритные размеры. Также, можно редактировать список элементов модели (рисунок 2.14б), добавляя или удаляя из него отдельные элементы, менять цвет элементов и связанных с ними контуров и каркасных моделей.

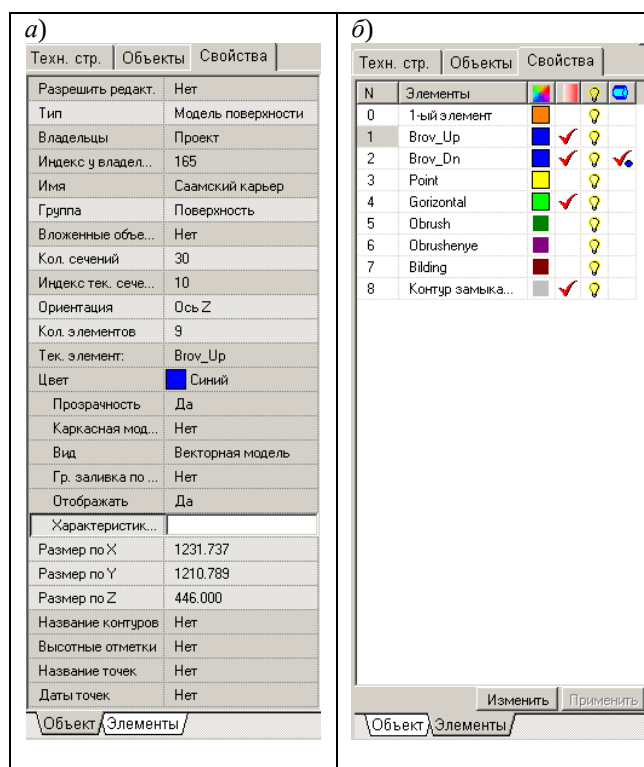


Рисунок 2.14 – Свойства модели объекта

Для изменения формы объекта, состоящего из точек контуров (соединенных или не соединенных между собой отрезками), используется набор инструментов,

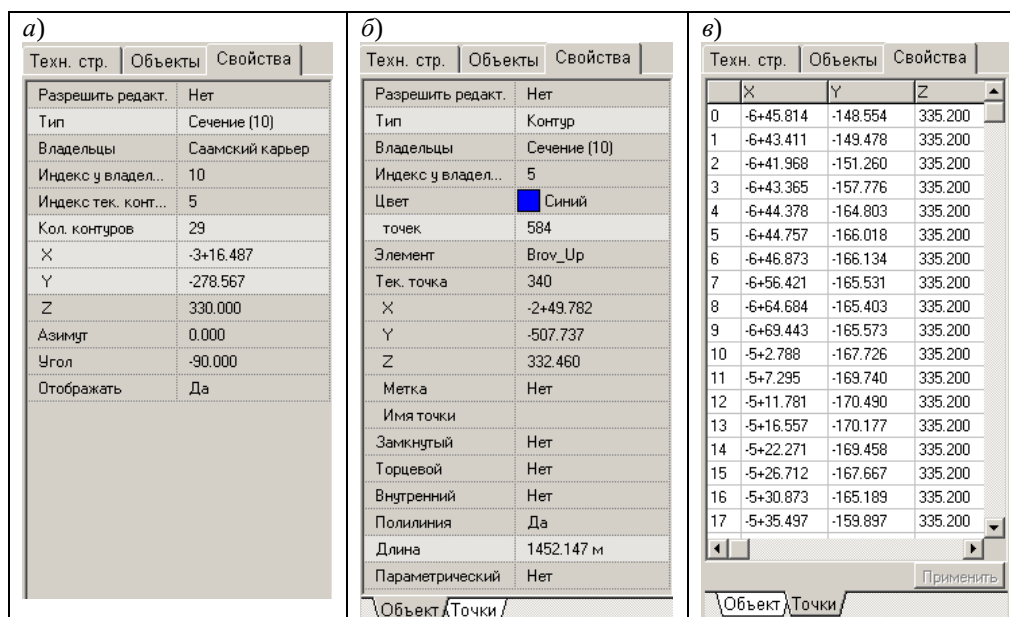


Рисунок 2.15 – Доступ с помощью *Инспектора объектов* к свойствам сечения (а) и контура (б), а также списка точек (в)

обеспечивающий:

1. Создание и удаление сечений, контуров, точек, отрезков.
2. Перемещение и копирование сечений, контуров, точек, отрезков.
3. Замыкание, размыкание контуров.
4. Разбиение контуров на части и их объединение.
5. Применение процедуры сплайна к отдельным частям или ко всему контуру.
6. Назначение способов отображения контуров и элементов с помощью объектов классификатора (тип и цвет линий, штриховка, заливка).

Средствами *Инспектора* объектов может быть получен доступ к спискам сечений (рисунок 2.15а), контуров (рисунок 2.15б) и таблицам координат их точек (рисунок 2.15в). Если точки содержат информационные поля, то обеспечивается доступ к их значениям. *Инспектор* содержит средства экспорта и импорта координат точек в электронную таблицу MS Excel и из нее, что существенно упрощает процедуры обмена данными с внешними ПП.

Редактирование модели *маркшейдерского обоснования* осуществляется с помощью специализированного *Редактора маркшейдерских точек* (рисунок 2.16), позволяющего:

1. *Создавать и удалять модели маркшейдерских сетей.* Каждая такая сеть

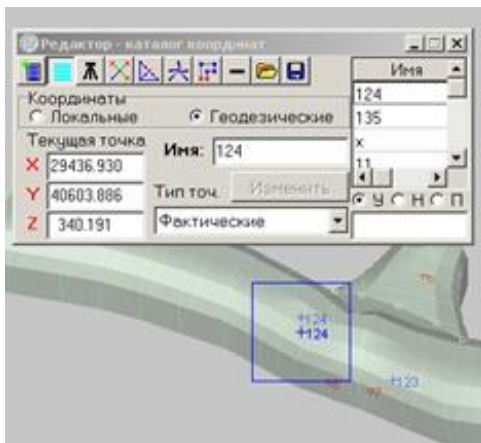


Рисунок 2.16 – Редактор маркшейдерских точек

представляет собой набор моделей *маркшейдерских точек*. Возможность создания необходимого числа моделей *маркшейдерской сети* позволяет сгруппировать точки по определенному признаку, что облегчает работу по ведению БД (каталога) маркшейдерских точек.

2. *Добавлять и удалять маркшейдерские точки.* Добавление маркшейдерских точек заключается в создании их моделей и добавлении в текущую модель маркшейдерского обоснования.

Создание модели маркшейдерской точки связано с заданием её координат и заполнением её свойств. Координаты точек могут вводиться непосредственно в редакторе, вычисляться с использованием местоположения курсора и РП, загружаться из внешних файлов.

При редактировании моделей объектов, как правило, возникает необходимость использования специальных режимов, обеспечивающих точное позиционирование объектов. Для этого предусмотрены следующие режимы привязки:

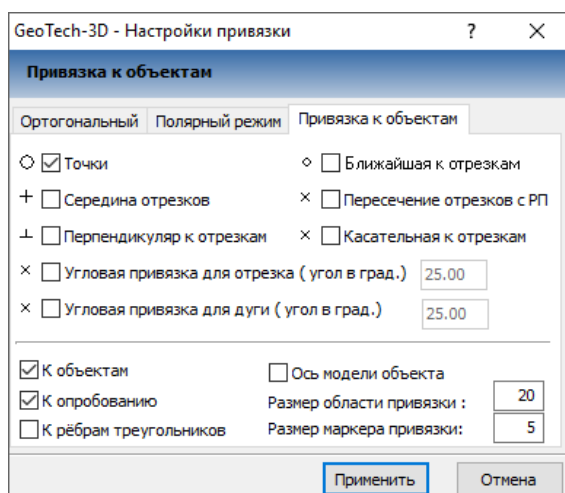


Рисунок 2.17 – Настройка режимов привязки

- «ортогональная и полярная», обеспечивающие перемещение редактируемого объекта по «лучам», выходящим из точки перемещения объекта;

- «объектная» (рисунок 2.17), которая может осуществляться к ближайшим точкам, концам отрезков, серединам отрезков, основаниям перпендикуляров на отрезках и т.д.

Кроме привязок возможно установление используемой системы координат. При работе могут использоваться

рудничные, геодезические, полярные, сферические и цилиндрические координаты.

- Удалять модели объектов. Модель объекта может быть удалена как из рабочей области GEOTECH-3D, так и из БД.

- Сохранять и отменять изменения. Операции, связанные с созданием и изменением моделей объектов и их составных частей (элементов, сечений, контуров, точек, отрезков) могут быть сохранены и отменены.

Операция сохранения инициируется нажатием соответствующей системной кнопки или в случае завершения работы над проектом. При сохранении анализируются все модели объектов, загруженные из БД, и сохраняются только измененные. При сохранении модели объектов сжимаются алгоритмом ZIP, что позволяет существенно уменьшить как трафик при работе с удаленными БД, так и собственно размеры БД.

Выполняемые операции редактирования и информация по изменениям объектов сохраняются в список «отката», размер которого может быть установлен пользователем. Функция отката реализована на уровне приложения, т.е. изменения можно отменить во время сеанса работы с проектом, и на уровне сервера БД, сохраненные предыдущие версии объектов позволяют отменить изменения, попавшие в БД.

Описанный функционал создает основу для работы более сложных инструментов для моделирования ОГТ и решения технологических задач.

2.5 Редактор БД геологического опробования GEOTOOLS

Для формирования БД ГО в составе ГИС MINEFRAME имеется специализированный редактор GEOTOOLS (рисунок 2.18), обладающий средствами ввода и редактирования данных, их быстрого поиска, импорта и экспорта, первичной обработки

данных и их представления в удобном для дальнейшего использования виде. Программа представляет собой многооконный специализированный редактор, предназначенный для работы с данными скважинного, бороздового и шламowego опробования. Данные опробования могут быть отнесены к определённым профилям (например, разведочным), блокам (например, взрывным) и типам (например, детальной и эксплуатационной разведки). Структура БД опробования приведена в приложении 2.

Помимо ручного ввода информации в GEOTOOLS реализован инструмент импорта данных опробования в БД системы, а также имеются средства автоматизированной проверки точности ручного ввода, анализ введенной исходной информации на наличие ошибок и их устранение. Все эти возможности позволяют получать корректные исходные данные, от которых зависят все дальнейшие расчеты и построения геологического моделирования.

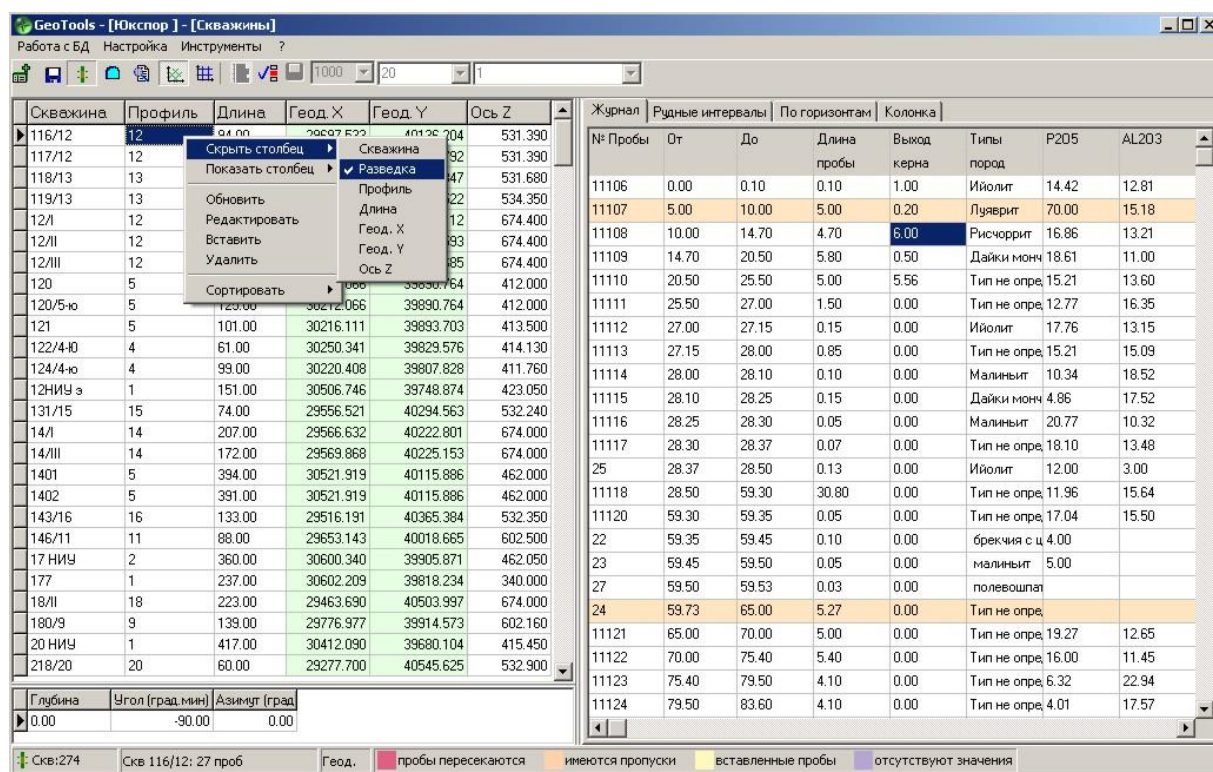


Рисунок 2.18 – Редактор ГО GEOTOOLS

3D визуализация данных опробования осуществляется в GEOTECH-3D. При загрузке из БД можно выбрать нужные компоненты и характеристики (последние представляют собой функции, аргументами которых являются значения содержаний компонент ПИ или других характеристик), а сами пробы отфильтровать по принадлежности к профилям, блокам и типам.

GEOTOOLS также реализует геоинформационный подход к пространственно привязанной информации ГО и позволяет работать со следующей информацией:

координатами устьев скважин, инклинометрией, непосредственно опробованием скважин и выработок (с указанием содержаний по полезным компонентам и описанием проб), литологией, рудными интервалами, геологической колонкой.

Для создания моделей рудных тел или пластов может быть выполнена операция формирования рудных интервалов по заданным кондициям, что необходимо при построении их векторных моделей.

Для решения задач интерпретации табличной информации, реализованы режимы отображения данных, которые могут быть представлены в форме: «Журнал», «Рудные интервалы» (рисунок 2.19), «По горизонтам» и «Колонка».

В форме «Журнал» результаты опробования по скважине (выработке) представлены в виде единой сводной таблицы, удобной для анализа и формирования отчетных документов.

В режиме «Рудные интервалы» (рисунок 2.19), представлены данные, полученные после расчёта рудных интервалов по заданным кондициям в автоматическом режиме. Результаты расчёта по формулам вычисления кондиционных интервалов могут быть скорректированы вручную с автоматическим перерасчётом значений таблицы. При этом одна БД может содержать несколько вариантов рассчитанных кондиционных интервалов.

Для некоторых месторождений необходимо выделение ПИ по нескольким кондиционным условиям. Для этого реализована процедура вычисления комбинированной

Скважина	Профиль	Длина	Геод. X	Геод. Y	Ось Z	№ Пробы	От	До	Длина пробы	Выход зерна	%	n**%	Тип инт.	Типы пород	P205	AL203	AL203KP
220/20	20	74.00	29310.282	40570.533	533.000	12466	0.00	5.65	5.65		20.26	114.47	Тип не опре				
239/12	12	137.00	29554.191	40035.769	674.410	12467	5.65	8.75	3.10		22.36	69.32	Тип не опре				
244/6	6	68.00	29850.184	39716.837	601.100	12468	8.75	11.90	3.15		21.99	69.27	Тип не опре				
245	6+36	135.00	29899.408	39797.100	601.500	12469	11.90	14.85	2.95		19.44	57.35	Тип не опре				
247	6+36	218.00	29947.949	39832.367	601.700	12470	14.85	18.10	3.25		21.13	68.67	Тип не опре				
248/7+36	7+36	131.00	29859.514	39857.113	601.500	12471	18.10	21.25	3.15		4.03	12.69	Тип не опре				
256/8	8	80.00	29835.118	39883.886	601.800	12472	21.25	24.35	3.10		4.30	13.33	Тип не опре				
259/7	7	108.00	29858.022	39811.530	601.700	12473	24.35	27.45	3.10		6.48	20.09	Тип не опре				
261/13+36	13+36	64.00	29519.911	40149.302	603.250	12474	27.45	32.30	4.85		8.22	39.87	Тип не опре				
263/7	7	98.00	29866.921	39817.996	601.900	12475	32.30	33.65	1.35		18.57	25.07	Тип не опре				
265/7+36	7+36	48.00	29785.894	39803.624	601.500	12476	33.65	36.70	3.05		20.85	63.59	Тип не опре				
274/9+36	9+36	90.00	29735.231	39944.810	602.300	12477	36.70	39.80	3.10		30.05	93.15	Тип не опре				
280/5+36	5+36	114.00	29991.458	39799.703	530.300	12478	39.80	42.80	3.00		22.61	67.83	Тип не опре				
283/5+36	5+36	121.00	30002.405	39782.935	530.200	12479	42.80	45.80	3.00		20.77	62.31	Тип не опре				
285/6+36	6+36	125.00	29998.108	39868.810	530.100	12480	45.80	48.90	3.10		20.22	62.68	Тип не опре				
287/7+36	7+36	137.70	29955.787	39927.059	530.100	12481	48.90	53.30	4.40		17.44	76.74	Тип не опре				
288/18	18	95.00	29486.930	40519.646	535.330	12482	53.30	58.20	4.90		11.41	55.91	Тип не опре				
289/8	8	153.00	29929.773	39952.657	530.310	12483	58.20	63.70	5.50		9.03	49.66	Тип не опре				
293	8	106.00	29929.773	39952.657	530.260	12484	63.70	66.85	3.15		5.32	16.76	Тип не опре				
294	7	183.00	29965.621	39889.706	530.000	12485	66.85	70.00	3.15		4.02	12.66	Тип не опре				
295/11+36	11+36	87.00	29998.004	40023.102	605.680	12486	70.00	74.15	4.15		5.40	22.41	Тип не опре				
296	9	121.00	29891.497	40013.845	531.080	Итого:	0.00	74.15	74.15		14.48	1073.83			16.04	15.42	12.92
298	8+36	123.00	29916.703	39987.660	530.570												

Рисунок 2.19 – Выделение кондиционных интервалов в GEOTOOLS

кондиции, во время которой одна кондиция (более богатая) вычитается из другой (бедной).

Алгоритмы выделения кондиционных интервалов основаны на общепринятых методиках выполнения этих работ [196, 197].

В форме «Колонка» (используется только для скважин) реализована возможность отображения информации в виде колонки, которая является объединением диаграмм содержания, рудных интервалов и стратиграфической колонки (рисунок 2.20). Для

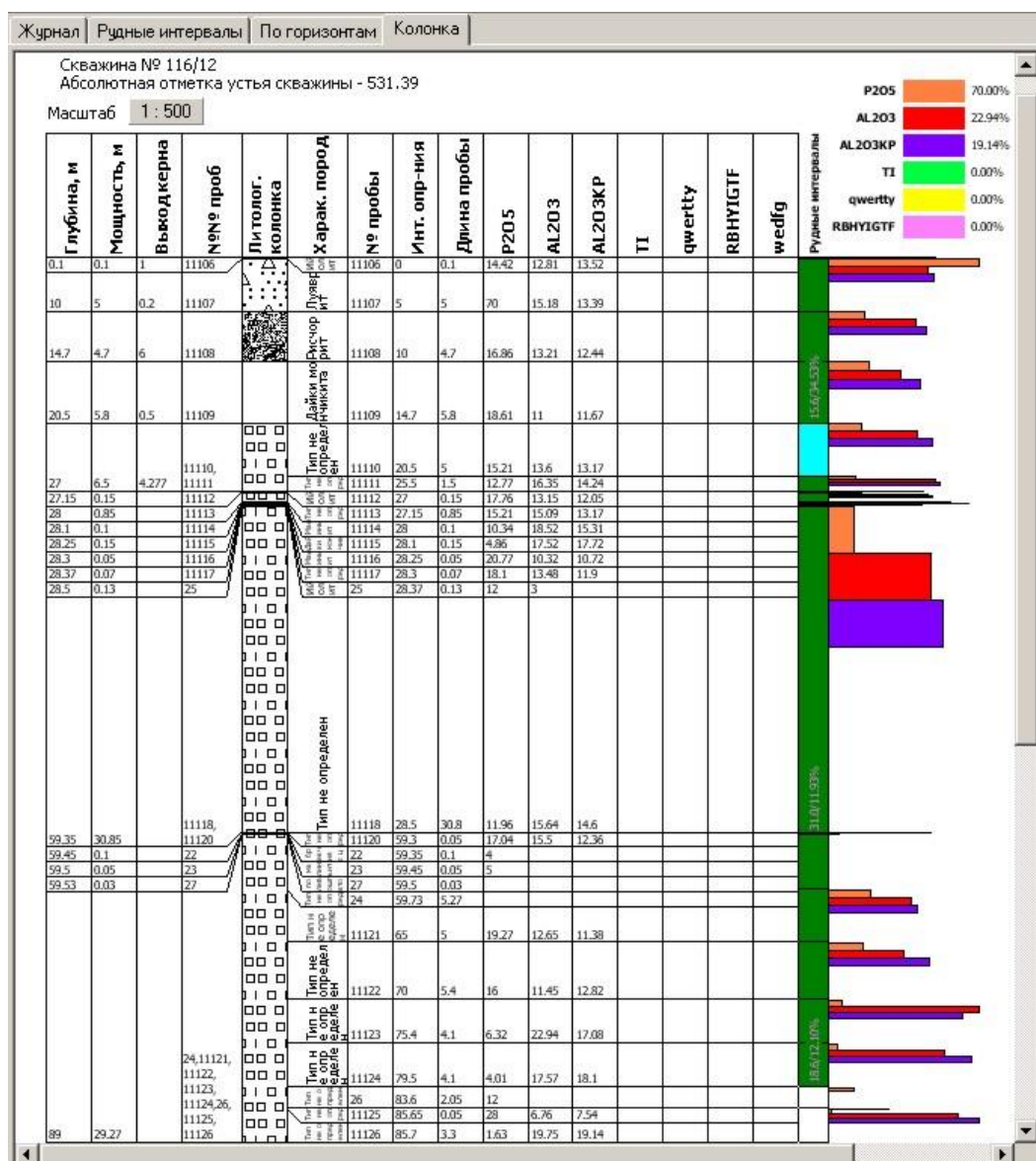


Рисунок 2.20 – Представление данных опробования в форме «Колонка»

каждого компонента показано его максимальное содержание в пробах по этой скважине. Предусмотрена возможность масштабирования изображения. Стратиграфическая колонка – схема, изображающая условными знаками в определённом масштабе последовательность напластований ГП в нормальном стратиграфическом разрезе и характер контактов между смежными стратиграфическими подразделениями.

Обычно на стратиграфической колонке слева помещаются названия (или индексы) стратиграфических подразделений, их геологический возраст; справа – мощность, затем литологические и палеонтологические характеристики; в центре – геологическая колонка. Согласно границы между породами в колонке наносятся сплошными линиями, а перерывы в отложениях и несогласия – волнистыми. Над колонкой указывается её название и масштаб, в котором она составлена.

2.6 Редактор БД ГТО MINEGEAR

Для планирования горных работ, проектирования БВР и других автоматизированных решений необходимо использовать данные по используемому на горном предприятии оборудованию. Для ведения БД ГТО используется приложение MINEGEAR, что обеспечивает удобный доступ к параметрам и характеристикам производителей горной техники при решении задач проектирования и планирования горных работ (рисунок 2.21).

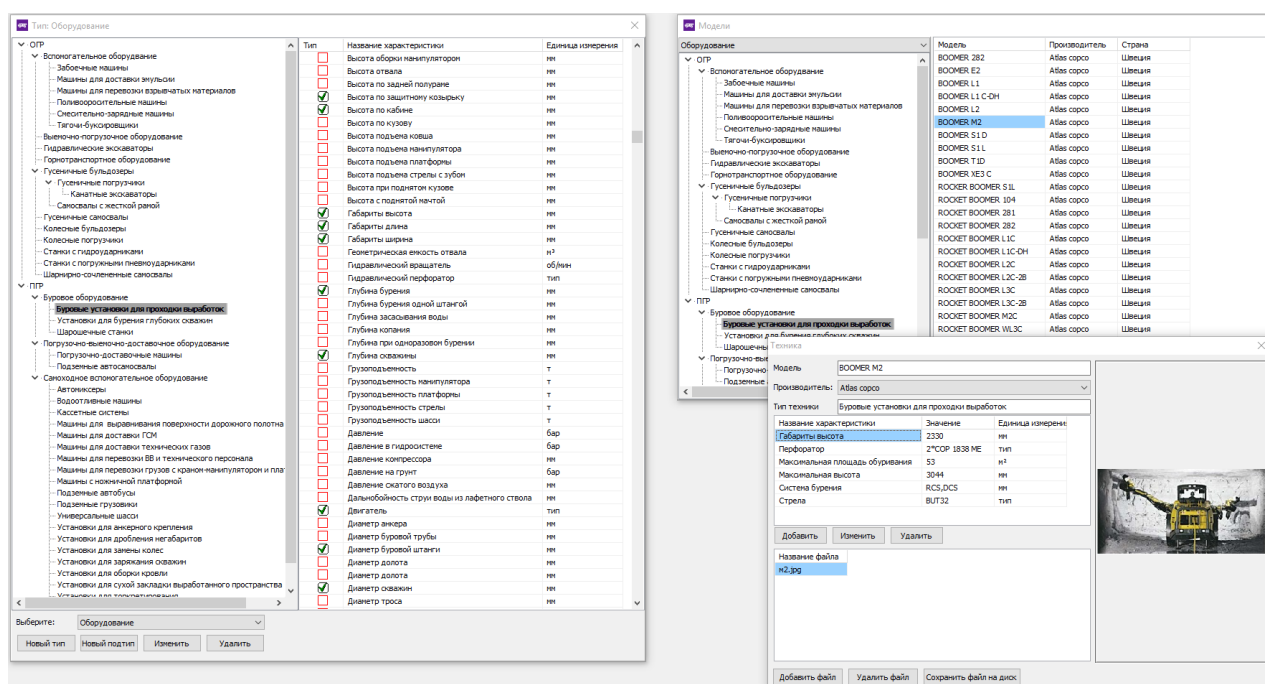


Рисунок 2.21 – Программа MINEGEAR и БД горного оборудования

Таким образом, БД содержит список оборудования и расходных материалов с их характеристиками. Данный список можно вести в двух видах: заводские (паспортные) характеристики и/или реальные, принятые на предприятии, с возможностью устанавливать для каждой характеристики период ее применения для оборудования (например: во время эксплуатации мощность двигателя снижается из-за износа деталей). На сегодняшний момент БД содержит информацию обо всех ведущих производителях горного, транспортного и вспомогательного оборудования и расходных материалов (рисунок 2.23), и выпускаемой ими номенклатуре изделий.

Для оборудования реализована возможность вести график планово-предупредительных ремонтов (ППР), который может в дальнейшем использоваться для составления графика работы оборудования по карьеру. Автоматизированные инструменты позволяют создавать ежемесячные графики работы экскаваторов и буровых станков. Они содержат информацию о размещении экскаваторов по горизонтам карьера, их состоянии на каждый день (ППР, добыча руды или вскрыши, перегоны и пр.). В графике отображаются данные по объемам горной массы, разделенной по видам пород, и руды на начало и конец месяца, а также объёмные и качественные показатели руды, добытой конкретным экскаватором с каждого горизонта, размещение буровых станков и метраж пробуренных скважин. Автоматически рассчитываются плановые показатели по добыче и бурению, техника распределяется в графике ППР в соответствии с планируемыми взрывными днями. Набираются объемы руды и вскрыши для экскаваторов и метраж скважин для буровых станков, строится суммарный график для рудника по нескольким карьерам, который отражает общую статистику по ППР, объемным и качественным показателям добычи. При решении задач месячного планирования необходимо задавать расстановку горного оборудования, создавать график работы оборудования по блокам, уступам.

Горное оборудование может быть объединено в технологические комплексы, образующие древовидные структуры, так что комплекс может состоять из машин и/или других комплексов оборудования и т.д. Комплекс оборудования может включать в себя и расходные материалы.

Древовидная структура комплекса связана с такой же древовидной структурой технологических операций. Эти две структуры имеют прямое соответствие между собой, а также к ним добавляются данные по нормативам на выполнение этих операций.

Данная структура при наличии необходимых характеристик комплексов, оборудования и расходных материалов может быть использована в GEOTECH-3D для составления различных видов отчетов при планировании горных работ (расчет амортизационных отчислений, расчет производительности и коэффициента использования оборудования и пр.). Структура БД горно-транспортного оборудования приведена в приложении 3.

2.7 Управление БД и сетевой многопользовательский режим работы

Совместная работа коллектива технических специалистов различной специализации требует адекватной архитектуры информационной системы, обеспечивающей процесс планирования. Основой такой архитектуры на современном этапе развития информационных технологий стала клиент-серверная технология работы с удаленными БД. Поиск подходящего

сервера БД привел к решению использовать открытую разработку FIREBIRD. Этот сервер характеризуется высокой надежностью, простотой настройки и поддержания в рабочем состоянии, полным соответствием стандартам языка запросов SQL. MINEFRAME обеспечивает контролируемый доступ к данным при одновременной работе многих пользователей, поддерживает регистрацию их действий, создает предпосылки для надежного хранения данных. Таким образом, появляется возможность вести специфические для каждого специалиста работы в едином информационном пространстве моделей горно-геологических объектов, пользуясь результатами работы всего коллектива.

Работа с БД коллективного пользования, которая становится основным источником геолого-маркшейдерской и технологической информации на предприятии, выдвигает ряд важных требований:

- использование надежного SQL сервера управления БД;
- ограничение круга специалистов, имеющих доступ к БД (достигается формированием списка пользователей и вводом процедуры аутентификации);
- разграничение уровня доступа специалистов различного профиля к моделям объектов, хранящимся в БД;
- блокировка функций редактирования тех моделей, которые в данный момент редактируются другими специалистами;
- ведение журнала изменений моделей объектов с возможностью восстановления удаленных или измененных объектов;
- наличие средств архивирования, восстановления и ремонта БД.

В ГГИС MINEFRAME реализованы все перечисленные условия, при этом: разграничение уровня доступа достигается отсутствием возможности сохранения в БД измененных объектов, если сделавший эти изменения специалист не имеет на это прав; блокировка функций редактирования обеспечивается внесением в БД признака редактирования объекта конкретным специалистом; ведение журнала изменений моделей объектов позволяет не только восстановить неправомерно удаленные или измененные объекты, но и установить, кто и когда это сделал.

GEOTECH-3D может работать, как в однопользовательском, так и в многопользовательском режиме. В первом случае, как правило, клиент (приложение), сервер БД и сама БД физически располагаются на одном компьютере (рисунок 2.22). В этом случае пользователь работает один и никто не создает помех при работе с объектами, хранящимися в БД.

При работе в сетевом режиме, с одной БД работают несколько пользователей. Клиентские рабочие места связаны сетевыми соединениями с сервером БД и пользователи

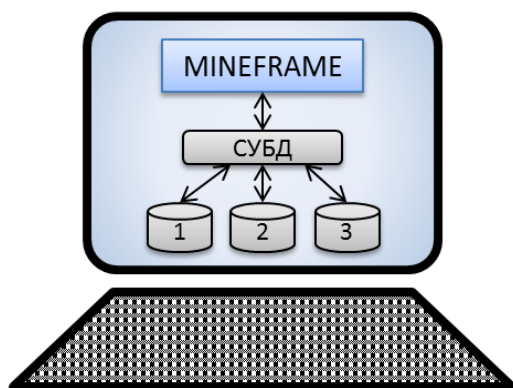


Рисунок 2.22 – Работа в
однопользовательском режиме. 1, 2, 3 –
БД: ГО, ОГТ и ГТО

не имеют непосредственного доступа к
собственно БД (рисунок 2.23).

Работа в многопользовательском
режиме имеет несколько специфических
особенностей, обусловленных
необходимостью:

- ведения списка пользователей,
имеющих доступ к работе с сетевой версией
приложений, установления полномочий для
каждого пользователя;
- сохранения настройки пространственной фильтрации и атрибутов видимости
объектов для каждого пользователя;
- разрешения конфликтных ситуации при попытках нескольких пользователей
одновременно редактировать один и тот же объект;
- фиксирования авторов изменений моделей объектов;
- выработки и соблюдения политики архивирования и восстановления БД на
сервере.

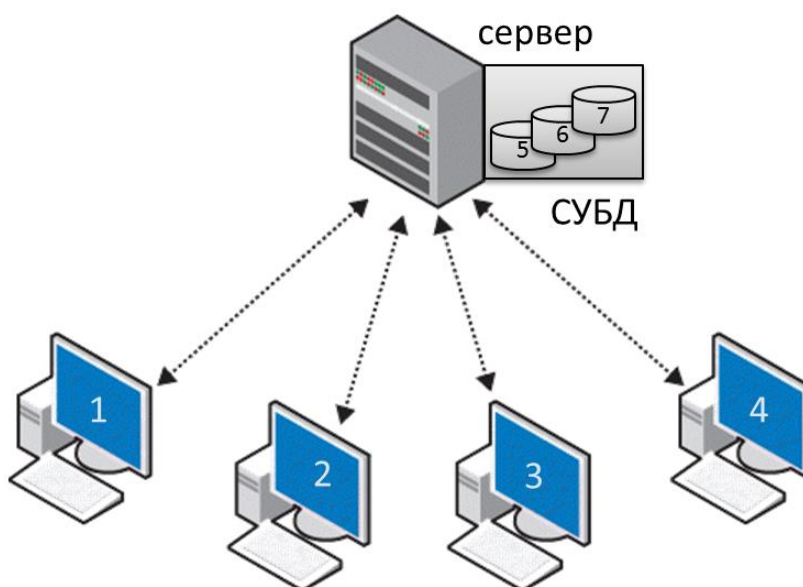


Рисунок 2.23 – Работа в многопользовательском режиме. 1-4 –
клиентские рабочие места MINEFRAME; 5, 6, 7 – БД, ОГТ и ГТО

Часть этих задач решается на уровне бизнес логики приложений, часть - на сервере
БД, часть – с использованием специализированных утилит. Рассмотрим несколько
подробнее реализацию этих задач.

Для решения задачи управления пользователями используется утилита GEOUSERS
(рисунок 2.24). Она позволяет проводить служебные операции с БД MINEFRAME.

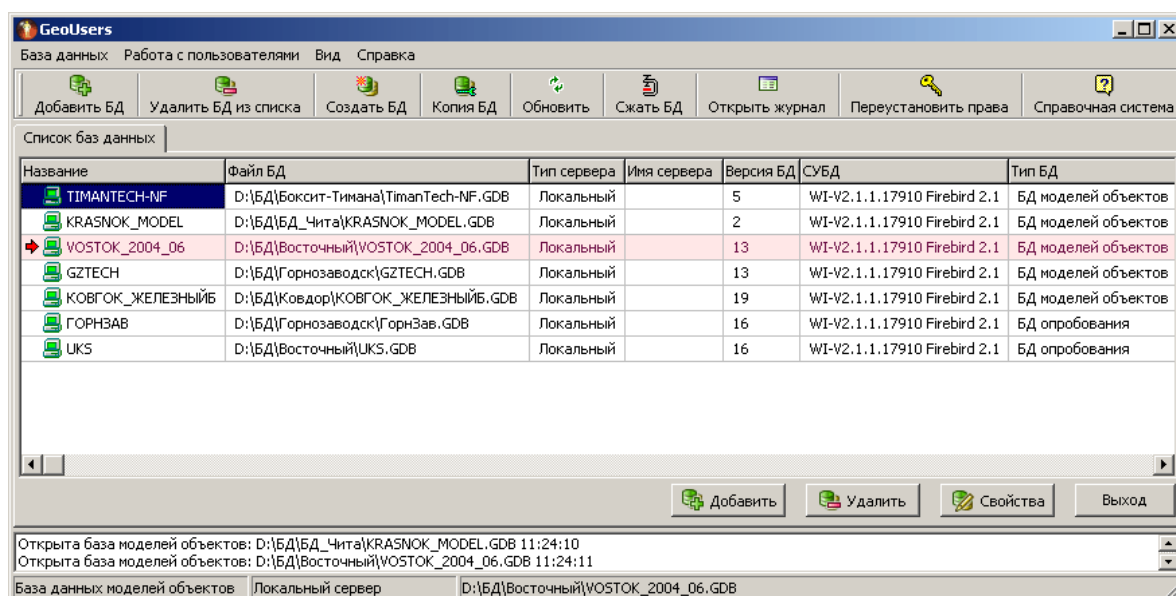


Рисунок 2.24 – Основное окно GEOUSERS

С утилитой должен работать только администратор БД, на него возлагается ответственность по ведению списка пользователей и поддержанию БД в работоспособном состоянии. Каждая БД имеет свой список пользователей, поэтому пользователи одной БД не могут работать с другой, если их пользовательских записей там нет.

При работе в однопользовательском режиме запуск программ системы MINEFRAME осуществляется без авторизации пользователя (используется пользователь по умолчанию). При работе в многопользовательском режиме для запуска программ GEOTECH-3D и GEOTOOLS необходимо ввести имя пользователя и пароль.

Основные функции GEOUSERS:

- архивирование и восстановление БД,
- создание БД по эталонной структуре,
- обновление структуры БД,
- создание копии БД (необходимо в тех случаях, когда БД повреждена),
- ведение учёта активности пользователей,
- ведение журнала изменений БД, откат нежелательных изменений ОГТ,
- исправление ошибок в БД,
- сжатие БД, уменьшение её размеров.

Для удобства работы с несколькими БД в GEOUSERS реализован механизм формирования их списка (рисунок 2.24). Для каждой БД в таблице отображается следующая информация: название, путь к файлу БД, тип сервера (локальный, удаленный), имя сервера (если БД находится на локальном сервере, то это поле пустое), версия БД, название СУБД, тип БД (геологическая, моделей ОГТ, оборудования).

По мере совершенствования программ, входящих в ГГИС MINEFRAME, структура БД может меняться. Поэтому при выходе новых версий программ, иногда, возникает необходимость изменять структуру рабочих БД. В GEOUSERS существует возможность обновления структуры БД по эталону. Эталон представляет собой текстовый файл с SQL-командами, формирующих структуру БД. Изменение структуры происходит путем сравнения эталонного файла и файла со структурой, выбранной БД. Далее, при помощи SQL-команд различия устраняются.

Для сохранения целостности GEOUSERS содержит инструменты исправление ошибок БД, которые выполняют следующие функции:

- Установление прав пользователя - используется в тех случаях, когда у пользователя не установлены права на рабочие таблицы;
- Исправление ошибок в таблице видимости объектов – используется, когда в результате сбоя не запоминается состояние объекта «загружен»\«не загружен»;
- Исправление индексов проектов – используется, когда объект при создании не помещается в требуемую группу;
- Исправление индексов групп – используется, когда не все объекты загружаются в дерево объектов (у группы не указан владелец);
- Исправление индексов объектов - используется, когда не все объекты загружаются в дерево объектов (у объекта не указан владелец);
- Исправление индексов в журнале событий – используется, когда при открытии журнала событий в GEOUSERS отображаются двойные записи и невозможно отменить данное действие по этой причине.

В случае поломки БД (не выполняется архивирование, восстановление, изменение структуры и т.д.), в GEOUSERS предусмотрено создание копии БД. Создается новая БД с исправной структурой и в нее копируются все неиспорченные данные. Также, если необходимо уменьшить размер БД, существует возможность сжатия БД, при этом удаляются неактуальные записи из таблиц БД.

Для обеспечения безопасности усовершенствованы процедуры сохранения моделей, изменённых в процессе редактирования. В БД регистрируется информация о пользователях (имя пользователя, время начала и конца сеанса), которые когда-либо работали в программах GEOTECH-3D и GEOTOOLS.

Кроме этого, в БД записываются все изменения, совершаемые над ОГТ (вставка, редактирование, удаление). Историю изменений можно посмотреть средствами GEOUSERS. В случае случайного или несанкционированного изменения моделей объектов, эти изменения можно отменить, состояние объектов будет приведено к прежнему виду.

При работе в сетевом, многопользовательской режиме несколько пользователей могут работать с одной БД, одним и тем же проектом и иметь доступ к общим моделям объектов. Каждый пользователь имеет свои настройки пространственной фильтрации объектов, что обеспечивается наличием таблицы фильтров. Эта таблица для каждого пользователя и для каждого проекта БД хранит координаты пространственного фильтра и используется при работе пользователя с моделями объектов. Также этот механизм обеспечивает запоминание набора объектов, с которыми работал пользователь для продолжения работы с ними в течение нескольких сеансов.

При многопользовательском режиме работы могут возникать ситуации, когда несколько пользователей могут редактировать один и тот же объект. При этом их изменения могут быть записаны один поверх другого, и таким образом, более ранние изменения не сохраняются. Чтобы избежать подобной ситуации, в GEOTECH-3D применяется блокирование редактируемых объектов. Для этого в таблице объектов заведены дополнительные поля, которые фиксируют время начала редактирования, конец редактирования,

статус блокировки и номер пользователя заблокировавшего объект. При попытке пользователя редактировать объект, происходит проверка блокировки этого объекта (рисунок 2.25). Если объект заблокирован, то пользователю сообщается имя блокирующего пользователя и время начала блокировки. Если объект

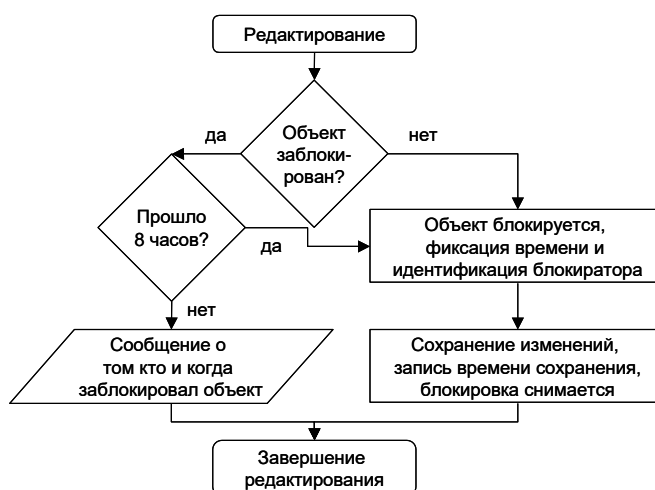


Рисунок 2.25 – Блок схема блокировки объектов при работе в многопользовательском режиме

заблокирован более чем 8 часов назад, то считается, что это не актуальная (потерянная) блокировка и объект переблокируется пользователем, запросившим редактирование. Если объект не заблокирован, то он блокируется, устанавливается время начала блокировки. При завершении редактирования и сохранения изменений, блокировка снимается, записывается время окончания редактирования и идентификатор пользователя сделавшего последнее изменение. В случае аварийного завершения работы, в БД могут остаться объекты с неснятым статусом блокировки. В этом случае при следующем запуске программы пользователем, заблокировавшим эти объекты, блокировка снимается.

Выводы

Современная ГГИС, должна оперировать понятными для горного инженера терминами и объектами горной технологии, имеющими удобную для моделирования структуру [151]. При этом совместная работа коллектива технических специалистов требует адекватной архитектуры информационной системы, обеспечивающей процесс инженерного обеспечения горных работ. Такой архитектурой на современном этапе развития информационных технологий является клиент-серверная технология работы с удаленными базами данных (БД). Она обеспечивает контролируемый доступ к данным при одновременной работе многих пользователей, позволяет регистрировать их действия, создает предпосылки для надежного хранения данных. Таким образом, появляется возможность при работе в едином геоинформационном пространстве создавать специфические для каждого специалиста модели горно-геологических объектов, пользуясь результатами работы всего коллектива. При этом исчезают преграды информационным потокам между маркшейдерскими, геологическими и технологическими отделами, которые зачастую возникают при использовании разнородных программных средств и связанных с ними проблем экспорта-импорта данных [198, 199, 200].

Предложена и реализована концепция формирования ГГИС, базирующаяся на сочетании методов управления реляционными базами данных, трехмерного моделирования объектов горной технологии, генерации горно-графической документации и автоматизации решения горно-геологических задач, что создаёт инструментальную основу для реализации компьютерной технологии проектирования, планирования и сопровождения горных работ. Разработанная концептуальная модель содержит четыре уровня иерархии структуры ГГИС, включающие программные средства, алгоритмы, процедуры и функции обработки данных и моделирования, включает базы данных и модели объектов горной технологии, методики их создания, хранения и редактирования.

3. Моделирование ОГТ

Важной особенностью ГГИС является наличие удобных, понятных и привычных для пользователей (геологи, маркшейдеры, горные технологи) принципов моделирования объектов геологической обстановки и горной технологии. Применительно к MINEFRAME каждая модель ОГТ содержит обширный набор полей (переменных различного типа и списков) и методов (процедур и функций) их обработки, обеспечивающих цифровое описание, графическое отображение и алгоритмическое обеспечение расчётов, связанных с использованием моделей при решении различных задач.

Под цифровым описанием модели подразумевается ее структура, обеспечивающая формирование векторных, каркасных и блочных моделей. При этом векторная модель представлена набором сечений (плоскостей геологических разрезов, горизонтов карьера и пр.), которые, в свою очередь, содержат наборы контуров, моделирующих точки поверхности или другие формы реальных объектов. Структура объекта позволяет в рамках одной модели создать множество элементов, каждый из которых может иметь свою каркасную и блочную модель. Каждый элемент содержит список свойств, который может пополняться. Частично свойства являются предопределенными (например: плотность, пористость) и могут использоваться в различных расчетах, например: расчет массы через объем каркасной модели. Элементы связаны с объектами классификатора, что позволяет задать для них способ представления при формировании графической документации.

Под графическим отображением подразумеваются методы 3D реалистичного изображения моделей объектов и их разрезов с учетом пересечения тел и поверхностей в пространстве. При этом векторная модель объекта может быть представлена в виде точек, условных знаков, отрезков и контуров, каркасная – в виде проволоочной или твердотельной (тональной) модели, а блочная - в виде набора элементарных блоков.

Под алгоритмическим обеспечением понимаются процедуры и функции, обеспечивающие решение различных геометрических задач, таких как: перемещение, поворот точек модели, их копирование; определение объема замкнутого каркаса и площади его поверхности; построение контура пересечения поверхностей и т.п.

3.1 Состав, структура и свойства моделей ГГИС MINEFRAME

В основу системы моделирования сложных природно-технических комплексов, таких как горнодобывающие предприятия, положена концептуальная модель, элементами которой являются: объекты, отражающие технологическую структуру моделируемого ГП;

потоки данных между моделируемыми объектами; процессы – преобразователи объектов в другие объекты и/или в потоки данных. Внутренняя структура каждого объекта модели представляет собой сочетание формы и пространственной позиции (геометрические характеристики) с содержанием (атрибутивная информация об объекте), которая создается пользователем на этапе построения модели.

Исторически, для решения задач горно-геологической направленности, выработан следующий подход к моделированию ОГТ:

- *Векторная* служит для создания точечной и контурной основы поверхности объекта.
- *Триангуляционная* модель необходима для задания поверхности объекта.
- *Блочная модель* дискретизирует 3D пространство и несет информацию о свойствах дискретов (блоков).

Таким образом, модель объекта может содержать различные по характеру и назначению составные части модели, под условным названием - субмодели. В таблице 3.1 представлены характеристики каждого вида субмоделей,

Таблица 3.1 – Характеристики видов субмоделей

Вид субмодели	Представление (элементарные части)	Источники данных и алгоритмы	Назначение, примеры из предметной области.	Количество элементарных частей
Векторная	3D точки, отрезки, их комбинации – линии, сетки. Минимальное представление: X,Y,Z (координаты точки)	Ручной ввод, автоматическая оцифровка растров, съемки маркшейдерскими приборами, интерполяционные алгоритмы	Контакты рудных тел, пластов и других объектов геологической среды. Изолинии топоповерхностей, бровки карьеров и отвалов, контура подземных выработок, ВЕ.	N
Триангуляционная	Треугольники. Минимальное представление: P1,P2,P3 (номера точек или ссылки на них)	Векторные модели. Алгоритмы триангуляции. Операции с триангуляционными сетками.	Поверхности всех горно-геологических твердотельных объектов и объектов с незамкнутой поверхностью.	~N*2
Блочная	Параллелепипеды, призмы, тетраэдры, другие 3D фигуры. Минимальное представление: X,Y,Z (координаты центра блока) dX,dY,dZ (размеры блока)	Векторные и каркасные модели. Алгоритмы дискретизации пространства. Алгоритмы определения свойств моделируемой среды, интерполяционные процессы	БМ рудных тел и пластов, вмещающих пород, воздуха.	Непосредственной связи с векторной и триангуляционной моделями нет, ориентировочно: $N \cdot 10^1 - N \cdot 10^6$ Связь с объемом модели: $V_{\text{мод}}/V_{\text{бл}}$ $K_c \cdot V_{\text{мод}}/V_{\text{бл}}$

где K_c – коэффициент учитывающий субблокирование; $V_{\text{мод}}$ – объем, заключенный внутри замкнутой триангуляционной модели; $V_{\text{бл}}$ – средний объем регулярного блока.

К минимальному представлению элементарных частей, практически всегда, добавляются атрибутивные данные, что увеличивает информационную насыщенность моделей.

Способы формирования моделей в различных ГГИС могут отличаться. Можно выделить, по крайней мере, три из них:

1. *Фильтры*. Объекты собираются из общего набора данных по значению идентифицирующего их атрибута. Это очень гибкий подход, позволяет использовать атрибутивную информацию для конструирования сложных комбинированных объектов. Недостатком является отсутствие структурированности и явной связи между частями моделей. Как правило, триангуляционные модели оторваны от векторных, а блочные соответственно от триангуляционных. Усложняется интерфейс пользователя, он должен следить за связями и взаимодействием моделей. Частично этот недостаток преодолевается средствами шаблонов диалоговых окон и макросами. В том случае, если используется файловая система для хранения данных, – ярко проявляется проблема быстрого и неконтролируемого «размножения» версий файлов одних и тех же объектов, особенно при коллективном режиме работы. В случае использования СУБД – на пользователя возлагается работа по созданию и поддержанию структуры БД, что является небезопасным для ее целостности и обслуживания.

2. *Слои*. Объекты и их части группируются в слои, слои, в свою очередь, также могут быть сгруппированы друг с другом. Метафора слоев пришла из программ для обработки растровых изображений и чертежей. Для плоских по своей природе растровых и векторных документов она является органичной и понятной – слои представляют собой как бы стопку прозрачных листов с нанесенными на них частями изображения (или правилами их преобразования). Пользователь, добавляя (включая) слои, формирует составное изображение, комплексирующее нужные ему данные. Для трехмерных по своей природе ОГТ эта метафора представляется несколько искусственной и неестественной. Еще одной проблемой является то, что связь по слою является фактически связью по одному атрибуту, и в графических программах используется, в том числе, для задания правил отрисовки (представления) объектов слоя.

3. *Объект как сущность*. В MINEFRAME принят подход к моделированию, основанный на формировании органически присущей ОГТ структуры. Каждый горно-геологический объект имеет структуру, отражающую присущие ему особенности, например - карьер, как геометрический объект, состоит из моделей горизонтов, бровок, линий съездов, осевых линий дорог, точек гипсометрии и пр. Он может иметь триангуляционную модель, и для пользователя является не просто разрозненным набором этих частей, а положением горных работ на какой-то момент времени, вариантом проектного карьера и т.д. Модель геологических объектов (рудных тел, пластов, разновидностей пород) содержит в себе информацию о разведочных линиях (разрезы,

профили и пр.), контурах, описывающих форму контактов тел и пластов, триангуляционных моделях, формирующих поверхность объекта, и БМ, характеризующих пространственное распределение опробованных компонентов и вычисленных характеристик. Таким образом, любой объект можно представить как совокупность связанных субмоделей – векторных, триангуляционных, блочных (рисунок 3.1).

Такой подход позволяет органично реализовать концепцию «живых» моделей,

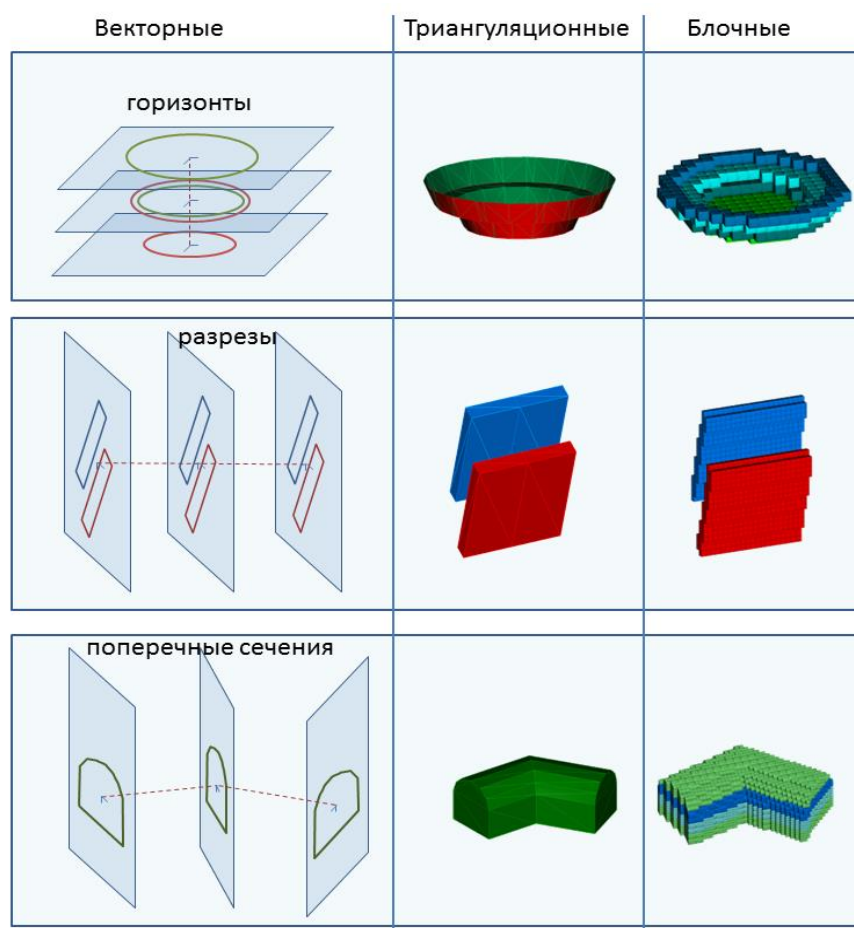


Рисунок 3.1 – Модели некоторых типовых горно-геологических объектов. Сверху вниз: ОГР, геологических, выработок ПГР.

когда изменение одних частей приводит к последовательному изменению других. В некоторых случаях, субмодели могут существовать и независимо друг от друга (обычно это происходит при импорте данных из других систем моделирования, где такая связь отсутствует).

3.2 Структуры моделей в ГГИС MINEFRAME

Моделирование горно-геологических объектов осуществляется в среде графического редактора GEOTECH-3D. Для создания всего многообразия цифровых моделей используются три типа объектов: геологоразведочный, маркшейдерский, объект горной технологии.

Геологоразведочный объект (**Msmg**) представляет собой структуру, содержащую модели скважин (выработок), проб (линейные и точечные) и методы их визуального представления, как в 3D пространстве, так и на разрезах различной ориентации.

Маркшейдерский объект (**Msr**) представляет собой структуру, содержащую маркшейдерские точки со списком параметров, обеспечивающих их корректное использование.

Объект горной технологии (**Mogt**) обладает самой сложной по сравнению с предыдущими двумя объектами структурой, обеспечивающей формирование векторных, триангуляционных и блочных субмоделей, как составных элементов объекта. Возможность формирования в рамках одной модели многоэлементной структуры, а также наличие средств объединения объектов путём их группировки обеспечивает создание моделей любой степени сложности. Подобный подход, при котором в модели объекта (например: рудное тело, карьер, подземная горная выработка) сосредоточены все его составные части, начиная от точечных объектов и заканчивая блочной конструкцией, упрощает процедуру управления моделью, её сохранения в БД и переноса в другую БД.

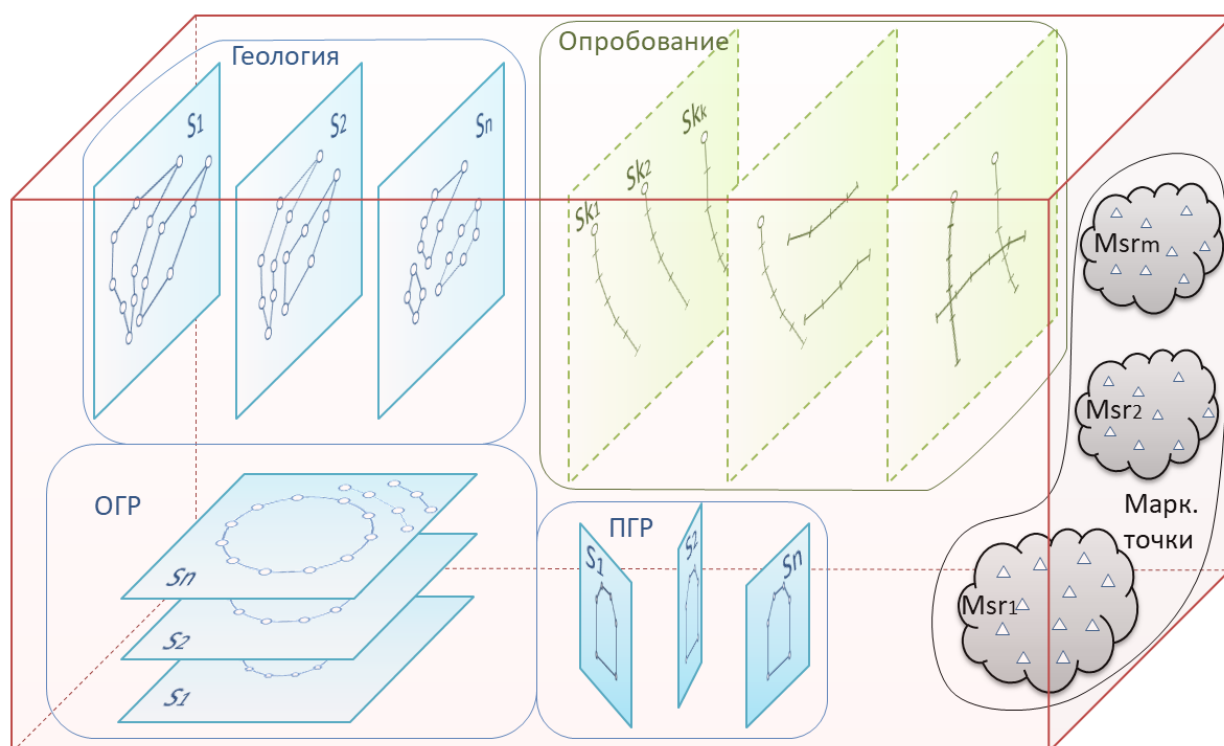


Рисунок 3.2 – Диаграмма множеств моделей объектов горной технологии.

Область моделируемого трехмерного пространства недр будет включать совокупность множеств объектов этих трех типов:

$$M = \{Mexp; Msr; Mogt\} \quad (3.1)$$

Где

$Mexp$ – множество разведочных выработок состоящих из подмножеств скважин Sk и разведочных канав, траншей, борозд Trc . Которые, в свою очередь формируются множествами проб $Msmr$, состоящими из двух элементов ($Psmr_1, Psmr_2$), являющимися точками начала и конца пробы, в случае точечной пробы одна из них отсутствует.

$$Mexp = Sk \cup Trc \quad (3.2)$$

$$Sk = \bigcup_i Sk_i, i = 1, K1 \quad (3.3)$$

$$Trc = \bigcup_i Trc_i, i = 1, K2 \quad (3.4)$$

Msr – множество сетей съемочного маркшейдерского обоснования состоящих из множества маркшейдерских точек $Mpnt$ и их атрибутов $Matr$.

$$Msr = \bigcup_i Msr_i, i = 1, M \quad (3.5)$$

$$Msr_i = \bigcup_j Mpnt_j, j = 1, M1 \quad (3.6)$$

$$Mogt = \{S, E, T, B, Attr\} \quad (3.7)$$

Здесь: S – множество сечений, несущих плоскостей Pln .

Для геологических объектов – это разрезы, профили, разведочные линии; для объектов ОГР - горизонты карьеров, отвалов; для объектов ПГР – сечения выработок; для выемочных единиц – плоскости, ограничивающие их границы по одной из осей координат, чаще всего Z . Сечения являются носителями для контуров $Cnt = \{Cnt_1, Cnt_2, \dots, Cnt_{n2}\}$, которые в свою очередь являются упорядоченной последовательностью точек $Pnt = (Pnt_1, Pnt_2, \dots, Pnt_{n3})$.

$$Pln = \bigcup_i Pln_i, i = 1, N1 \quad (3.8)$$

$$Cnt = \bigcup_i Cnt_i, i = 1, N2 \quad (3.9)$$

$$Pnt = \bigcup_i Pnt_i, i = 1, N3 \quad (3.10)$$

E – множество элементов характеризующих принятое для каждой разновидности объекта семантическое наполнение, например для геологических объектов это могут быть контакты рудных тел, тектонических нарушений, литологических разностей и т.д.; для объектов ОГР – верхняя и нижняя бровки, оси дорог, трубопроводов и пр.; для объектов ПГР – линии сечения выработок, крепление, закладка.

T – множество триангуляционных сетей $T=\{T_1, T_2, \dots T_{n4}\}$ состоящих из треугольников $Tn=\{Tn_1, Tn_2, \dots Tn_{n5}\}$, которые в свою очередь являются связным набором ребер и точек треугольников.

B – множество блочных моделей $B=\{B_1, B_2, \dots B_{n6}\}$, каждая из которых является совокупностью блоков $Bl=\{Bl_1, Bl_2, \dots Bl_{n7}\}$.

$Attr$ – множество атрибутов модели и ее составных частей, сюда входят такие его члены, как названия, координаты, компоненты опробования, время, дата и т.д.

В качестве универсального множества моделируемого пространства недр U можно рассматривать множество всех известных (используемых для моделирования) точек трехмерного региона моделирования, следовательно:

$$U = Msmp \cup Msr \cup Mogt \quad (3.12)$$

или

$$U = (Sk \times Msmp) \cup (Trc \times Msmp) \cup (Msr \times Mpnt) \cup (Pln \times Cnt \times Pnt) \quad (3.13)$$

Инструменты решения технологических задач оперируют с ограниченным набором данных IN , являющимся подмножеством U , $IN \subset U$, при этом:

$$IN \subset Msmp \vee IN \subset Msr \vee IN \subset Mogt \quad (3.14)$$

И так же, выходные пространственно привязанные данные технологических задач OUT являются подмножеством U , $OUT \subset U$:

$$OUT \subset Msmp \vee OUT \subset Msr \vee OUT \subset Mogt \quad (3.15)$$

3.2.1 Модели ОГТ

Модель каждого ОГТ имеет структуру, отражающую присущие ему особенности. При этом основой 3D моделей является набор сечений (несущих плоскостей), на которых располагаются контуры с точками и отрезками. Сечения (фактически, это геологические разрезы или разведочные линии, горизонты карьера, поперечные сечения подземных выработок) могут быть параллельными или не параллельными.

Важной составной частью моделей являются так называемые «элементы», которые необходимы для выделения естественных или технологических разновидностей внутри объекта моделирования. Аналогом элементов может, в какой-то степени, служить концепция слоев, используемая во многих ПП для структуризации данных.

Геометрическую структуру моделей некоторых ОГТ можно представить в виде таблицы 3.2:

Таблица 3.2 – Геометрическая структура моделей различных ОГТ

Объект	Уровень 1 (плоскости) (S)	Уровень 2 (списки элементарных объектов, объединённых или не объединённых в контуры)	Уровень 3 (элементарные объекты)
Карьер	Горизонты	Бровки, съезды, валы, гипсометрия площадок	Точки, узлы
Рудное тело	Разрез, профиль	Контакты литологических или кондиционных разностей	Точки, узлы
Прирезка	Подошва, площадка	Линии, описывающие геометрию уступа	Точки, узлы
Выработка	Сечения	Линии, описывающие геометрию подошвы, бортов и свода выработки	Точки, узлы

Разработанная структура хорошо соответствует парадигме объектно-ориентированного программирования (ООП), основанной на модульной структуре, организации «сверху-вниз» и абстракции. Смысл этого подхода состоит в том, что в процессе построения программы определяются классы и создаются объекты этих классов. Объектом может быть всё, с чем осуществляются какие-либо действия. Системные элементы - экраны, видовые окна, графические элементы, компоненты доступа к БД, элементы интерфейса пользователя и взаимодействия с другими программами. Прикладные объекты представлены в виде моделей ОГТ; текстовой и графической информации к проектам.

Объекты обладают атрибутами (свойствами) (цвет, размер, плотность, координаты, стоимостные показатели и т.д.) и поведением, определяемым как список разрешенных с ними действий (методов), например: сохранить/загрузить, нарисовать себя на экране, рассчитать какой-либо параметр. Таким образом, для объекта важно и то, что он «умеет», и то, что он из себя представляет. Применительно к практике планирования и проектирования горных работ траншея есть предмет вскрывающей выработки (вскрывающая выработка выступает по отношению к траншее в роли «класса»), которая обеспечивает доступ к ПИ. Объекты могут быть абстрагированы в более широкие классы (траншеи во вскрывающие выработки) или подклассы (траншея внутреннего и внешнего заложения – разновидности траншей). Каждому классу могут быть приписаны свои свойства (траншея для установки конвейера имеет более крутой угол наклона, чем железнодорожный съезд) и способы поведения (например, скользящий съезд меняет свое местоположение с течением времени). Такой подход к реализации моделируемых

объектов более естественен для специалистов в предметной области, поскольку они оперируют привычными для них понятиями.

В языках программирования, поддерживающих ООП, на передний план выносятся абстракция и тот способ работы с характеристиками объектов, который в повседневной практике мы принимаем как нечто само собой разумеющееся. Эти языки позволяют при создании программ мыслить понятиями предметной области. Основная работа перекладывается на разработчиков объектов и их классов, и если для системных потребностей эти объекты созданы и поставляются в составе инструментальной системы, то разработка специфических классов объектов для системы проектирования и планирования горных работ является одной из основных задач при разработке таких программ. Таким образом, одним из направлений развития автоматизированной системы является разработка объектной структуры для вещественных (материальных) и понятийных объектов горного производства.

Объект верхнего уровня системы MINEFRAME реализует наиболее общие функции для всех своих «потомков» (например, запись/чтение из БД) и хранит различные атрибуты. Объекты следующего уровня, наследуя свойства «родителя», добавляют к ним поля, обеспечивающие моделирование: списка маркшейдерских точек; результатов мониторинга сейсмических событий (СС); объектов горной технологии, представляющих собой тела и поверхности; скважин с параметрами их траектории; геологических профилей. Разделение пространственных объектов горной технологии, обладающих поверхностью, на замкнутые и незамкнутые требуется для использования различных алгоритмов построения каркасных и блочных моделей, которые могут иметь существенные отличия.

Технологические объекты и их модели делятся на две группы: используемые в технологическом процессе и создаваемые в технологическом процессе. К используемым относятся объекты (машины и оборудование), с помощью которых осуществляется изменение природных объектов. К создаваемым относятся объекты, формируемые в результате изменения природных объектов. Другими словами, используемые объекты – это орудия производства, создаваемые – средства производства.

Модели создаваемых технологических объектов связаны с тем или иным технологическим процессом и используются для описания его результатов. С учетом этого все модели можно разделить на следующие виды:

- **Геологические пробы.** Данные объекты используются для моделирования данных ГО, опираясь на которые создаются модели геологических тел, формирующих месторождение.

Для моделирования данных опробования месторождения используется модель типа «геологоразведочная сеть» (рисунок 3.3), которая представляет собой набор полей и списков, несущих информацию о местоположении проб и их характеристиках, а также методов, обеспечивающих графическое отображение, обработку данных и интерфейсное управление моделью.

Под обработкой данных модели «геологоразведочная сеть» понимается комплекс процедур и функций, обеспечивающий решение задач, связанных с определением координат начала и конца пробы по данным инклинометрии, компонованием проб, их фильтрацией для отображения в выбранном объеме и т.п.

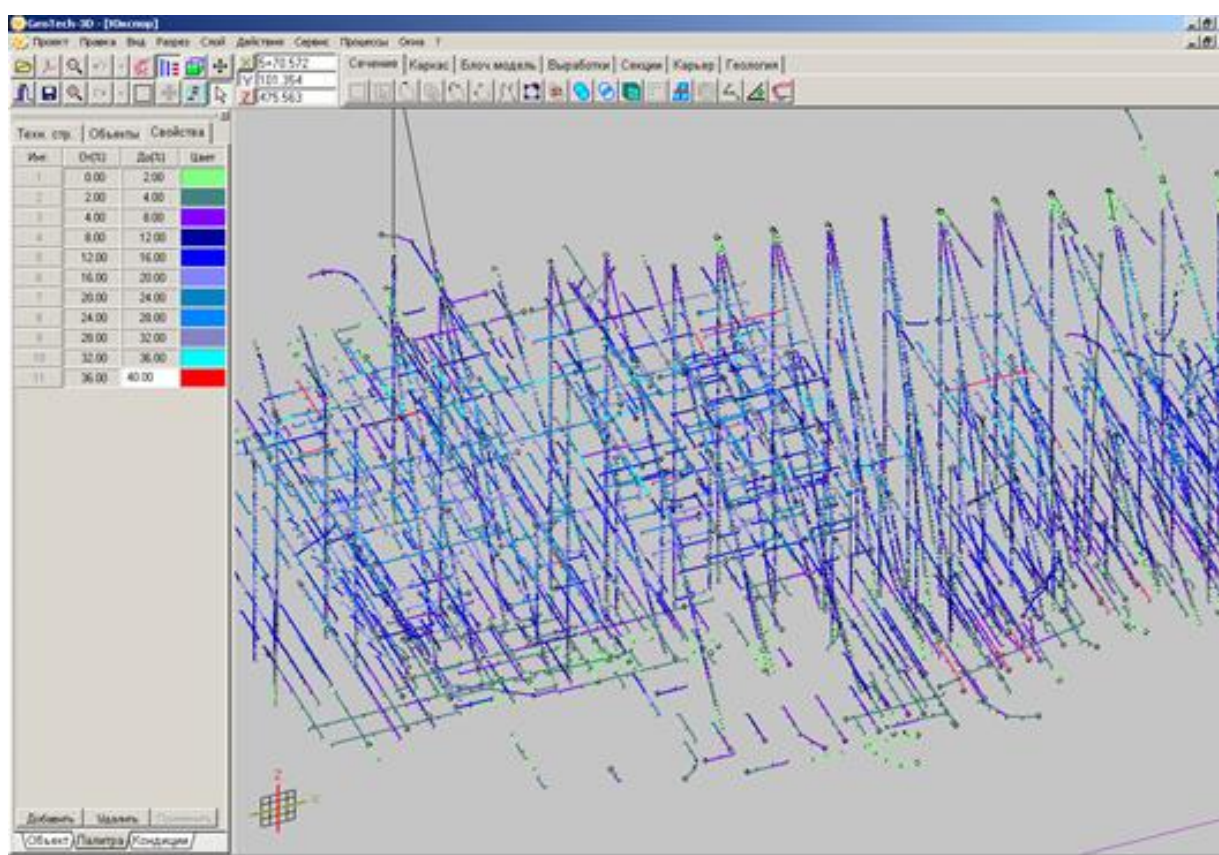


Рисунок 3.3 – Модель геологоразведочной сети

Под интерфейсным управлением понимаются элементы управления GEOTECH-3D, обеспечивающие интерактивную работу с данным типом модели.

- **Маркшейдерские точки.** Объекты этого вида используются для решения различных маркшейдерских задач, направленных на получение точных координат ОГТ.

Модель *маркшейдерская сеть* (рисунок 3.4) представляет собой список объектов, моделирующих маркшейдерские точки. В основе модели *маркшейдерской точки* лежит ее

представление как точки в 3D пространстве с определенными числовыми и текстовыми полями.

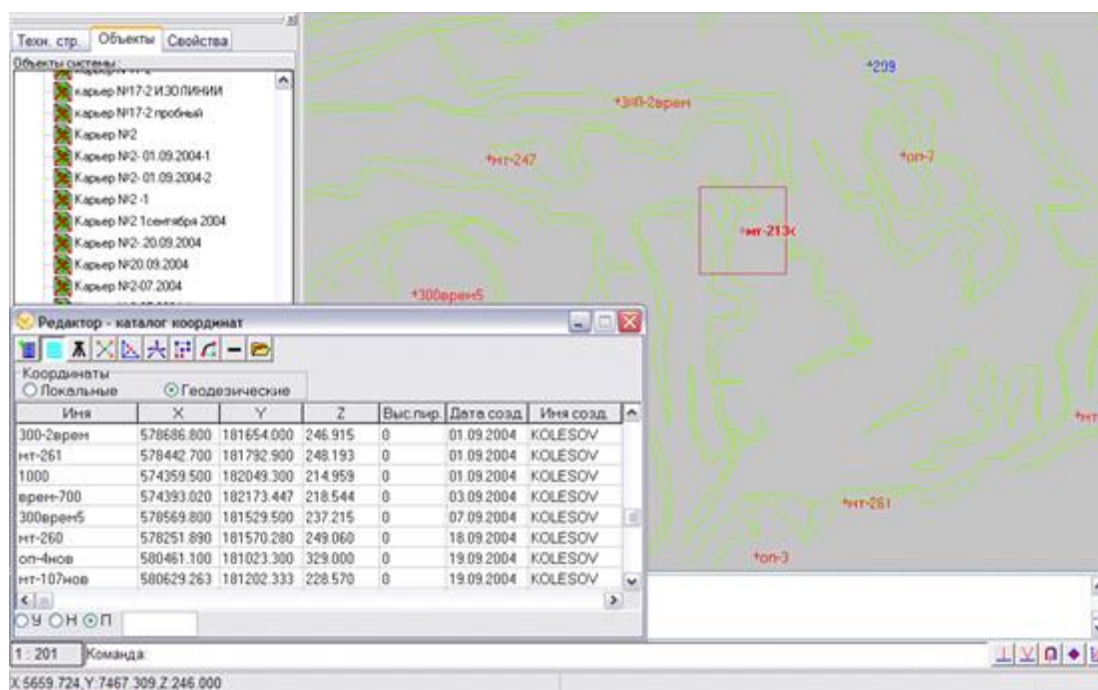


Рисунок 3.4 – Работа с моделью *маркшейдерской сети*

Отображаются маркшейдерские точки на экране монитора условными значками, вид и цвет которых зависит от принадлежности к соответствующей группе.

Для обработки информации и управления модель содержит методы, обеспечивающие поиск, редактирование и фильтрацию точек при интерактивном управлении и 3D отображении в моделируемом пространстве.

- **Горные выработки.** Подземные и открытые горные выработки являются одними из основных элементов горной технологии. В основе векторной модели подземной горной выработки лежит набор контуров её сечений, точки привязки плоскостей которых совпадают с осью выработки. Каркасная модель выработки создается путем формирования замкнутой триангуляционной модели, опирающейся на точки контуров сечений (рисунок 3.5).

Кроме даты, каждое сечение также содержит информацию о типах крепи, список которых может быть

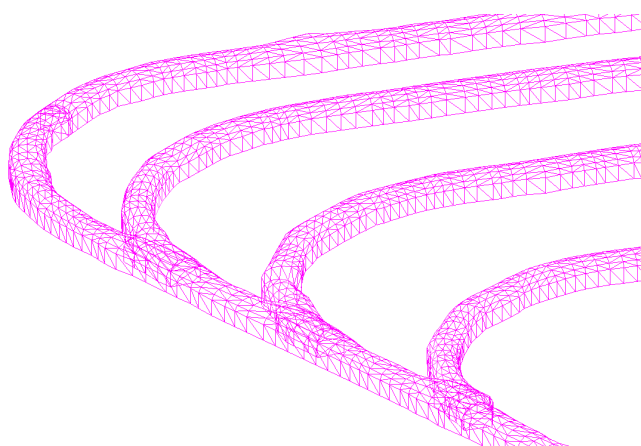


Рисунок 3.5 – Триангуляционные модели подземных выработок

специфическим для каждого месторождения. Перечисленное, а также то, что используемый тип «коллекция элементов» позволяет работать с несколькими каркасами, дают возможность моделирования стадий проходки горных выработок, их крепления и оборудования. В основе векторной модели открытой горной выработки, как правило, лежит набор контуров ее горизонтальных сечений. Контурные могут быть как замкнутыми, так и разомкнутыми. Модель открытой горной выработки (рисунок 3.6) создается путем формирования незамкнутой триангуляционной модели, опирающейся на точки контуров сечений.

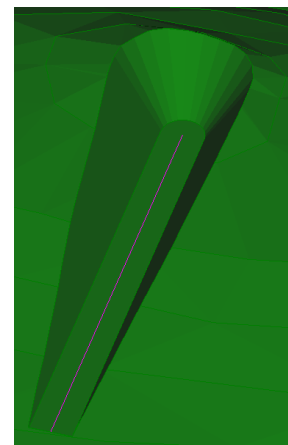


Рисунок 3.6 –
Триангуляционная
(твердотельная) модель
траншеи

В операциях, связанных с проходкой подземных горных выработок (будь то планирование или учет фактической проходки), важным является знание местоположения забоев во времени. Для реализации этой возможности каждый контур модели подземной выработки имеет поле даты, где хранится время прихода к этому сечению забоя. При этом, даты предшествующие текущей, свидетельствуют о том, что сечение располагается на пройденном участке выработки, а даты, следующие за текущей, показывают, когда забой подойдет к этому сечению.

• **Конструктивные элементы.** Конструктивные элементы являются, как правило, совокупностью нескольких горных выработок, объединенных в одну конструкцию (рисунок 3.7).

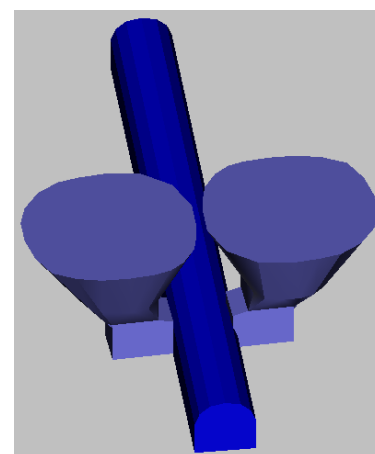


Рисунок 3.7 – Конструктивный
элемент, полученный
группировкой моделей

Для моделирования таких объектов используется группировка нескольких относительно простых моделей объектов в один. После группировки с моделью объекта могут осуществляться те же операции (копирования; перемещения; поворота; удаления; изменения габаритов, названия, цвета), что и с не группированной моделью. В группировке могут участвовать как группированные объекты, так и не группированные. Группированный объект может быть разгруппирован с получением моделей исходных объектов.

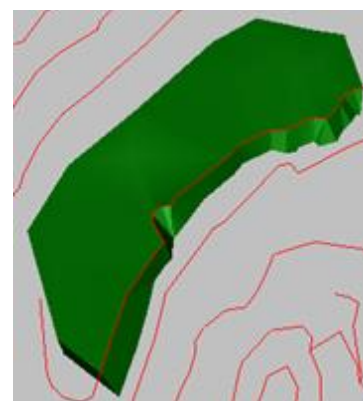


Рисунок 3.8 – Модель ВЕ
(блока)

- **Выемочные единицы** представляют собой выделяемый на месторождении участок с относительно однородными геологическими условиями и технологическими параметрами разработки. Объекты, моделирующие ВЕ (рисунок 3.8), используются в операциях проектирования и планирования горных работ, и имеют относительно простую форму.

- Векторная модель выемочной единицы представляет собой набор контуров, располагающихся на последовательном наборе плоскостей (обычно горизонтальных). Каркасная модель ВЕ создается путем формирования замкнутой триангуляционной модели, опирающейся на точки контуров сечений. Для управления процессом формирования триангуляционной модели могут использоваться «сцепки». Форма и размеры модели ВЕ зависят от используемой на месторождении системы разработки. Для подземных горных работ наиболее характерны близкие к прямоугольным формы секций, для открытых - контуры, повторяющие линии бровок уступов.

Так как модели ВЕ участвуют в операциях планирования, то содержат поля, несущие информацию об объеме, а также содержании ПИ и пустой породы в их границах. При планировании добычных работ необходимо иметь информацию о пространственном распределении ПИ в границах ВЕ, что особенно важно в случае селективной выемки, а также оперативного планирования и управления качеством рудопотока. Для реализации этих возможностей модель ВЕ, обладает возможностью формирования блочной модели, размер блоков которой выбирается исходя из сменной производительности добычного оборудования и структуры месторождения.

Зачастую, для подготовки ВЕ к добыче требуется взрывное разрушение ГП. Применительно к задачам проектирования взрывных работ всю информацию о взрывных скважинах (шпурах), конструкции их зарядов и схемах инициирования удобнее хранить непосредственно в модели ВЕ (рисунок 3.9), что и реализовано в структуре модели, используемой системой MINEFRAME.

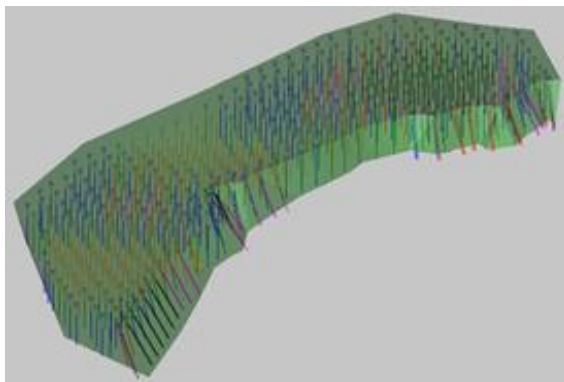


Рисунок 3.9 – Модели взрывных скважин, являющиеся элементом взрывного блока

- **Зоны, области.** Данные модели не являются отображением реальных объектов, но используются для выделения или ограничения некоторого пространства месторождения в технологических целях. Их отличие друг от друга заключается в том, что зона может быть смоделирована векторной моделью в виде контура, а область –

каркасной моделью замкнутой поверхности. В том случае, если зоны и области не однородны, изменчивость их свойств может быть смоделирована: в случае зон - набором вложенных контуров, а в случае областей – вложенными каркасами или БМ.

Модели используемых технологических объектов, как и модели создаваемых объектов, связаны с тем или иным технологическим процессом и применяются для его моделирования или ИС. Создание моделей таких объектов полезно в следующих случаях:

1. При моделировании размещения или перемещения оборудования и машин в горных выработках.
2. При планировании горных работ с использованием имитационного моделирования технологических процессов.
3. При проектировании тех видов горных работ, где необходим учет местоположения и характеристик объектов инженерных коммуникаций.

3.2.2 Модель опробования

Данный тип модели объекта используется для представления данных геологического опробования (рисунок 3.10). Модель состоит из списка свойств и набора скважин (выработок), для каждой из которых существует список проб, которые, в свою

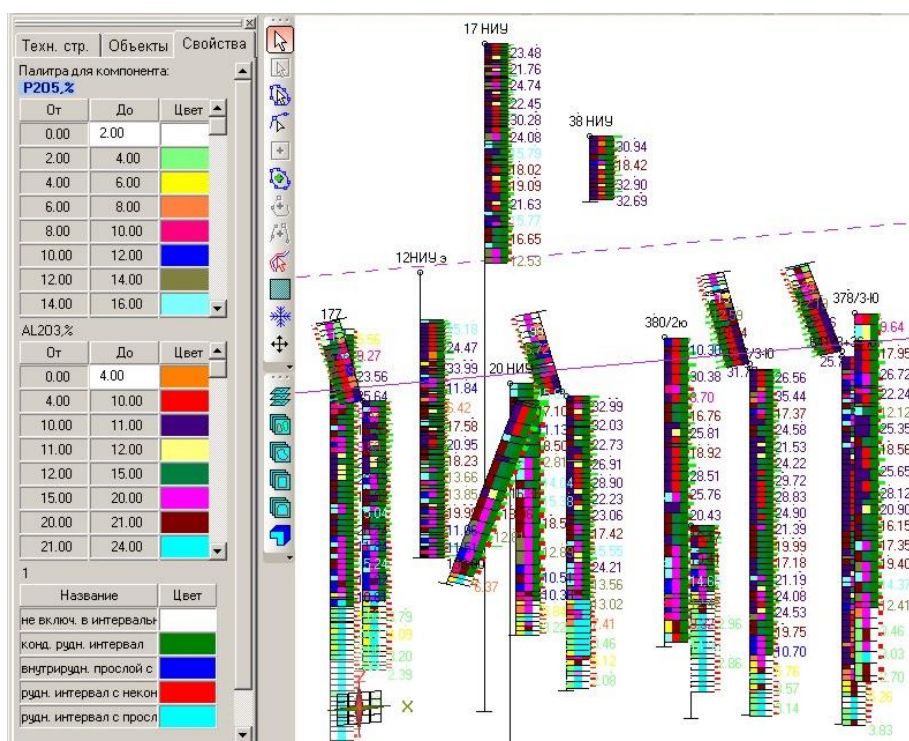


Рисунок 3.10 – Отображение данных опробования в 3D моделируемом пространстве

очередь, содержат список компонентов ПИ со значениями содержаний или иных характеристик. Каждая проба в исходном состоянии моделируется отрезком в 3D

пространстве, координаты начала и конца которого для скважин определяются с учетом координат устья и данных по замерам инклинометрии. Наряду с линейным представлением пробы, применяемым для моделирования исходных данных геологической разведки, используется также точечное представление, применяемое в геостатистических исследованиях. Для преобразования моделей линейных проб в точечные используется процедура композирования (нормализации), суть которой сводится к формированию из последовательного набора линейных проб разной длины нового набора проб равной длины. При этом координаты нормализованной пробы соответствуют координатам центра интервала, связанного с данным шагом нормализации, а содержания рассчитываются с учетом вклада каждой входящей в интервал пробы или ее части. Делается это с целью придания пробам одинакового «веса», необходимого для правильной реализации процедур геостатистического исследования и интерполяции данных опробования [150]. После выполнения процедуры композирования можно не учитывать длины проб, моделируя саму пробу точкой в 3D пространстве, координатами которой является середина отрезка. При выполнении процедуры композирования важно помнить, что уменьшение длин проб приводит к увеличению их числа и, следовательно, к замедлению расчетов, а увеличение длин – к сглаживанию значений содержаний за счет усреднения и, следовательно, к искажению картины изменчивости содержания в исследуемом пространстве.

Модель геологоразведочной сети состоит из нескольких частей с определенными свойствами, состав которых предопределен технологией документирования данных геологической разведки (координаты устьев скважин, имена скважин и разведочных выработок, поля «от» и «до» в скважинном опробовании и т. д.). Списки других могут изменяться в зависимости от характеристик моделируемой геологической обстановки (набор опробованных компонентов, типы пород и т.д.) (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Составные части модели опробования

На экране монитора пробы могут отображаться в двух видах (рисунок 3.12):

- Исходное состояние – отрезки, представляющие собой отдельные пробы, цвет которых связан с диапазоном содержания для текущего компонента. В этом виде могут быть отображены и кондиционные интервалы – отрезки, представляющие собой группы проб, цвет которых определен принадлежностью пробы к определенному типу кондиции. Для расширения возможности анализа данных опробования была добавлена возможность их представления одновременно по нескольким компонентам (типам данных) ПИ, как в форме отрезков, так и в форме гистограммы.

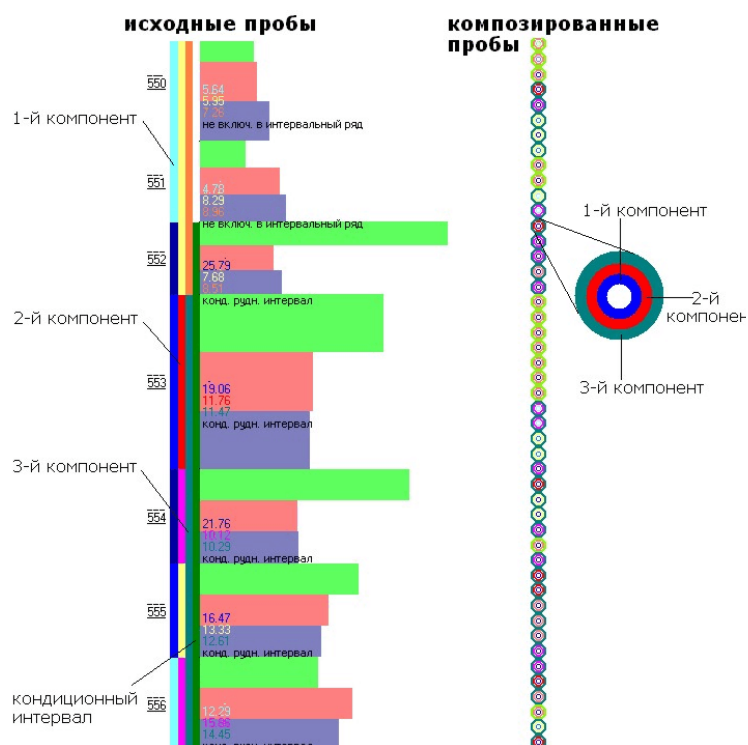


Рисунок 3.12 – Вид представление данных опробования

- Композированные пробы – точки, цвет которых связан с диапазоном содержания для текущего компонента. Для композированных проб также имеется возможность многокомпонентного представления.

3.2.3 Модель сети съемочного маркшейдерского обоснования

Данная модель используется для представления точек маркшейдерского обоснования. В основе модели лежит ее представление набором точек в 3D пространстве с

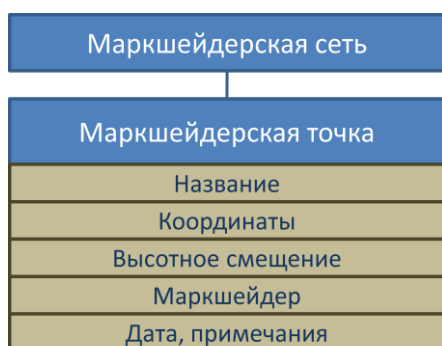


Рисунок 3.13 – Структура модели маркшейдерской сети

определенными числовыми и текстовыми характеристиками (рисунок 3.13), такими, как:

- высотное смещение, которое показывает расстояние по вертикали от точки с зафиксированными координатами до точки, где технологически удобней производить измерение (для ОГР это высота пирамиды, для подземных горных работ – длина отвеса);
- фамилия маркшейдера, дата, примечание (эти поля несут вспомогательную информацию).

Основой для решения маркшейдерских задач является БД (каталог) маркшейдерских точек. Все инструменты, обеспечивающие формирование моделей точек и решение стандартных маркшейдерских задач, реализованы в форме маркшейдерского редактора, являющегося одним из инструментов GEOTECH-3D. С помощью редактора решаются такие задачи, как: пополнение и редактирование каталога маркшейдерских точек, нахождение дирекционного угла, определение координат точки методом прямой и обратной засечки, расчет и уравнивание теодолитного хода, обработка результатов тахеометрической съемки. Результаты расчёта в виде моделей маркшейдерских объектов отображаются в 3D моделируемом пространстве, что обеспечивает визуальный контроль над выполненными вычислительными операциями.

3.2.4 Модель 3D технологического объекта

Модель ОГТ (рисунок 3.14) используется для моделирования объектов горной технологии, таких, как элементы геологической среды, открытые и подземные горные выработки, отвалы и насыпи, ВЕ, блоки, секции прирезки и пр. В основе модели лежит список свойств и набор сечений, на плоскостях которых располагаются контуры с точками, отрезками или контурами. Параллельные (или квазипараллельные) сечения используются, как правило, для создания объектов, имеющих прямолинейную ось (рудные тела, поверхность карьера и т.д.). Непараллельные сечения используются для создания объектов, имеющих ломаную ось (выработки, конструктивные элементы).

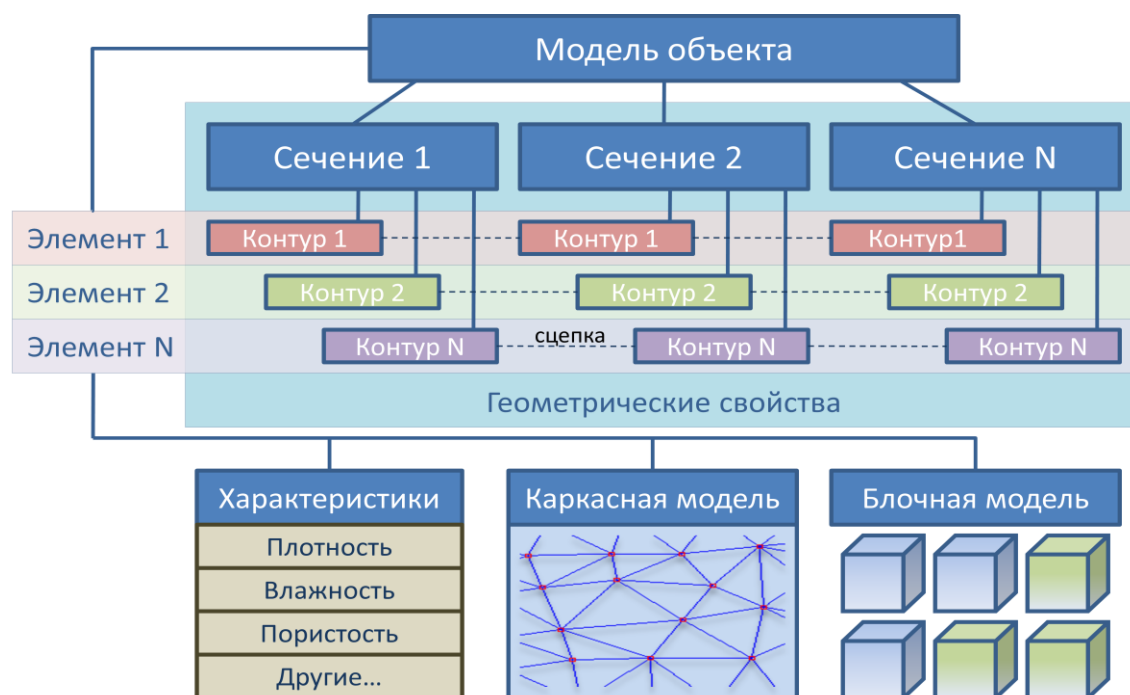


Рисунок 3.14 – Структура модели ОГТ

На сечениях располагаются контуры, состоящие из точек или отрезков (рисунок 3.15). Контур не обязательно лежит в плоскости сечения. Контур формирует векторную модель и может относиться к различным элементам, каждый из которых может иметь свою триангуляционную и блочную модели.

Каждый элемент содержит свой список свойств, который может динамически пополняться. Частично свойства элементов являются предопределенными (например, плотность, пористость) и могут использоваться в различных расчётах (например: расчёт массы по объёму каркасной модели).

Оболочка модели представлена триангуляционной сетью, которая построена на точках контуров и моделирует поверхность элемента, а, следовательно, задает форму и размеры ОГТ.

Так как контуры формируются на одном наборе сечений, существует возможность создания триангуляционных моделей с использованием точек, принадлежащих разным элементам. Это обеспечивает необходимую гибкость, как в случае формирования триангуляций с общей границей, так и в случае построения поверхностей, опирающихся на векторные модели нескольких элементов (например, верхняя и нижняя бровки уступов карьера). С помощью каркасных моделей могут быть смоделированы тела и поверхности. В первом случае создаются замкнутые триангуляционные поверхности, во втором –

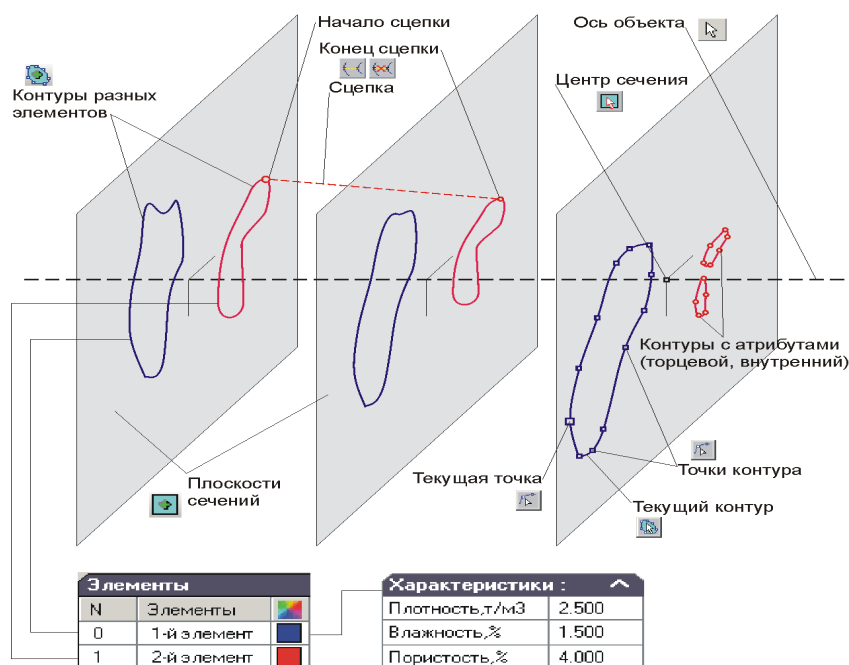


Рисунок 3.15 – Векторное представление модели ОГТ и инструменты, обеспечивающие её формирование

разомкнутые. Для управления процессом триангуляции используются «цепки», которые локализуют области триангуляции.

Опыт использования инструментальных средств построения сложных моделей, в первую очередь, рудных тел выявил недостаточность такого инструмента, как простая «цепка» (отрезок, соединяющий точки соседних контуров и локализирующий таким образом область триангуляции). Для расширения возможностей по созданию сложных каркасных моделей была введена возможность задавать цепки контурами, состоящими более чем из двух точек.

Для элементов, имеющих замкнутые триангуляционные модели, могут быть созданы БМ, представляющие собой упорядоченное множество прямоугольных параллелепипедов, размещенных внутри каркасной модели объекта. БМ используются для задания изменчивости внутреннего строения тела (обычно – содержания ПИ или других признаков применительно к модели рудного тела или пласта).

В зависимости от решаемых задач и потребностей пользователя модели ОГТ могут отображаться в следующих видах (рисунок 3.16):

- Векторное представление – точки, объединенные или не объединенные в полилинии, или отрезки, цвет которых, как правило, соответствует цвету связанных с ним элементов.
- Триангуляционная модель – треугольники, построенные на точках контуров соответствующих элементов.

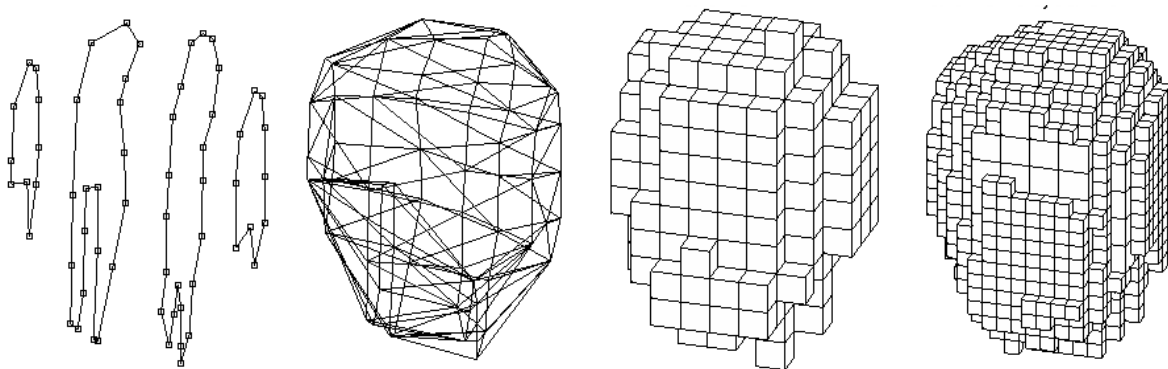


Рисунок 3.16 – Отображение моделей рудных тел.

Слева направо: векторное, триангуляционное, блочное, блочное с субблоками

- БМ – упорядоченное множество прямоугольных параллелепипедов, размещенных внутри замкнутой каркасной модели. Субблоки (прямоугольные параллелепипеды, кратным образом размещенные внутри блоков) используются для более точной передачи формы поверхности каркасной модели.

Все модели объектов горной технологии отображаются в 3D пространстве, на планах и разрезах. Для работы с ними ГГИС содержит обширный набор инструментов, а управление происходит с помощью системы элементов интерфейса, обеспечивающей возможность индивидуального и группового изменения свойств объектов.

3.2.5 Триангуляционное моделирование

Триангуляционное моделирование является основным приемом при моделировании практически всех объектов горной технологии и геологической обстановки, имеющих поверхность – как незамкнутую: рельеф местности, открытые и подземные выработки, насыпи; так и замкнутую: сооружения, рудные тела, пласты и пр. Триангуляционная модель объекта представляет собой поверхность в виде множества треугольников, вершины которых опираются на опорные точки векторной модели. Другими словами, объемные геологические объекты могут быть представлены фигурами, поверхность которых состоит из смежных треугольников. Три точки треугольника однозначно определяют плоскость, что позволяет решать задачи определения пересечения и объединения фигур, нахождения пространственного отношения объемной фигуры и других геометрических объектов, таких, как точка, луч, прямая, ломаная.

В MINEFRAME для разных типов объектов реализованы (рисунок 3.17) несколько стандартных способов построения триангуляционных замкнутых и разомкнутых моделей поверхностей, которые могут использоваться в сочетании друг с другом и отдельно.

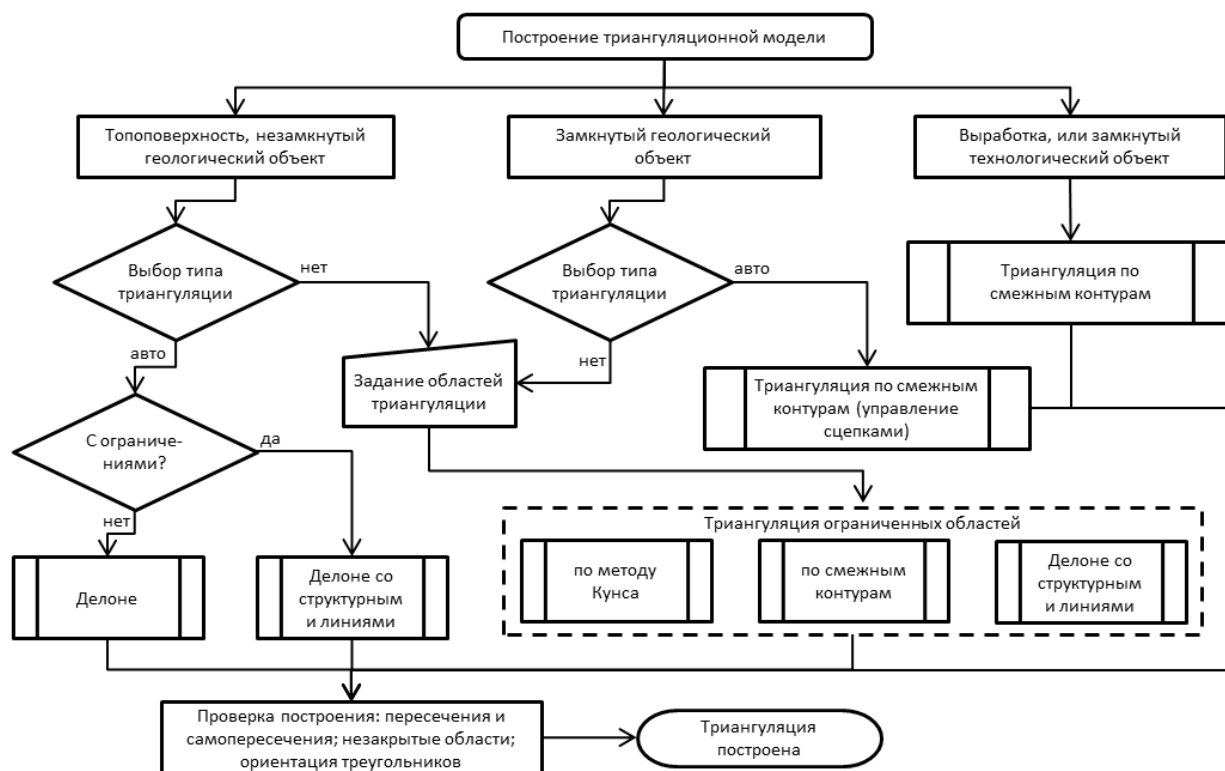


Рисунок 3.17 – Блок-схема способов построения триангуляционных моделей

1. *Простая триангуляция.* Триангуляционная поверхность создается по точкам контуров соседних разрезов между линиями контактов и их частей без добавления дополнительных точек (линейная интерполяция). Точки контуров располагаются на плоскостях, имеющих близкую ориентацию. Для управления процедурой формирования треугольников используются «цепки» - отрезки, которые локализуют область триангуляции (рисунок 3.18а).

2. *Триангуляция Делоне.* Триангуляционная поверхность создается на «облаке» точек с использованием критерия Делоне. В основе метода лежит создание треугольников, наиболее близких по форме к правильным (рисунок 3.18б). Используется этот метод при триангуляции областей, лежащих внутри замкнутых контуров (например, торцевые контуры моделей тел), а также при создании моделей, как естественных (например, природный рельеф), так и техногенных (например, карьер, отвал) поверхностей.

3. *Триангуляция поверхностей Кунса.* Триангуляционная поверхность создается по точкам контуров, лежащих в плоскостях двух систем разрезов. В этом случае роль «цепок» для контуров одной системы разрезов (например - вертикальных) выполняют контуры другой системы разрезов (например - горизонтальных). Локализованные таким образом участки поверхности триангулируются с помощью метода Кунса (рисунок 3.18в), обеспечивающего формирование поверхностей с созданием дополнительных точек, равномерно заполняющих область построения поверхности.

4. *Триангуляция на интерполяционных сетках.* Триангуляция на основе методов

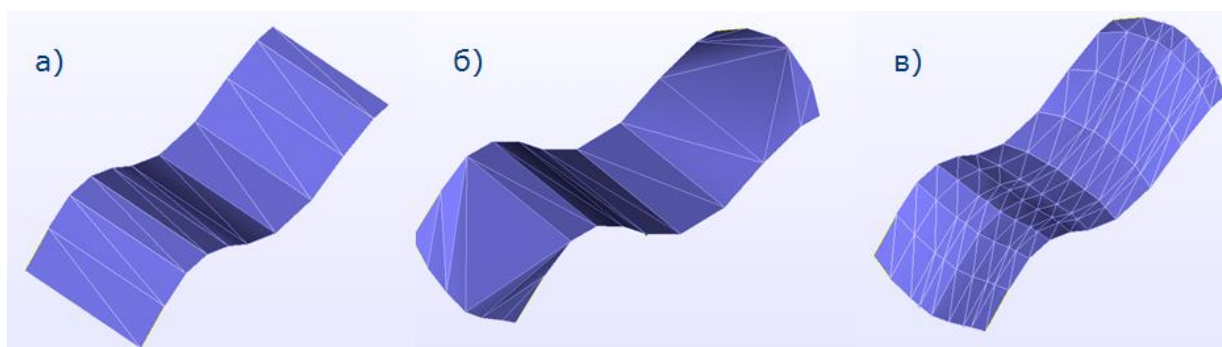


Рисунок 3.18 – Триангуляция моделей замкнутых и разомкнутых поверхностей на основе линейной интерполяции (а), триангуляции Делоне (б), билинейной интерполяции (в)

сеточного моделирования, обеспечивающая сглаживание поверхностей пластов и топоповерхностей при использовании методов дистанционного взвешивания.

Триангуляционные модели объектов геологической среды являются основой для построения БМ и расчета качественных показателей распределения полезных и вредных компонентов в пространстве. Как правило, модель месторождения состоит из моделей

нескольких рудных тел, пластов, моделей разломов, даек и пр. Каждый из таких объектов моделируется отдельно. Если рудные тела (пласты) расположены на одной системе разрезов (сечений), то они могут принадлежать одному объекту, как различные элементы. Если рудные тела прилегают друг к другу и имеют общую границу, то их также необходимо разместить на одном наборе сечений.

Обычный подход к построению триангуляционных моделей геологических тел, реализованный во многих ГГИС, заключается в том, что каркасная модель строится на наборе замкнутых контуров (контактов рудных тел на разрезах). Каркасная модель объекта представляет собой триангуляционную сетку, натянутую на опорные точки модели и покрывающую всю поверхность объекта (принцип линейной интерполяции). Опорные точки, как правило, принадлежат контурам, лежащим на одной системе

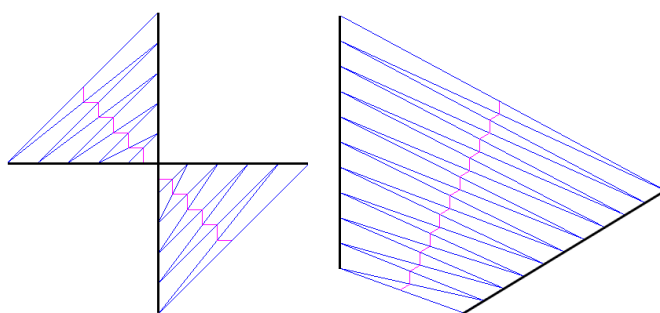


Рисунок 3.19 – Ступенчатый эффект, видимый на линии разреза, при триангуляции поверхности между двумя ортогональными не пересекающимися отрезками (вид в двух проекциях)

разрезов. Каркасные модели, построенные на одной системе разрезов (обычно, вертикальных), используются для моделирования рудных тел на основе данных геологической разведки. Форма поверхности между разрезами интерполируется по линейному закону, т.к. соединение точек, лежащих на них контуров,

производится ребрами треугольников, составляющих эту поверхность. Такой способ позволяет с приемлемой точностью моделировать тела, изменчивость которых между разрезами невелика. Однако, зачастую геометрия смежных контуров серьезно различается, что порождает эффект ступенчатой формы триангуляционной поверхности между ними. Это влияет на качество каркасных моделей, порождает ошибки при расчете объемов, влияет на корректность построения БМ. В тех случаях, когда амплитуда изменчивости формы смежных контактов (кровли и почвы) соизмерима с размером моделируемого объекта (например, мощностью пласта) ступенчатый эффект может привести к пересечению треугольников каркасной модели друг другом, что ведет к её полной непригодности для дальнейшего использования. Ступенчатый эффект возникает даже при триангуляции прямолинейных участков контуров, если эти участки не параллельны (рисунок 3.19). Добавление в контуры контактов дополнительных точек, выравнивание их количества на соединяемых участках и их сглаживание не всегда могут решить эту проблему. Для её решения можно использовать опорные точки не только на

границе триангулируемой области, но и внутри неё. Необходимость применения такого решения появляется и тогда, когда при построении модели используются две системы разрезов. Чаще всего это комбинация вертикальных и горизонтальных разрезов. В таких случаях появляется возможность моделировать поверхность геологических тел, используя более полные данные об их геометрии. При этом подходе поверхность тела разбивается на четырехсторонние области, ограниченные участками контуров вертикальных и горизонтальных разрезов (рисунок 3.20а). Для формирования поверхности используется

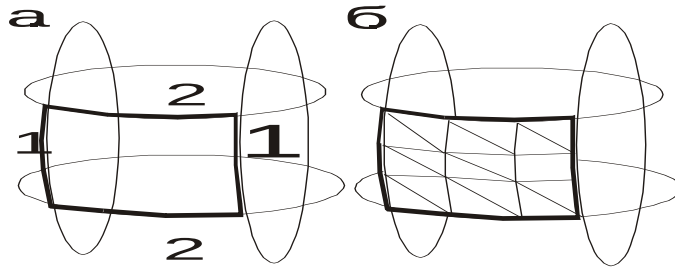


Рисунок 3.20 – Схема к моделированию поверхности Кунса: а – разбиение поверхности тела на регионы; б – регион закрыт каркасной моделью; 1 – контуры разрезов; 2 – планов.

метод Кунса [96, 205]. Точки противоположных сторон этой области, соединяясь между собой, задают геометрию внутреннего пространства, координаты точек которого вычисляются с помощью билинейной интерполяции в двух направлениях.

$$r(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m w_i B_i^m(u) P_i}{\sum_{i=0}^m w_i B_i^m(u)} + \frac{\sum_{j=0}^n w_j B_j^n(v) P_j}{\sum_{j=0}^n w_j B_j^n(v)} - \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n w_{ij} B_i^m(u) B_j^n(v) P_{ij}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n w_{ij} B_i^m(u) B_j^n(v)}, \quad 0 \leq u, v \leq 1. \quad (3.16)$$

Где

w_i, w_j, w_{ij} - весовые коэффициенты;

$B_i^m(u), B_j^n(v)$ - полиномы Берштейна;

$P = \{P_{ij}, i=0,1,\dots,n, j=0,1,\dots,n\}$ - заданный массив точек;

Другими словами поверхность на 4-линиях выделенного региона определяется суммой двух линейчатых поверхностей (заданных на противоположных линиях), минус косая плоскость, общая для той и другой поверхности. Исходные и сгенерированные точки становятся основой для построения каркасной модели. При таком построении

ступенчатый эффект практически полностью отсутствует за счет увеличения количества треугольников и более точного учёта геометрии поверхности (рисунок 3.21).

Моделирование пластовых месторождений имеет свои особенности. Поверхности кровли и подошвы пласта заданы кондиционными интервалами скважинного опробования, что задает геометрию пласта в высотных отметках.

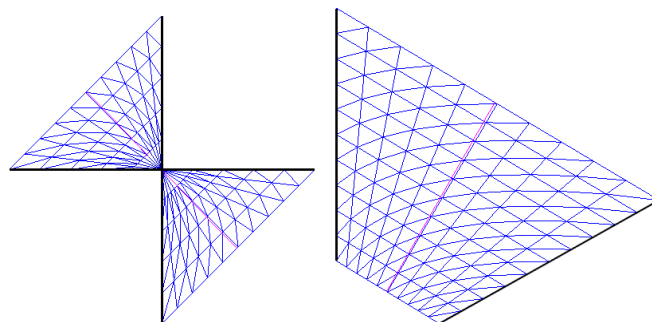


Рисунок 3.21 – Триангуляции поверхности между двумя ортогональными не пересекающимися отрезками с использованием метода Кунса

Границы пласта по простиранию и падению задаются так называемым нулевым контуром, определяющим зоны выклинивания пласта (где его мощность равна 0), который отстраивается на основе анализа рудных (угольных) и пустых скважин. Внутренние нулевые контуры формируют безрудные зоны пласта. Векторная модель пласта состоит из отрезков рудных интервалов и ограничивающих контуров нулевой мощности. Модель строится в два этапа: на первом – создаётся триангуляционная модель с учетом нулевых контуров; на втором - нулевые контуры заменяются контурами кондиционной мощности, положение которых определяется с помощью триангуляционной модели первого этапа.

Для сглаживания поверхностей пластов и топоповерхностей используются методы сеточного моделирования (рисунок 3.22).

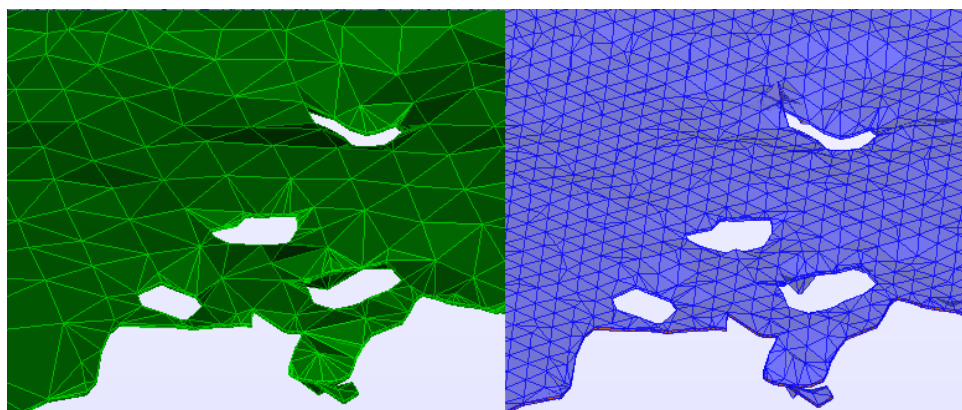


Рисунок 3.22 – Исходная каркасная модель пласта (слева) и модель пласта с дополнительными интерполяционными точками, полученными методом обратных расстояний (справа)

Суть их заключается в том, что в модель поверхности добавляются точки, расположенные в узлах равномерной сетки (прямоугольной или треугольной в проекции

на некоторую плоскость, обычно горизонтальную), высотные отметки которых вычисляются путём интерполяции координат известных точек. Самым распространённым методом интерполяции является метод дистанционного взвешивания, согласно которому влияние известных точек на расчетную точку сетки обратно пропорционально расстоянию между ними. Весовые коэффициенты влияния известных точек на значение искомой координаты расчётной точки пропорциональны степенной функции расстояния между ними. При вычислении интерполяционной функции в расчетной точке сумма всех назначенных весов равна единице, а весовой коэффициент каждой исходной точки является долей общего единичного веса. Чем выше значение степени, тем сильнее влияние более близких известных точек на расчётную.

На основе весовых коэффициентов был разработан алгоритм расчета направляющих линий, которые представляют собой природные структурные линии, формирующие поверхность на вершинах гор и хребтов, дне долин, в руслах рек. Направляющие линии включаются в триангуляцию, чтобы избежать появления плоских участков в местах перегибов рельефа (рисунок 3.23).

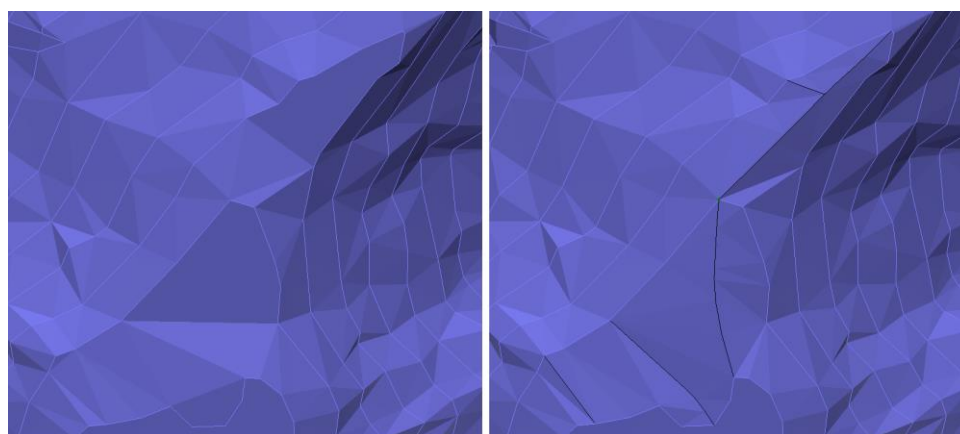


Рисунок 3.23 – Каркасные модели – слева до и справа после вставки направляющих линий в центральной части фрагмента поверхности

Инструмент проверки триангуляционных моделей на правильность построения необходим для того, чтобы исключить ошибки, возникающие при моделировании. Он включает в себя такие проверки как: пересечения треугольников друг с другом в одной модели; пересечения триангуляционных моделей друг с другом; проверка на наличие незакрытых областей в моделях с замкнутыми поверхностями; удаление вырожденных треугольников; удаление треугольников внутри/снаружи указанного контура. Кроме того, для каждой триангуляционной модели можно получить параметры: количество слоев модели, треугольников; площадь поверхности и объем каркаса.

Для совершенствования методов каркасного моделирования реализованы следующие функции: триангуляция поверхности между двумя выбранными контурами и внутри замкнутого контура; автоматическая корректировка триангуляционной модели после добавления/удаления точек/контуров; исключение точек/контуров из каркаса без их удаления; создание треугольников по выбранным точкам; удаление выбранных треугольников; переброска диагонали двух смежных треугольников (флип); триангуляция поверхности подземных выработок и выработанного пространства по облаку точек (лазерная съемка).

3.2.6 Принципы и возможности блочно-модельного представления объектов горной технологии

Блочное моделирование стало распространенным приемом для представления пространственного распределения различных свойств и признаков пород, слагающих массив ГП. Суть блочно-модельного представления заключается в разбиении (дискретизации) исследуемого участка недр на достаточно мелкие области (блоки), которым назначаются какие-либо признаки. Блоки, как правило, имеют форму прямоугольных параллелепипедов, размер их зависит от требований точности моделирования, а их количество ограничивается возможностями вычислительной техники и особенностями алгоритмов. Компромиссом между точностью моделирования и количеством блоков является применение БМ с субблоками, когда основные блоки дробятся на более мелкие в местах, где имеются границы переходов от одних пород к другим, к выработанному горными работами пространству и пр. Таким образом, происходит сгущение сети БМ для более точного описания геометрических особенностей моделируемых объектов. Фактически говоря о блоках, необходимо иметь ввиду, что речь идет о точках – центроидах блоков и о распространении действия свойств принадлежащих этой точке, на часть пространства недр, попадающую в область внутри границ блока.

Исторически блочное моделирование сначала применялось в задачах геологического моделирования для подсчета запасов ПИ. Основной информацией, хранящейся в такой модели, были данные о содержании полезных и вредных компонентов, минералогическом составе пород, распределении руд и пустых пород. На основе этих данных появилась возможность оценивать экономические показатели каждого блока и принимать решение о необходимости и очередности его отработки. Таким образом, задавая затраты на извлечение рудных/породных блоков и ценность извлекаемого ПИ, можно строить экономические модели для определения границ

карьеров, проведения горно-геометрического анализа, календарного планирования развития горных работ для открытой и подземной разработки.

Общность блочного подхода к дискретизации пространства недр, подверженного воздействию горных работ, позволяет совмещать в единой БМ разнородные данные, характеризующие массив ГП с различных сторон, агрегируя совокупность всего набора известных свойств, как природных, так и технологических, являющихся, как правило, производными от первых.

Так появляется группа геомеханических характеристик, включающая наблюдаемые данные, например: физико-механические свойства ГП, энергия СС, значения напряжений и деформаций, рейтинговые оценки массивов ГП. Значения напряжений и деформаций могут быть получены и при интерполяции значений из сетки конечных элементов расчета НДС. Расчетными также являются допустимые значения углов наклона бортов и уступов карьеров, откосов отвалов, категорий состояния выработок. Информация о зонах ослаблений, повышенной трещиноватости, тектонических нарушениях и других особенностях строения массива ГП помещается в БМ в виде тестовой информации или как индексы соответствующих отдельностей.

Технологическая информация представлена в БМ данными, которые характеризуют выделение технологических зон: открытые/подземные горные работы; рудная/вскрышная их разновидности; по вариантам применяемых структур комплексной механизации; районирование по показателям буримости и взрываемости ГП.

Объединение таких разнородных данных в единой модели дает возможность учета многофакторности природных, технологических и экономических показателей в сложных вариантных и оптимизационных расчетах при проектировании и планировании горных работ (рисунок 3.24).

Инструменты построения и обработки БМ необходимы для представления пространственного распределения в недрах природных компонентов, технологических признаков, экономической информации. Для решения этих задач реализованы средства построения БМ различных типов, а также перестройки (переблокировки) БМ в модель с другими параметрами субблокирования или размерами блока. При этом имеющиеся в блоках значения атрибутов будут перераспределены по новым блокам (рисунок 3.25). Реализована возможность табличного представления БМ, в которой строки таблицы содержат информацию о каждом блоке модели (координаты центры блока, его размеры, атрибуты). В качестве атрибутов могут выступать геологические, экономические, геомеханические и технологические показатели, а также расчетные характеристики.

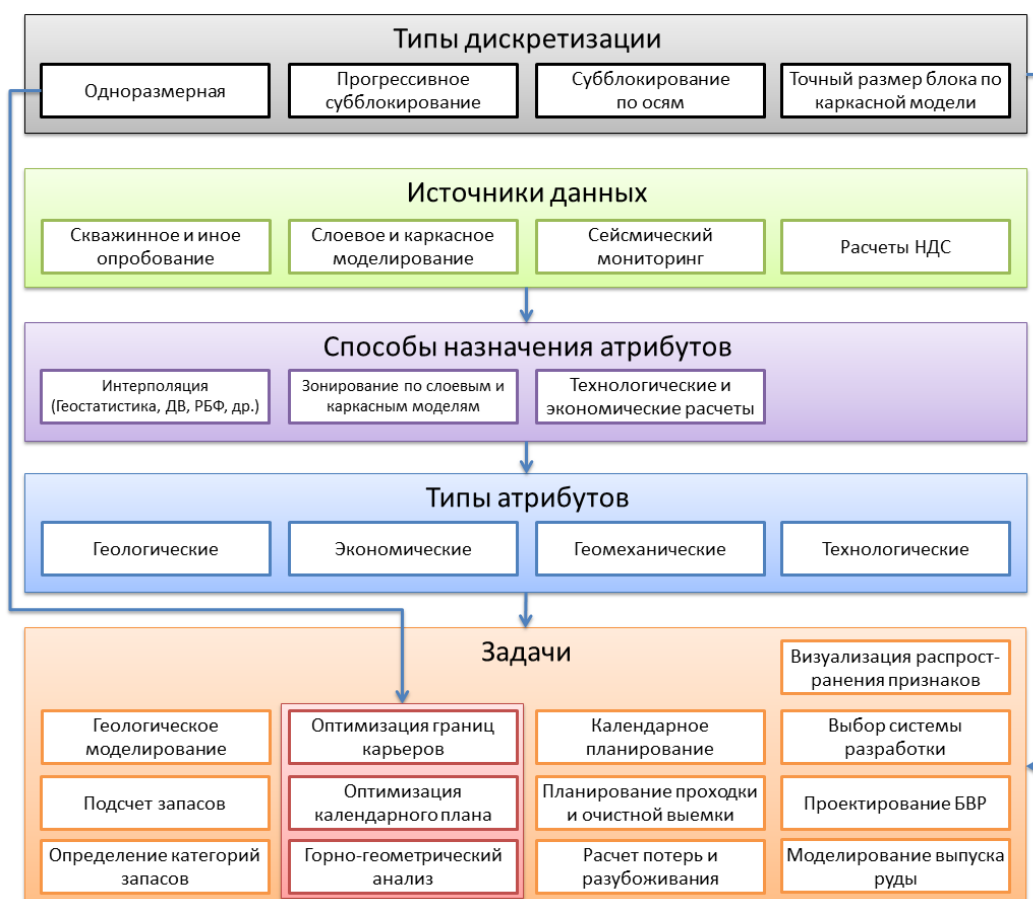


Рисунок 3.24 – БМ - типы, данные, способы построения, задачи

Реализована возможность пространственной и условной фильтрации БМ и создания новых атрибутов либо для всех блоков модели, либо для их групп. Помимо

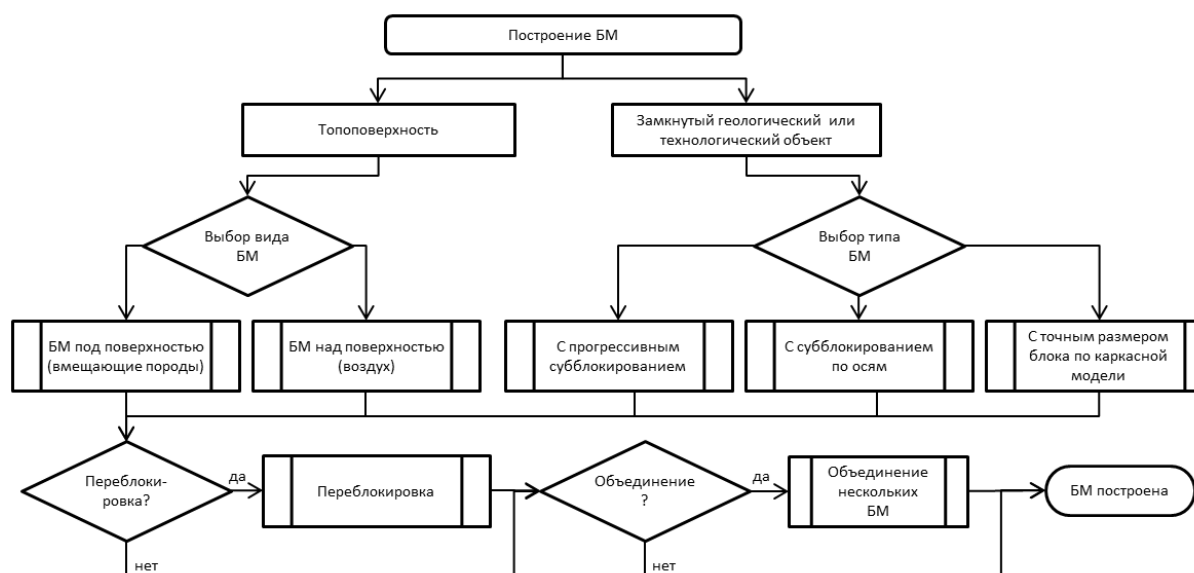


Рисунок 3.25 – Построение БМ

стандартной субблокировки, когда материнский блок делится на две части по всем трем пространственным направлениям, есть возможность делить блок на различное количество

субблоков в каждом направлении. Выделяются несколько типов построения и субблокирования БМ (рисунок 3.26):

1. Одномерная модель – блоки имеют одинаковый размер, располагаются в

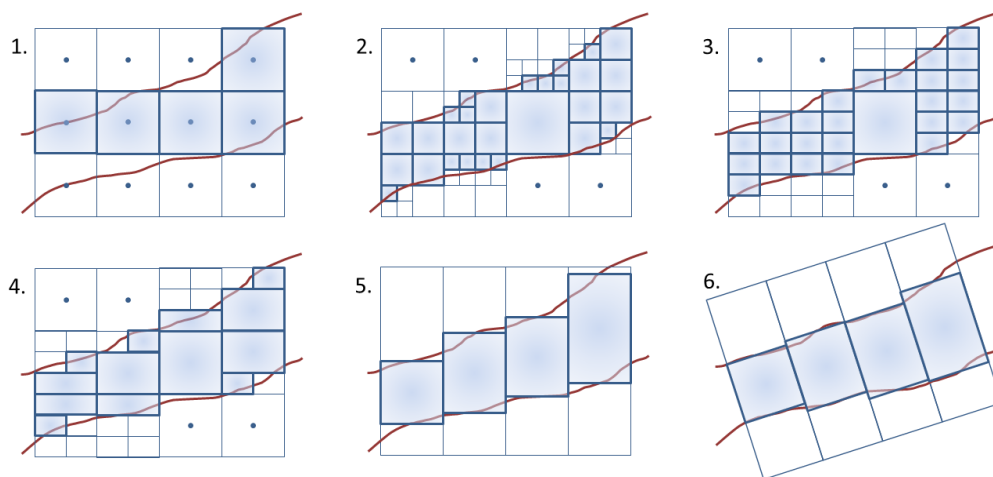


Рисунок 3.26 – Основные типы БМ

- 1 – одномерная; 2 – с прогрессивным субблокированием;
- 3 – с субблокированием по осям; 4 – то же с объединением субблоков;
- 5 – с размерами блоков по геологическим контактам;
- 6 – с поворотом решетки разбиения

прямоугольной пространственной решетке, субблокирования нет.

2. Прогрессивное субблокирование – подробление основных блоков и субблоков производится на две части в каждом пространственном направлении, таким образом, блок делится на восемь производных субблоков, каждый из которых также может быть рекурсивно разделен таким же образом. Степень дробления задается показателем степени дробления 2, 4, 8 (как максимальное количество дроблений основного блока).

3. Субблокирование с явным заданием количества дроблений по каждой пространственной оси.

4. То же с объединением нескольких субблоков (там, где это возможно) в пределах основных блоков.

5. Размеры блоков по одному из направлений задаются точно по геологическим контактам (чаще всего по границам, задаваемым триангуляционной моделью).

6. С поворотом решетки разбиения в соответствие с элементами залегания рудных тел, чаще всего простирания и падения. Этот прием построения может быть использован для любых предыдущих типов БМ.

Как пример наиболее характерного использования БМ можно привести задачи, связанные с геологическим моделированием, подсчетом запасов. Так, для нахождения зависимостей, описывающих изменчивость содержания полезного компонента,

используются методы теории пространственной переменной – геостатистики, являющейся мощным инструментом для получения наиболее достоверной информации о запасах ПИ, оптимального планирования их отработки и проведения геологоразведочных работ. Инструменты геостатистического анализа позволяют проводить полный цикл исследований месторождения с целью получения значений, например, содержания полезных компонентов в любой точке массива в пределах рудных тел, включающий подбор теоретических вариограмм по направлениям и осуществление перекрестной проверки математической модели изменчивости.

Заключительным этапом анализа является кригинг – нахождение наилучшей оценки средневзвешенного значения содержания полезного компонента в блоке. Для оценки пространственной переменной используются значения опробования (других геомеханических и технологических характеристик) как внутри, так и вне оцениваемого блока, с весами, обеспечивающими минимум дисперсии оценки. При верно выбранной модели вариограммы получается близкое к истинному среднее исследуемого показателя по оцениваемому участку недр, так как не происходит систематического завышения или занижения значений. Точность расчёта показателей в блоках зависит от правильности выбранных вариограмм, характера распространения исходных экспериментальных данных, точности сбора исходной информации, интерпретации формы исследуемых объектов горной технологии и т.д. С учетом всех условий модель, созданная по данному методу, будет иметь наименьшую ошибку в оценке исследуемого признака. Кроме кригинга, наиболее часто используется еще один метод интерполяции – метод дистанционного взвешивания (обратных расстояний различных степеней) с учетом эллипсоида анизотропии рассчитываемых свойств.

3.3 Алгоритмы моделирования

3.3.1 Системы координат в ГГИС

Моделирование геологических объектов и ОГТ всегда происходит в определенном регионе пространства недр или поверхности Земли. В связи с этим, важно правильно задать привязку моделируемых объектов к определенной системе координат, а также необходимо иметь возможность перехода из одной системы координат в другую. Причем, переход в различные системы координат (декартовы, полярные, цилиндрические,), используется как при создании моделей объектов, так и при подготовке графических материалов (переходы между геодезическими, рудничными или местными системами координат).

Наиболее часто используемые координатные системы – декартовы прямоугольные. Кроме прямоугольных систем координат существуют косоугольные системы.

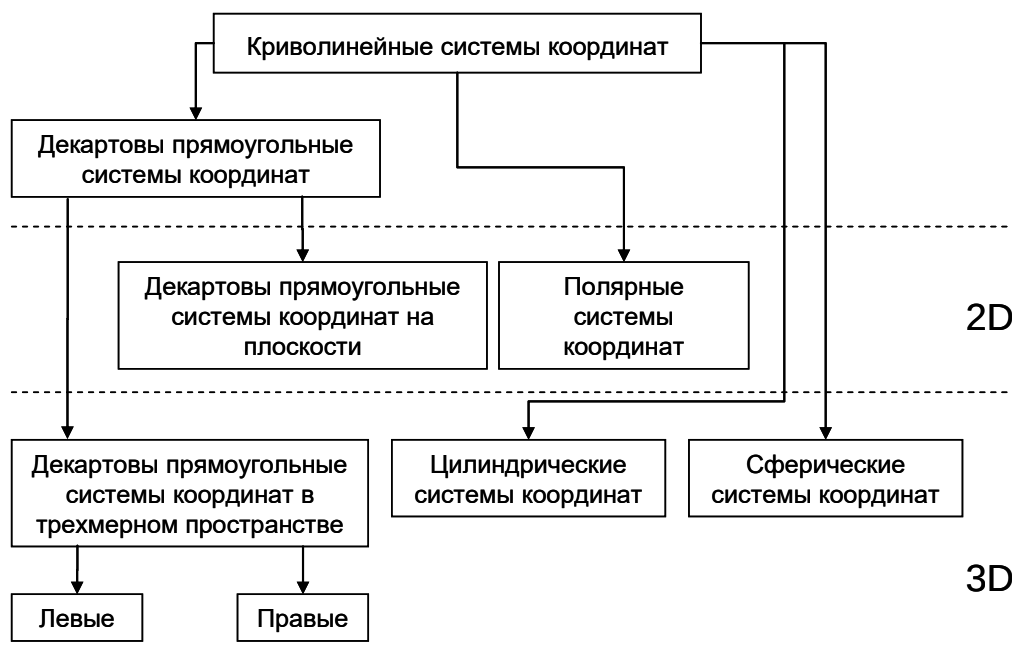


Рисунок 3.27 – Классификация систем координат

Прямоугольные и косоугольные координатные системы объединяются под названием *Декартовых систем координат*. Иногда на плоскости применяют полярные системы координат, а в пространстве – цилиндрические или сферические системы координат. Обобщением всех перечисленных систем координат являются криволинейные системы координат (рисунок 3.27) [202].

Декартовы прямоугольные системы координат. 2D декартовы системы координат применяются при построении разрезов, листов печати, для получения экранных проекций 2D моделей ОГТ. Также часто решается задача переноса 2D графических материалов (растровые и плоские векторные изображения) в 3D пространство.

Декартовыми прямоугольными координатами точки в 3D пространстве называются взятые с определенным знаком расстояния (выраженные в единицах масштаба) от этой точки до *трех* взаимно перпендикулярных координатных плоскостей или, что то же, проекции радиус-вектора точки на *три* взаимно перпендикулярные координатные оси.

В зависимости от взаимного расположения положительных направлений координатных осей возможны левая и правая координатные системы (рисунок 3.28).

Как правило, в общей инженерной практике пользуются правой координатной системой. Координаты x , y , z называются соответственно абсциссой, ординатой и аппликатой. В геодезических и маркшейдерских приложениях используют левую систему

координат. Положительные направления выбирают: на оси Ox – на север; на оси Oy – на восток; на оси Oz – вверх, на наблюдателя. Некоторые САПР, изначально

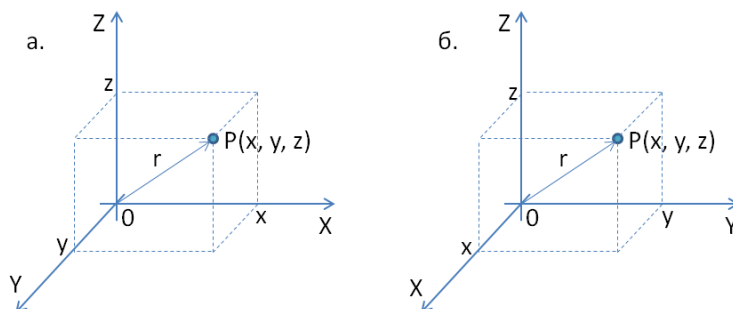


Рисунок 3.28 – Левая (а) и правая (б) координатные системы

разрабатывавшиеся для нужд машиностроения, используют по умолчанию правую координатную систему, поэтому применение таких программ в горном деле иногда приводит к путанице в направлениях осей и необходимости преобразования координат при переносе данных в ГГИС, использующие левую систему координат.

Часто на горных предприятиях совместно с геодезическими (левая система) применяют так называемую «рудничную» систему координат, которая основана на геологической разведочной сети. Оси абсцисс (по простиранию месторождения) исчисляют разрезами, разведочными линиями, оси ординат (вкrest простирания) – магистралями, профилями и пр. В ГГИС MINEFRAME область моделирования – прямоугольная 3D область моделируемого пространства, в границах которого осуществляется работа с моделями ОГТ, задается как рудничная система координат, связанная с геодезической (мировой) системой координат посредством точки привязки левого нижнего угла (начала отсчета) и углом поворота оси Y относительно направления на север (геодезический X) (рисунок 3.29). Координатная система области моделирования является правой.

Полярные системы координат. Чаще всего полярные координаты используются в ГГИС при редактировании векторных моделей, в случае, когда удобнее задавать положение точек в плоскости редактирования через расстояние от предыдущей точки (или точки привязки) и угол, отсчитываемый от направления Ox или направления, указывающего на предыдущее положение точки.

Цилиндрические системы координат. Также используется при редактировании векторных объектов, тогда когда наряду с углом и расстоянием смещения редактируемой точки необходимо задавать и ее высотную отметку.

Сферические системы координат. Наиболее типичным применением сферических координатных систем в ГГИС является способ задания искривления ствола геологоразведочных скважин по глубине точки замера, азимута направления и угла наклона оси скважины.

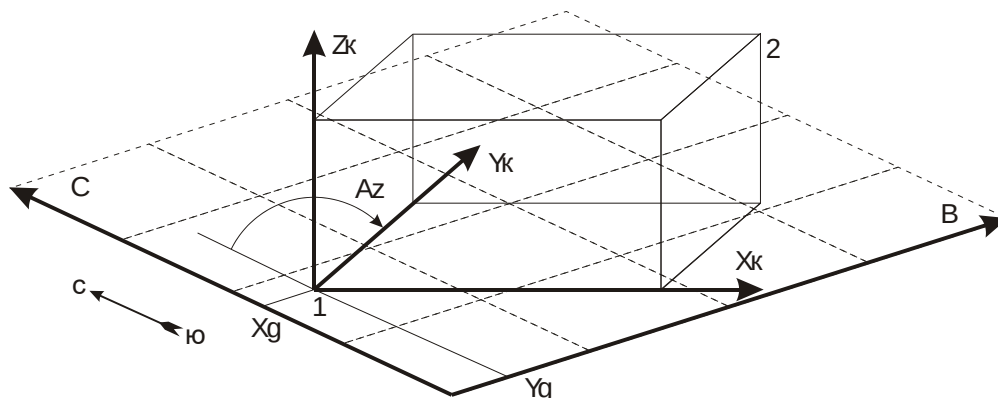


Рисунок 3.29 – Область моделирования; 1 – точка геодезической привязки; 2 – границы прямоугольной области моделирования; X_k , Y_k , Z_k – оси области моделирования; Az – азимут оси Y_k области моделирования месторождения (при $Az=0$ оси Y_k направлена на Север); X_g , Y_g – геодезические координаты точки привязки.

3.3.2 Операции с каркасными моделями

Качество триангуляции существенно влияет на результаты расчётов, основанных на использовании каркасных моделей. Так, расчёт объёмов зависит от каждого треугольника, сгенерированного алгоритмом триангуляции. Операции объединения, пересечения и нахождения разницы над каркасными моделями могут выполняться неверно при наличии грубых ошибок триангуляции, таких, как отсутствие треугольников, пересечения треугольников, наличие вырожденных треугольников. Алгоритмы, применяющиеся в GEOTECH-3D, предусматривают создание триангуляционных сеток и исправление ошибок построения для большинства вероятных практических случаев. Для повышения качества триангуляции применяется нормализация положения контуров. Один из контуров сдвигается (в проекции на плоскость одного из них) относительно другого так, чтобы их центры тяжести совпали (рисунок 3.30, 3.31). Центр тяжести контура – точка, являющаяся средним от значений координат всех точек, входящих в контур.

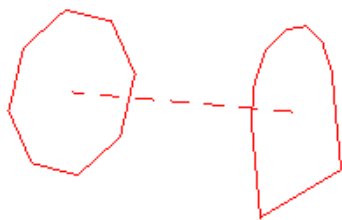


Рисунок 3.30 – Контуры до сдвига

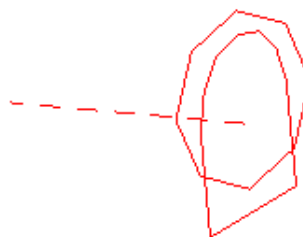


Рисунок 3.31 – Контуры после сдвига

Далее алгоритм разбивает исходную область на подобласти, ограниченные «сцепками». Для управления процедурой формирования треугольников используются искусственные сцепки, которые расставляются автоматически и локализуют область триангуляции. Помимо этого пользователь может расставлять «сцепки» по своему усмотрению. «Искусственные сцепки» устанавливаются следующим образом. Есть два списка точек (x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}) , где $i=1, n$ и (x_{2j}, y_{2j}, z_{2j}) , где $j=1, m$. Первая сцепка ставится между двумя наиболее близко расположенными точками контуров $(x_{1k}, y_{1k}, z_{1k})-(x_{2i}, y_{2i}, z_{2i})$. Формируется замкнутая область, внутри которой расставляются «сцепки» для других точек, парная точка находится, также, по критерию наименьшего расстояния. Количество искусственных «сцепок» ограничивается контуром, содержащим наименьшее число точек. Таким образом, вся область триангуляции разбивается на подобласти.

Если пользователь установил «сцепки» самостоятельно, то схема расстановки «сцепок» корректируется. Каждый раз, при добавлении новой «сцепки» осуществляется проверка на ошибки схемы. Схема сцепок является ошибочной, если сцепки, выходящие с одного контура, на другом пересекаются между собой.

Если искусственная сцепка мешает дальнейшему построению, то она удаляется из рассмотрения. После определения всех подобластей, каждая из них закрывается треугольниками. При построении любая область состоит из двух наборов точек (части двух контуров). Для каждой пары точек этих двух наборов возможно два варианта расположения треугольников (рисунок 3.32). Для определения наилучшего варианта осуществляется анализ формы треугольников и угла наклона их плоскостей, проходящих через общую грань. Пример работы алгоритма триангуляции приведен на рисунке 3.33.

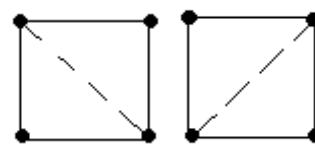


Рисунок 3.32 – Возможные варианты построения треугольников для области из 4-х точек

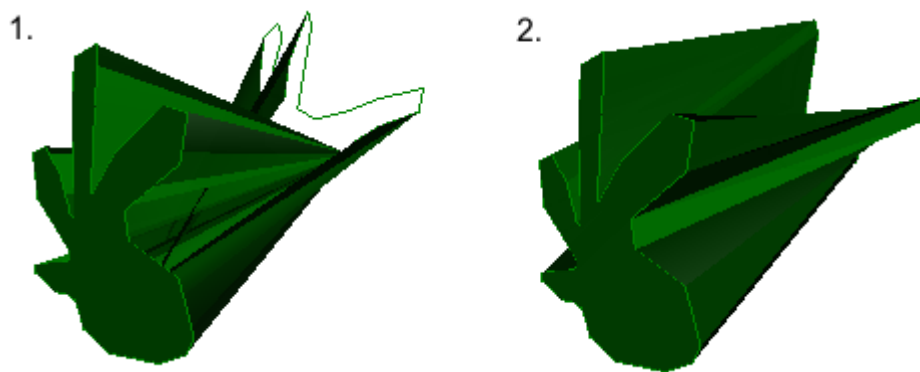


Рисунок 3.33 – Триангуляционные модели, твердотельный вариант отображения: (1) - без и (2) - с применением алгоритма улучшения качества триангуляции

Корректировка каркасной модели после удаления точек и контуров

В практике моделирования часто встречаются ситуации, когда необходимо изменить векторную модель поверхности с уже сформированной на ней триангуляционной моделью. Начальная триангуляция поверхности осуществляется с помощью метода Делоне с учётом или без учёта структурных линий (рисунок 3.34а). Одна из ситуаций, приводящих к изменению каркасной модели – это необходимость

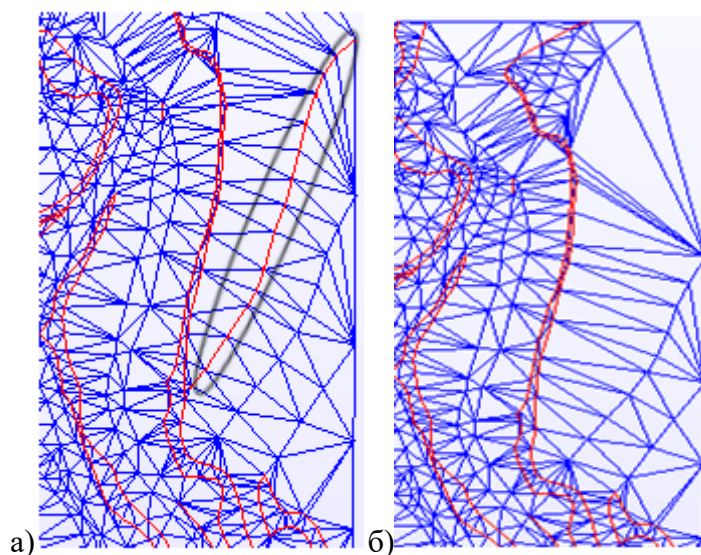


Рисунок 3.34 – Локальная модификация каркасной модели.
а) исходная триангуляционная поверхность, в границах которой выделена эллипсовидная область с удаляемым контуром; б) поверхность с локально изменённой триангуляционной поверхностью

удаления контура или отдельных его точек. В случае каркасных моделей, содержащих большое количество треугольников, триангуляция всей поверхности при перестройке модели может занять значительное время. Для ускорения процесса модификации

каркасных моделей разработан алгоритм автоматической корректировки триангуляционной сети после удаления точек, он работает следующим образом:

1. Формируется список удаляемых треугольников, вершины которых содержат удаляемые точки.
2. По списку удаляемых треугольников находится граница модифицируемой области.
3. Из модели поверхности исключаются удалённые точки и треугольники.
4. В границах области формируются новые треугольники (рисунок 3.34б).

Корректировка триангуляционной модели поверхности без изменения векторной модели

При решении задач геотехнологии иногда возникает необходимость в изменении формы триангуляции локальной области (рисунок 3.35) без удаления или добавления новых точек (например, моделирование откосов уступов карьеров или топоповерхностей, построенных по изолиниям). Для решения этой задачи используется механизм «сцепок», который позволяет назначить ребра треугольников триангуляционной сети. Алгоритм действия инструмента корректировки заключается в следующем:

1. Устанавливается корректирующая «сцепка». Если «сцепка» уже составляет одну из сторон треугольника (рисунок 3.36-1, отрезок АВ), перестраивать триангуляционную сеть не нужно. Если «сцепка» пересекает хотя бы одно существующее ребро

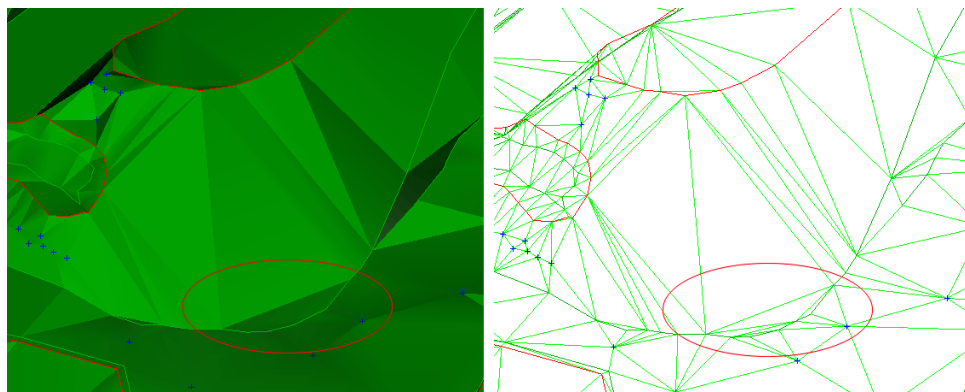


Рисунок 3.35 – Места некорректного построения триангуляционной сети (твердотельный и проволочный варианты отображения), находятся в эллипсовидной области

триангуляционной сетки в проекции на горизонтальную плоскость (рисунок 3.36-2), то тогда определяются все треугольники, имеющие пересечения с этой «сцепкой».

2. По треугольникам, имеющим пересечение со «сцепкой», определяется локальная область ABCD, внутри которой осуществляется перестроение триангуляционной сети с учётом местоположения корректирующей «сцепки» (рисунок 3.36-3).

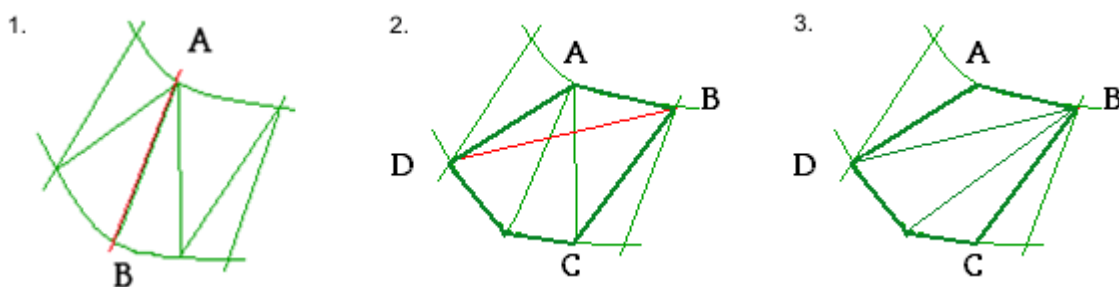


Рисунок 3.36 – Схема перестроения триангуляции с использованием корректирующей «сцепки»; 1 – «сцепка» АВ совпадает с одной из сторон треугольника; 2 – «сцепка» BD пересекает несколько треугольников; 3 – откорректированная триангуляционная сетка

Результат применения корректирующих «сцепок» к каркасным моделям поверхностей, полученных методом Делоне, представлен на рисунке 3.37.

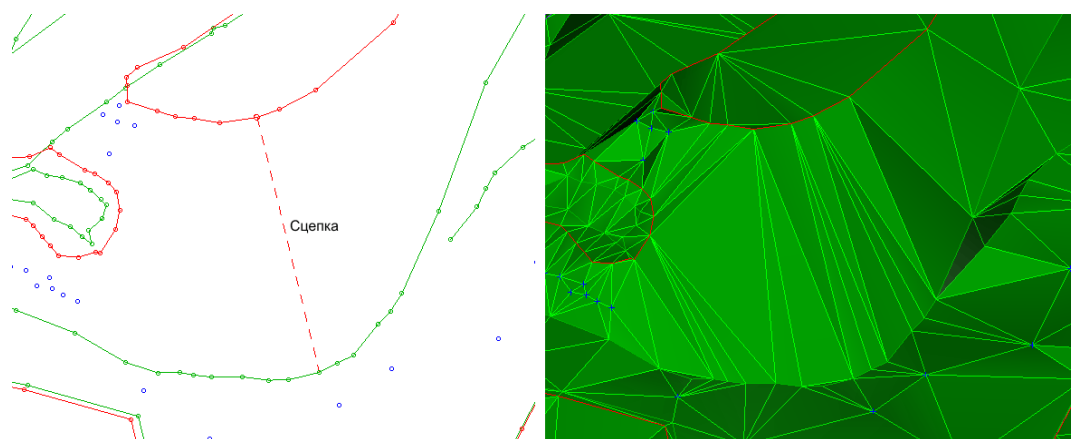


Рисунок 3.37 – Использование «сцепки» для корректировки каркасной модели поверхности

Совмещение моделей природного рельефа, карьеров и отвалов

После того, как созданы каркасные модели карьера и отвала, необходимо совместить их с предварительно смоделированной исходной поверхностью (рисунок 3.38).

Совмещение осуществляется с помощью алгоритмов определения взаимных пересечений треугольников каркасных моделей. После того, как триангуляционные поверхности пересекают друг друга, у них появляется линия разреза. Для каждой поверхности это граница, разделяющая остающиеся треугольники, и те, которые будут удалены из модели. В случае модели карьера удаляются треугольники, лежащие выше модели топоповерхности, в случае отвала – ниже топоповерхности.

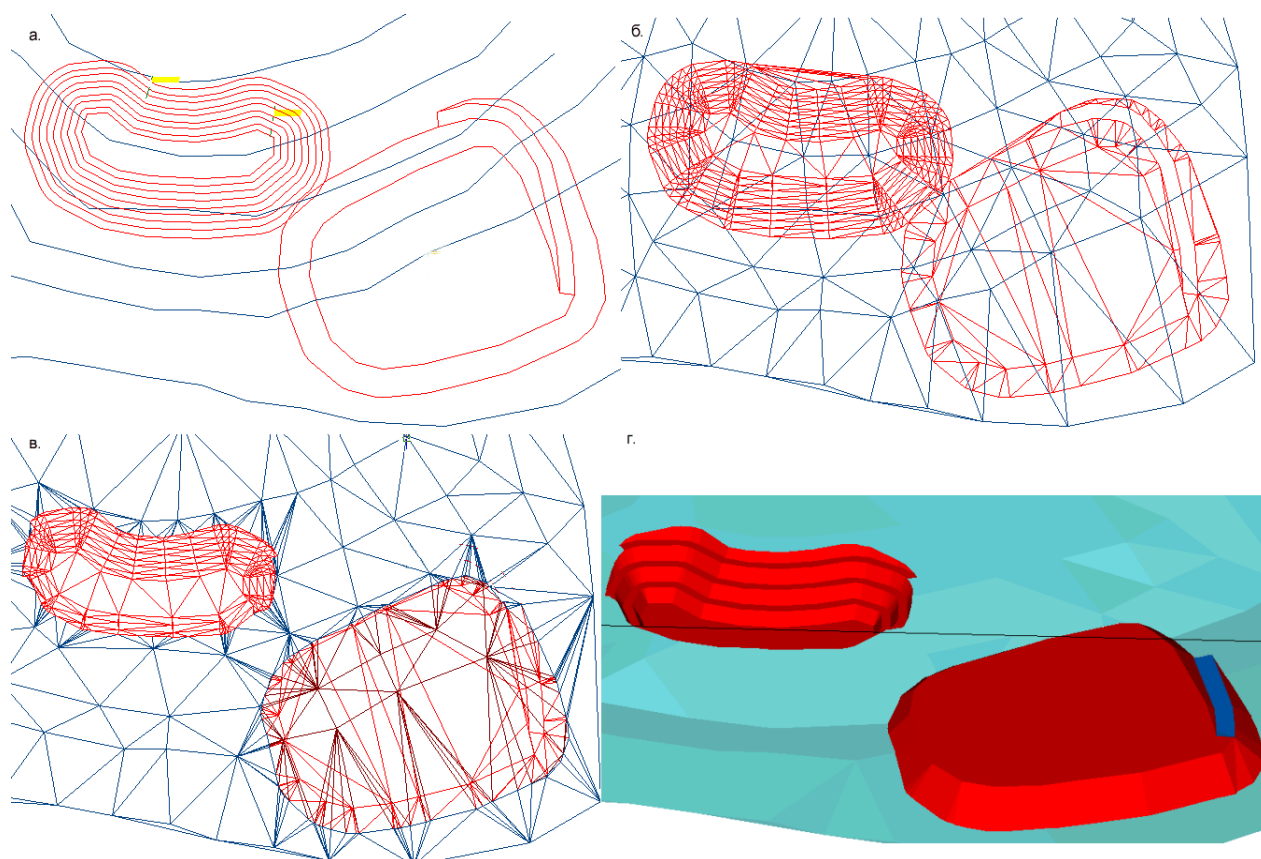


Рисунок 3.38 – Совмещение моделей карьера, отвала и топоповерхности; а – модели топоповерхности, карьера, отвала в изолиниях и бровках; б – то же, – каркасные модели; в – каркасные модели после совмещения; г – вид в 3D

При пересечении топоповерхности и карьера у топоповерхности удаляются треугольники, лежащие над карьером. При пересечении топоповерхности и отвала треугольники топоповерхности, лежащие под моделью отвала, передаются отвалу и образуют его подошву. Таким образом, получаются состыкованные друг с другом модели, образующие новое состояние дневной поверхности.

3.3.3 Обоснование параметров дискретизации цифрового представления ОГТ

Проблема обоснования точности оцифровки и представления моделируемых ОГТ имеет два основных вопроса – с какой частотой размещать точки при аппроксимации линейных объектов и какой размер блока необходимо выбрать для представления свойств моделируемых массивов ГП. Решение этих вопросов чаще всего является компромиссом между достаточной точностью представления объекта и возможностями вычислительной техники. Технический прогресс ускоряет процессоры, делает доступным большие объемы памяти, поэтому, например, такой показатель, как количество блоков в БМ за последние двадцать лет увеличился с десятков и первых сотен тысяч до миллионов, т.е. примерно на

порядок. Тем не менее, проблема обоснования параметров моделирования и получения объективных показателей их оценки будет актуальна еще долгое время.

Практика моделирования насчитывает тысячи примеров, и, казалось бы, не должно возникать вопросов о точности представления природных и техногенных объектов моделирования возникать не должно, однако, зачастую видно, что создатели моделей руководствуются не четкими критериями, а действуют по наитию, иногда, допуская серьезные ошибки.

Необходимо разобраться, какие же критерии необходимо принимать во внимание при обосновании параметров создаваемых моделей объектов. Для начала обозначим несколько исходных и очевидных положений:

1. Чем больше элементов насчитывает модель, тем, скорее всего, точнее она представляет исходный объект.
2. Чем больше элементов насчитывает модель, тем сложнее с ней работать, тем больше времени и вычислительных ресурсов будет затрачено на ее обработку.
3. Некоторые виды моделей наследуют степень сложности исходных моделей, зачастую приумножая ее многократно.

Если два первых положения очевидны, то третье требует пояснений. Практика построения моделей ОГТ показывает, что наиболее востребованными являются следующие типы моделей:

1. Векторные, каркасные – комбинации точек, отрезков, линий, которые определяют геометрическое место в пространстве неких признаков (свойств), чаще всего, это граница раздела между существенно отличными друг от друга средами, например: недра – атмосфера; недра – выработанное пространство; литологическая разность – литологическая разность; кондиционное ПИ – пустая порода и пр. К векторным можно отнести и сеточные модели поверхностей, представляющие собой интерполяцию геометрических признаков на равномерной сетке.

2. Триангуляционные модели основаны на векторных и представляют собой набор треугольников, образующих замкнутую (объемная фигура) или разомкнутую поверхность. Вершины треугольников опираются на точки исходной векторной модели. Количество треугольников примерно в два раза больше количества исходных точек.

3. БМ разбивают пространство, ограниченное замкнутой поверхностью (как правило, это триангуляционная модель) на ячейки (параллелепипеды) одинаковой или кратной по осям X , Y , Z величины. Количество блоков слабо связано с количественными характеристиками векторных и каркасных моделей, но, как правило, превышает их в разы и даже на порядки. Прямая связь наблюдается между сложностью (амплитудой и частотой

изменчивости) поверхности модели и желаемой степенью соответствия БМ триангуляционной.

Из этих положений следует, что необходимо выбирать такие параметры моделирования, которые, с одной стороны, обеспечат достаточную адекватность модели объекту моделирования, а, с другой стороны, позволят обходиться минимумом вычислительных ресурсов. Очевидно, что для каждого вида моделей необходимо руководствоваться характерными для них параметрами. Однако, общим в них будет то, что любая компьютерная модель реального объекта, будет представлять собой его цифровой образ в памяти компьютера. Таким образом, любой объект, подлежащий моделированию, должен быть оцифрован, т.е. должен быть переведен в форму, пригодную для обработки алгоритмическими средствами – компьютерными программами. Фактически, говоря об оцифровке ОГТ, мы имеем ввиду некие физические объекты, которые имеют форму и содержание. Форма задана либо геометрическими характеристиками объекта – рельеф топографической естественной или техногенной местности и подземных полостей, либо сложившимся экспертным представлением об этом объекте – линии контактов, разделяющие разновидности ГП, разновидности ПИ и пустых пород, минерализованные зоны и пр. Исходными данными для моделирования формы ОГТ служат результаты геодезических и маркшейдерских съемок природных и техногенных топоповерхностей, подземных горных выработок, устьев и траекторий скважин разведочного бурения, либо их плановые положения, заданные проектными решениями. Содержимое объекта определяется свойствами пространства (физические и геохимические поля) внутри объекта моделирования, и задается, как правило, интерполяционными методами по набору точек натурных замеров этих свойств.

Для обозначения подходов к обоснованию рациональных параметров моделирования формы объектов обратимся к опыту смежных областей знаний, в которых теория оцифровки разработана детально и широко применяется на практике, а именно, к задачам обработки сигналов. Здесь стоит проблема выбора частоты дискретизации аналогового сигнала. Для решения этой проблемы используются положения теоремы Котельникова, или теоремы отсчетов, в общем виде она звучит так [203]: аналоговый сигнал с ограниченным спектром может быть восстановлен однозначно и без искажений по своим дискретным отсчетам, взятым с частотой больше удвоенной максимальной частоты в своем спектре.

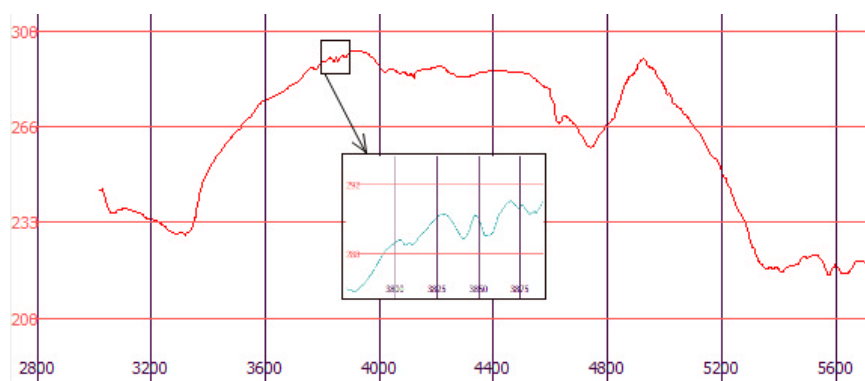


Рисунок 3.39 – Разрез рельефа местности (масштабы горизонтальной и вертикальной осей различны)

В виде аналогового сигнала можно представить практически любую линию, подлежащую оцифровке. На рисунке 3.39 пример линии, полученной в результате построения вертикального разреза

рельефа местности. По виду такая линия походит на аналоговый сигнал, если считать осью абсцисс время, а ординатой – амплитуду сигнала. В приложении к задачам оцифровки пространственных данных положения этой теоремы можно перефразировать так: пространственную изменчивость геометрической формы можно представить однозначно и без искажений по своим дискретным отсчетам, взятым на расстояниях (размерах) в два раза меньших минимальной изменчивости формы. Для представления линейных объектов в ГГИС, чаще всего, используется кусочно-линейная аппроксимация. Это связано с тем, что такой способ достаточно прост в алгоритмической реализации и крайне удобен для дальнейшего моделирования, в частности, для построения триангуляционных поверхностей.

Таким образом, для представления линейных объектов с помощью кусочно-линейной аппроксимации надо выявить места наибольшей изменчивости, которую необходимо учесть для построения адекватной модели, и устанавливать длины отрезков аппроксимирующей ломаной меньше учитываемой изменчивости, по крайней мере, в два раза. Переход к длинам отрезков вместо отсчетов по одной из осей необходим для отвязки от ортогональных осей, также такой подход более естественен для понимания человеком. Важной особенностью кусочно-линейной аппроксимации является то, что нет необходимости делать отрезки, составляющие модель, одинаковой длины, достаточно их измельчать в местах, нуждающихся в повышенной точности представления.

Наряду со связью длины отрезков и изменчивостью формы моделируемой линии необходимо учитывать еще несколько важных обстоятельств. Некоторые модели нуждаются не только в точности представления формы, но и других параметров, которые могут быть вычислены аналитически, в первую очередь, это длина и площадь, а также объем, вычисленный с их помощью. Прежде всего, это относится к технологическим объектам, основанным на правильных фигурах – окружностях, эллипсах, и их комбинации

с ломаными линиями, прямоугольниками. Для таких объектов можно аналитически вычислять вышеупомянутые характеристики. Важно, чтобы моделируемые объекты сохраняли эти характеристики с приемлемой точностью, так как они являются модельным выражением физически производимых объемов работ, ценности ПИ и связанными с ними производными экономическими показателями. Проблема расхождения длин и площадей фигур, вычисленных аналитически и по аппроксимирующим отрезкам, заключается в том, что возникает систематическая погрешность расчетов, связанная с собственно точностью аппроксимации (рисунок 3.40).

И если для моделирования природных объектов, как правило, не имеющих точного аналитического выражения их формы, эта погрешность поглощается приближенным,

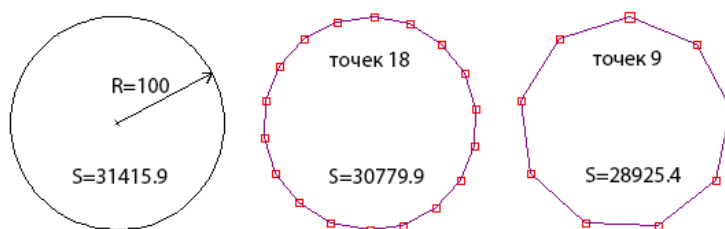


Рисунок 3.40 – Кусочно-линейная аппроксимация окружности

вероятностным характером информации об объекте, то для технологических объектов, имеющих точные проектные параметры, это может стать существенной проблемой. Наиболее ярко этот тезис проявляется в моделировании подземных выработок на основе поперечных сечений. Для таких случаев можно сделать однозначный вывод, что при использовании кусочно-линейной аппроксимации формы объектов, такие расчетные параметры, как длины, площади, и объемы будут систематически занижаться так как подавляющее количество этих объектов имеют выпуклую форму.

Следовательно, для сохранения точности расчета параметров объектов, сравнимой с их аналитическим вычислением, необходимо вводить поправочный коэффициент, который может быть вычислен в момент построения модели и сохранен в ней для дальнейшего использования при расчете объемов проектных и фактических выработок по триангуляционным каркасным моделям. В качестве иллюстрации этого положения на рисунке 3.41 показаны графики изменения таких коэффициентов для выработок круглого (K_o) и сводчатого полуциркульного сечения (K_c) от количества точек (N_t), аппроксимирующих линию сечения. Очевидно, что применять поправочные коэффициенты необходимо только в тех случаях, когда имеются криволинейные участки аппроксимируемых линий.

Другой важный момент заключается в том, что расположение точек на смежных линиях одной модели должно быть взаимоувязано, согласовано. Иначе, при дальнейшем моделировании – создании триангуляционных сетей – могут возникнуть неверные, с точки зрения наших представлений о форме модели, сочетания треугольников (рисунок 3.42).

Очевидно, что первый вариант неприемлем – поверхность, формируемая триангуляцией, не адекватна оригиналу, вместо ложбины на откосе уступа получена горизонтальная поверхность. Второй вариант основан на равномерном добавлении дополнительных точек, что приводит к лучшему приближению к исходному объекту, но вызывает избыточность

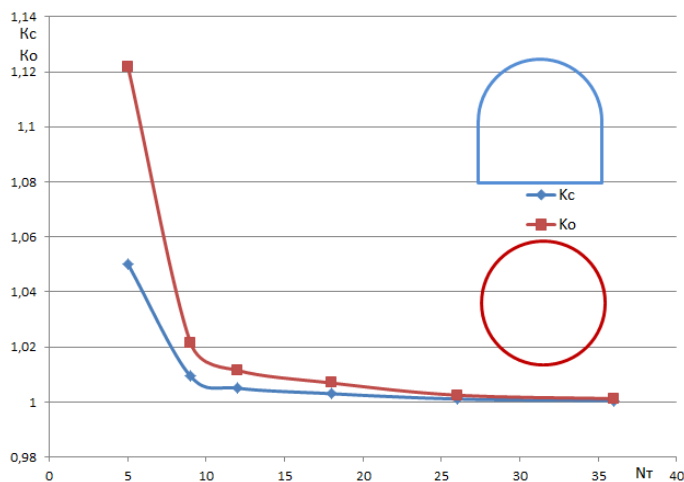


Рисунок 3.41 – Графики изменения коэффициентов приведения площадей для круглого и сводчатого полуциркулярного сечения от количества точек аппроксимирующих линию сечения

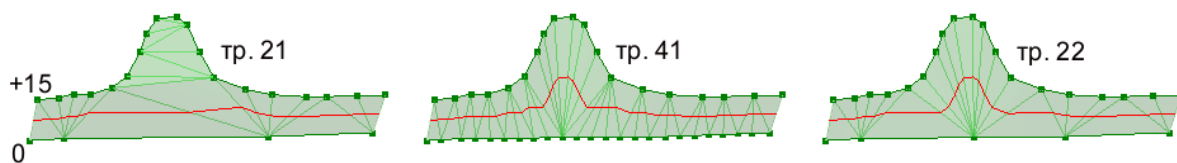


Рисунок 3.42 – Сравнение вариантов оцифровки нижней бровки, с разрезом по средней отметке уступа

модели (количество треугольников увеличилось почти в 2 раза). Третий вариант показывает, что достаточно ввести дополнительную точку в одном «правильном» месте и триангуляция в результате будет выглядеть даже лучше, чем во втором варианте (разрез по средней отметке выглядит естественней), при этом количество треугольников, как показатель сложности модели, изменяется незначительно. Линия разреза наглядно показывает форму и качество триангуляционной модели.

Для обоснования размеров дискретов БМ обратимся к оценке фрактальной размерности, как мере изменчивости формы исследуемого объекта, а именно, к одному из способов задания фрактальной размерности ограниченного множества в метрическом пространстве – размерности Минковского (РМ) [204], которая определяется по формуле:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log \frac{1}{\epsilon}} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{-\log \epsilon} \quad , \quad (3.17)$$

где $N(\epsilon)$ – минимальное число множеств диаметра ϵ , которыми можно покрыть исходное множество.

РМ связана с размерностью Хаусдорфа, которая обобщает понятие размерности действительного векторного пространства, и является способом определения размерности подмножества в метрическом пространстве. Фрактальная размерность Хаусдорфа показывает степень самоподобия объекта, если она является дробной, и соответственно, целые ее значения, совпадая с размерностью объектов, означают отсутствие самоподобия, или гладкость.

РМ также может использоваться для определения гладкости линий и поверхностей, используемых для построения БМ. РМ имеет и другое название по альтернативному способу ее определения — *box-counting dimension* (по количеству ячеек прямоугольной сети, покрывающих исследуемый объект), что органично подходит для использования блочного моделирования при вычислении этой размерности.

Для примера рассмотрим одномерный случай, учитывая, что аналогичные построения справедливы и в 3D пространстве. Возьмем некоторое ограниченное множество в метрическом пространстве, например, область вертикального разреза, включающего контур контактов рудного тела, наложим на него равномерную сетку с шагом ϵ , и посчитаем количество ячеек сетки, которые содержат хотя бы один элемент искомого множества, т.е. попадают на линию контакта. Повторим эту операцию, варьируя размер сетки (рисунок 3.43).

Линия регрессии графика зависимости $\log(N)$ от $\log(1/\epsilon)$ является выражением РМ, в том смысле, что коэффициент при X уравнения прямой линии, аппроксимирующей множество полученных точек, и будет являться собственно РМ. Полученная в этом примере РМ практически равна 1, что и следовало ожидать, так как эта линия не является фрактальной и какое либо самоподобие в ней отсутствует. Применение этого подхода к реальным триангуляционным поверхностям, представляющим, например, геологические объекты, дает ожидаемое значение размерности равное 2, а к объемам, заключенным в таких поверхностях, – 3 (рисунок 3.44а). Это говорит о том, что такие объекты не обладают выраженной фрактальностью.

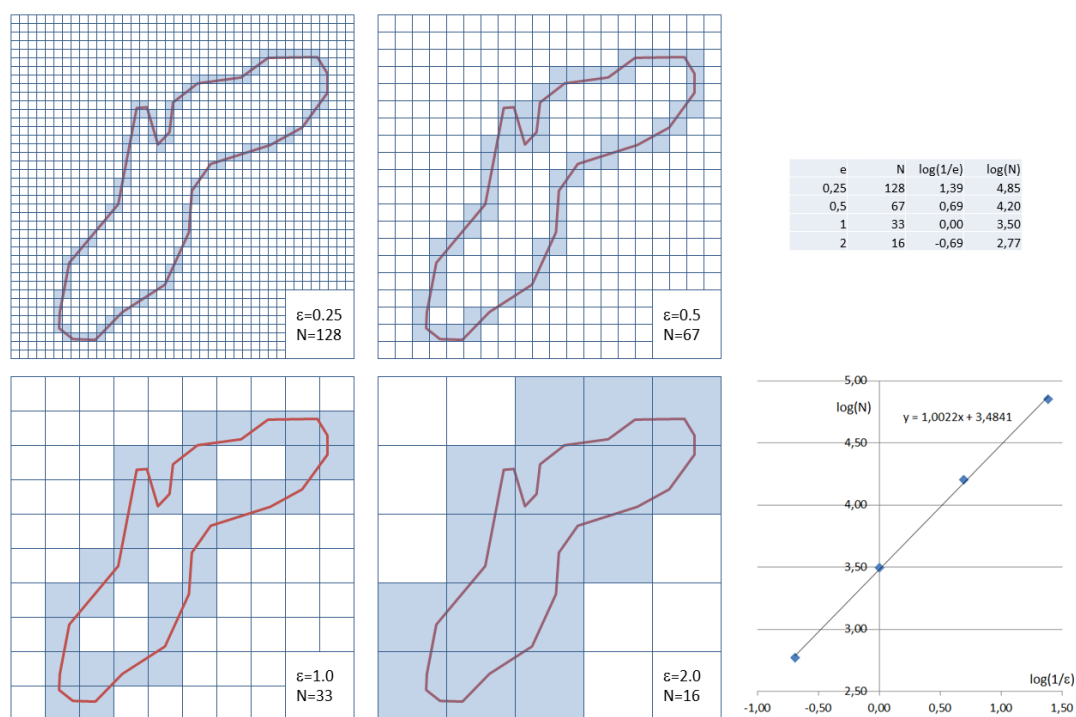


Рисунок 3.43 – Схема к расчету размерности Минковского

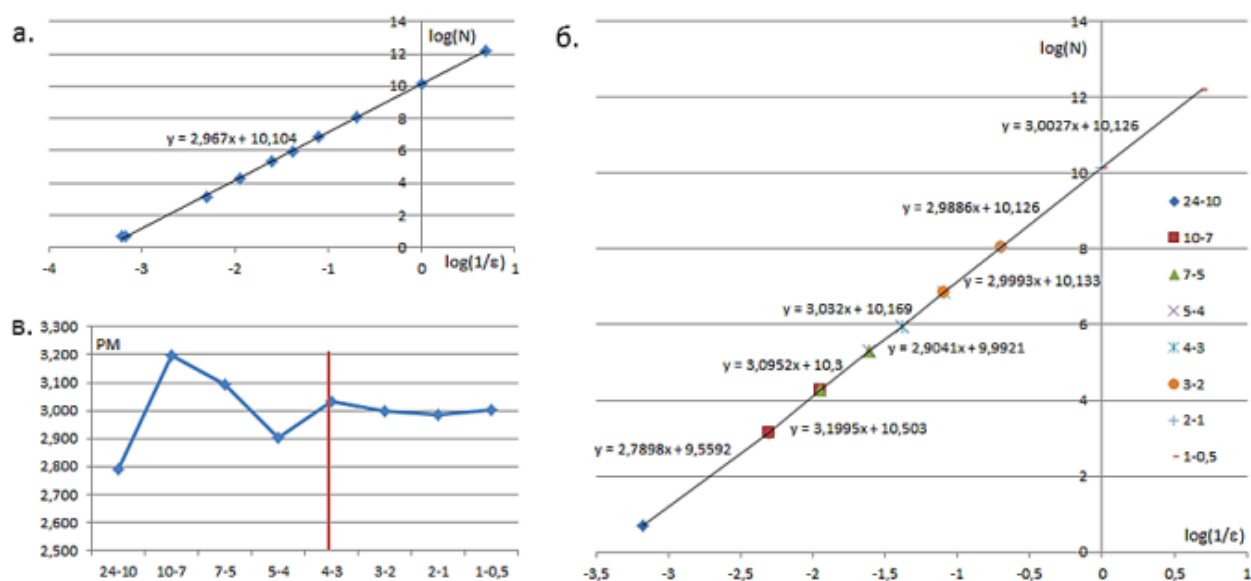


Рисунок 3.44 – Вычисление РМ для фигуры размером 10×50×50 м

Однако, в ходе экспериментов по вычислению РМ для объектов с различными особенностями формы поверхности, характерными для типичных вариаций элементов залегания геологических объектов (например, на рисунке 3.44а приведено вычисление РМ для объема, заключенного в объекте прямоугольной формы размером 10×50×50 м), было отмечено, что при каждой итерации изменения размера сетки (размера блока) значения РМ между соседними шагами были различными и отличались друг от друга тем меньше, чем меньше был размер сетки (рисунок 3.44б).

При достижении определённого размера сетки, флуктуации РМ становятся незначительными и устойчиво приближаются к ожидаемой размерности 3 (рисунок 3.44в). Таким образом, размер сетки (размер блоков БМ) при достижении момента устойчивого приближения к РМ можно считать достаточным для моделирования этого объекта. Для этого случая (рисунок 3.44) рациональный размер блока (вертикальная линия на рисунке 3.44в) не входит в противоречие с положениями теоремы отсчетов, согласно которой размер блока должен составить меньше половины мощности (10 м), рассматриваемой пластообразной фигуры.

Следует отметить, что раздельное варьирование размеров сетки по разным осям может дать возможность определять рациональный размер блока по соответствующей оси. Также можно предположить, что нахождение РМ и определение размера блока по объему фигуры даст основания для определения рационального размера основных блоков модели, а исследование ее поверхности (триангуляционной модели) поможет получить информацию о параметрах субблокирования.

3.4 Учет изменения горных моделей во времени

В большинстве своем ОГТ динамичны и претерпевают в процессе длительного срока работы горных предприятий изменения – меняется как их форма, так и содержание. Необходимо разработать модельное представление ОГТ, которое будет органично сочетать технологическую суть ОГТ с изменением в процессе его жизненного цикла. Совокупность таких моделей станет представлением развития всего комплекса сооружений горного предприятия в процессе разработки месторождения ПИ.

С другой стороны, использование вариантного подхода для оценки сложных систем, к которым относятся горные предприятия, также предполагает введение дополнительных измерений, описывающих вариации параметров и их влияние на расчётные характеристики. Сравниваемые варианты представляют собой модели возможных состояний объектов, порождаемые в результате изменения исходных предположений о состоянии объекта, его составных частей, их параметров, динамики их изменения.

Используемая в MINEFRAME структура модели ОГТ, объединяющая в рамках единого объекта векторные, каркасные и блочные субмодели, а также атрибуты, характеризующие их свойства, позволяет органично реализовать концепцию «живых» моделей, когда изменение одних субмоделей приводит к последовательному изменению других. Изменение моделей с течением времени происходит за счет двух факторов:

1. Появление новой информации влечет изменение представлений об объекте и обновление его модели. Это происходит при доразведке месторождений. Как правило, обновление модели делает ее предыдущие версии неактуальными.

2. Естественное изменение объектов как результат ведения горных работ. Это изменение формы карьера, подземного выработанного пространства, проходка подземных выработок, формирование отвалов пустых пород, складов ПИ, инфраструктурных объектов. В отличие от первого случая эти изменения имеют систематический, регулярно повторяющийся характер. Предыдущие состояния модели необходимо сохранять для вычисления объемов добытого ПИ, складированных пород, учета объемов работ. В процессе проектирования и планирования горных работ создаются модели ОГТ, привязанные к календарю и являющиеся ориентиром, который должен быть достигнут во времени и пространстве при фактическом ведении горных работ.

Характерным для первого случая является то, что связанное изменение геологических объектов может затрагивать все три типа субмоделей. Для второго случая наиболее частым будет связанное изменение векторных и триангуляционных субмоделей.

Обеспечение возможности создания моделей ОГТ, постоянно изменяющихся со временем, реализуется только с помощью способов организации структуры данных модели. Средства моделирования должны реализовывать следующий функционал:

1. Осуществлять связанное изменение основанных друг на друге субмоделей: векторных-триангуляционных-блочных.
2. Хранить предыдущие состояния субмоделей объекта.
3. Предоставлять и визуализировать состояния(е) субмоделей на заданный период времени.
4. Производить расчеты, основанные на выбранном состоянии модели и на их сочетаниях. Это расчеты расстояний, площадей, объемов и генерация горной графической документации.

Реализация этого функционала позволяет избежать неоправданных затрат трудовых и временных ресурсов для перестроения горно-геологических моделей. При этом сохраняется и используется весь опыт, накопленный за время сопровождения постоянно обновляемых моделей. Благодаря упорядоченной структуре и связям субмоделей, появляется возможность сопоставления плановых показателей с фактическими данными по добыче. Доступность моделей для разного уровня инженерного и управленческого персонала позволяет заметно увеличить влияние результатов моделирования на принятии решений.

Таким образом, необходимо разрабатывать N-мерные модели, позволяющие представлять изменение моделируемого объекта во времени, учитывать различные варианты планируемого будущего.

Ограничимся рассмотрением только геометрических характеристик моделей, изменяющихся в реальном времени (история развития объекта) или в планируемом будущем (предсказание возможных вариантов будущего состояния объекта). Также ограничимся такими объектами, как выработки открытых и подземных горных работ, насыпные сооружения, объекты геологической среды – рудные тела, пласты, жилы, нарушения. Оставим за рамками изменения технологических, экономических, экологических, социальных и прочих характеристик, которые также имеют свои возможные вариации и историю развития. Также не будем учитывать естественную эволюцию геологической среды, обладающую слишком малой динамикой (практически неизменной) в сравнении с техногенными изменениями, вызываемыми горными работами (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Изменение объектов во времени.

Типы объектов	История развития (Прошлые -> Настоящее)	Варианты развития (Настоящее -> Будущее)
Технологические (выработки и насыпи)	Появление, эволюция, исчезновение.	Варианты проектных решений
Природные (геологическая среда)	Априорное существование, эволюция представлений об объекте, изменение- трансформация.	Вариантное детерминированное и стохастические представления об объекте

В рамках устоявшегося модельного подхода к моделированию формы объектов, рассмотрим три типа моделей, последовательно основанные друг на друге:

Векторные → Триангуляционные → Блочные

Обычный подход, принятый в большинстве ГГИС, предписывает хранить каждый тип модели как отдельную сущность (файл(ы)), не связанную с наследниками/потомками в том смысле, что изменение потомков не приводит к изменению наследников, хотя они представляют один и тот же объект.

Следствием этого подхода является то, что модели объектов, изменяющиеся в процессе развития, содержат информацию, которая имеется в предыдущих состояниях модели, что приводит к многократному хранению неизменных частей объекта. Например, при ежемесячном пополнении съемки отработки карьера производится корректировка только 1-10% бровок и других линий, задающих форму карьерной выемки, все остальные формообразующие линии остаются неизменными. Простое назначение даты съемки на точки и составленные из них контуры приводит к тому, что топологически единые линии разрываются на множество обрывков, которые к тому же должны хранить либо дублирующиеся точки, соединяющие их концы, либо иметь какую-либо иную связь. На это накладывается и построение триангуляционной модели, которая также должна будет содержать дублирующуюся информацию об узловых точках. Работы по пополнению векторных и последовательному изменению связанных с ними триангуляционных, а затем и блочных моделей достаточно трудоемки, поэтому проводятся для разных типов моделируемых объектов с периодичностью от дней до нескольких лет (рис. 3.45).

Поэтому необходима разработка структуры живой модели объекта горной



Рисунок 3.45 – Связь векторных, триангуляционных и блочных моделей при их обновлении в течение срока существования

технологии, которая позволит сохранять историю его развития, сохраняя топологические связи между формообразующими частями, включая векторную, триангуляционную, и при необходимости, блочную субмодели.

Ограничимся такими ОГТ, как открытые и подземные горные выработки, насыпные сооружения, рудные тела и залежи, пласты, любые другие формы залегания ПИ и вмещающих пород, подсчетные и технологические блоки, секции, ленты, выемочные единицы.

Представление моделей ОГТ может быть трех типов:

1. Векторное (каркасное) – представление в виде формообразующих элементов, таких как точки, отрезки, сетки, контура (наборы связанных в определенном порядке точек – кусочно-линейная аппроксимация).
2. Триангуляционное – представление поверхности моделей ОГТ с помощью участков плоскостей, ограниченных треугольными полигонами, узлы которых опираются на точки векторной модели.
3. Блочное – пространственная решетка, каждая ячейка которой содержит относительно единообразные значения природных и технологических свойств, совокупность которых описывает их изменчивость в объеме моделей ОГТ.

Основой, описывающей форму объекта, является векторное представление, оно служит базой для триангуляционного моделирования, которое, в свою очередь, при необходимости, является формой для заполнения блочной моделью. Необходимо отметить, что блочная модель может быть построена и без триангуляционной, ограничения ее формы могут задаваться трехмерным габаритом области построения, либо векторной моделью, которая будет ограничивать форму набором замкнутых контуров, например, погоризонтных.

Для осуществления концепции живых моделей необходимо обеспечить связь между представлениями моделей, - от векторного к триангуляционному, и далее к блочному (рис. 3.46). В традиционном подходе такая связь отсутствует, что приводит к увеличению количества хранимых файлов, дублированию информации, трудностям

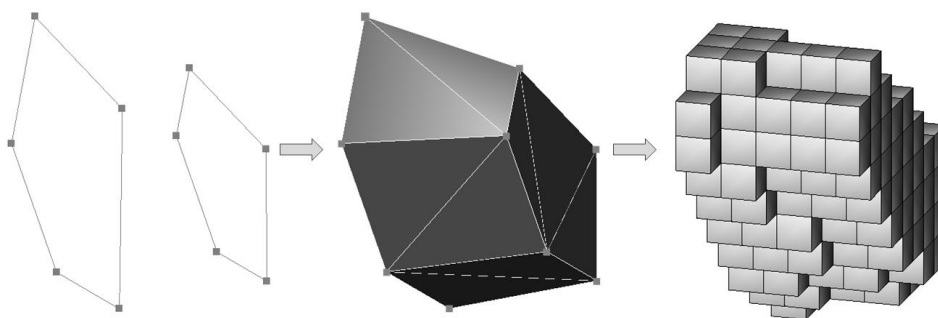


Рисунок 3.46 – Представления моделей – векторное, триангуляционное, блочное упорядочивания и хранения данных.

Таким образом, необходима организация и взаимодействие не только потока исходных данных, формируемых динамикой развития плана горных работ, их фактического положения или пополнения данных геологического опробования, но и потоков векторных, триангуляционных и блочных представлений моделей ОГТ.

Эти потоки представляют непрерывно, т.е. последовательно от одного состояния к другому, изменяющиеся во времени модели. Их изменения обеспечиваются процессами пополнения исходных данных и слияния с уже накопленными историческими или будущими планируемыми состояниями. Представленная на рисунке 3.47 схема обозначает самое сложное взаимодействие между различными представлениями моделей и временем их изменения, т.е. пространственно-временную связь, в это взаимодействие укладывается и изменение атрибутивной информации, что обеспечивает 4+ модельное пространство. Это пространство обеспечивается координатами $K(X, Y, Z, A_1 \dots A_K)$ в однонаправленном потоке времени T .

В таком представлении объекта наиболее существенным является изменение пространственно-атрибутивной информации во времени. Рассмотрим последовательно возможности реализации такой связи, начиная с векторного представления модели к

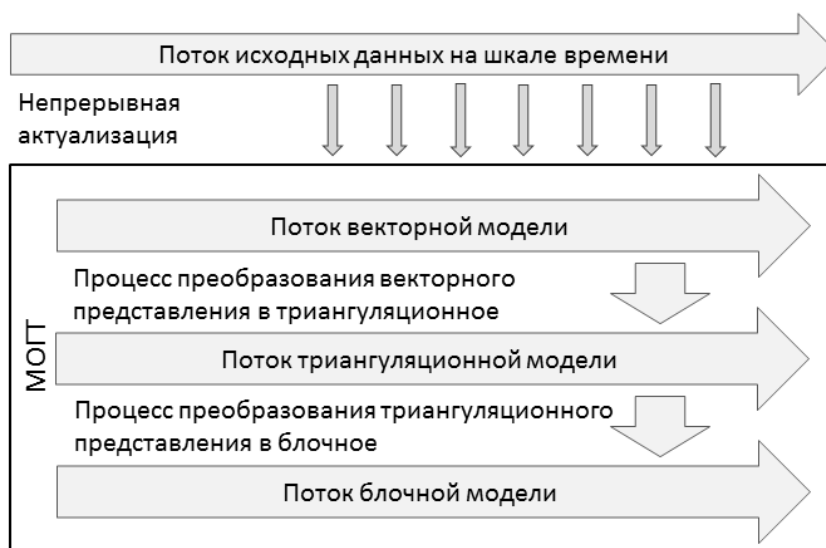


Рисунок 3.47 – Взаимодействие векторных, триангуляционных и блочных представлений моделей ОГТ

триангуляционному, а затем и блочному. Наиболее интересным случаем векторного представления (включающим, как частные случаи и остальные – сетки и несвязные наборы точек) является набор последовательно связанных друг с другом точек – контур, полилиния, периметр.

Изменения в течение времени таких связанных наборов включают:

1. Создание новой точки и соответствующих K , установление связей между существующими точками и новой.
2. Изменение K существующей точки, связи между точками не меняются.
3. Изменение связей точки, K не меняется.

4. Удаление точки, точка прекращает свое существование, связи оставшихся соседних точек меняются.

Для привязки состояний объекта во времени необходимо для каждой точки иметь отметку начала совершения одного из этих четырех действий. Это позволяет хранить, с одной стороны, начало этого действия, с другой стороны, это дает нам сведения о том, что предыдущее состояние точки завершено. Единственным неоднозначным моментом в этой схеме является удаление точки, которое означает, что в будущем от момента удаления времени точка не существует. Для этого необходимо либо хранить идентификатор операции, что дает дополнительную информацию об истории жизни точки, либо для сокращения хранимой информации предусмотреть специальную форму записи отметки времени удаления точки, например, представляя ее как отрицательное число, либо делая эту отметку, как заведомо недостижимое будущее (в рамках жизни горного предприятия), прибавляя к ней, например, 1000 лет. Подобная логика распространяется также и на другие элементарные представления – треугольник в триангуляционной модели и блок (дискрет) в блочной.

Таким образом, каждое новое состояние точки будет сохраняться в таблице точек с записью о времени начала этого состояния (рис. 3.48). Выборка данных по заданному моменту времени из такой таблицы будет давать актуальный на этот момент времени набор точек, формирующий состояние объекта горной технологии. Выборка по диапазону времени даст совокупный набор состояний объекта в течение этого периода.

Триангуляционные модели содержат наборы треугольников, треугольники, в свою очередь, опираются на точки векторной модели. Треугольники, также, как и точки, должны хранить отметки об изменении своих состояний, по той же схеме, что и точки. Алгоритмы триангуляции и модификации триангуляционных моделей должны учитывать и взаимодействовать с операциями изменения векторных моделей для того, чтобы согласованно выставлять временные отметки, и не допускать рассогласования между ними в следующих случаях (рис. 3.49):

1. Вставка новых точек (может привести к удалению некоторых треугольников и всегда сопровождается созданием новых);
2. Удаление точек (всегда приводит к удалению некоторых треугольников и может привести к вставке новых);
3. Перемещение точек (может привести к удалению некоторых существующих треугольников и созданию новых).

Изменение непространственных атрибутов точек не должно влиять на триангуляционную модель.

	Сост.	Нетчк.	Врем.	XYZ	T созд.	Связь	Действия с точками	
	1	1	1	xyz1	1	2	Добавление 1, 2	Добавление
		2	1	xyz1	1	*		
	2	1	2	xyz1	1	2		Вставка
		1	2	xyz1	2	3		
		2	2	xyz1	1	*		
		3	2	xyz2	2	2	Вставка 3 между 1 и 2	
	3	1	3	xyz1	1	2		Вставка
		1	3	xyz1	2	3		
		2	3	xyz1	1	*		
		3	3	xyz2	2	2		
		3	3	xyz2	3	4		
		4	3	xyz3	3	2	Вставка 4 между 3 и 2	
	4	1	4	xyz1	1	2		Удаление
		1	4	xyz1	2	3		
		1	4	xyz1	4	4		
		2	4	xyz1	1	*		
		3	4	xyz2	2	2		
		3	4	xyz2	1003	4	Удаление 3	
	5	1	5	xyz1	1	4		Перемещение
		1	5	xyz1	2	3		
		1	5	xyz1	1	4		
		2	5	xyz1	1	*		
		3	5	xyz2	2	2		
		3	5	xyz2	1003	4		
	6	4	5	xyz3	3	2		Перемещение
		4	5	xyz3	5	2	Вставка 4 между 1 и 2	
		1	6	xyz1	1	4		
		1	6	xyz1	2	3		
		1	6	xyz1	1	4		
		2	6	xyz1	1	*		
		3	6	xyz2	2	2		
		3	6	xyz2	1003	4		
		4	6	xyz3	3	2		
		4	6	xyz5	5	2		
		4	6	xyz6	6	2	Вставка 4 между 1 и 2	

Рисунок 3.48 – Операции над векторной моделью

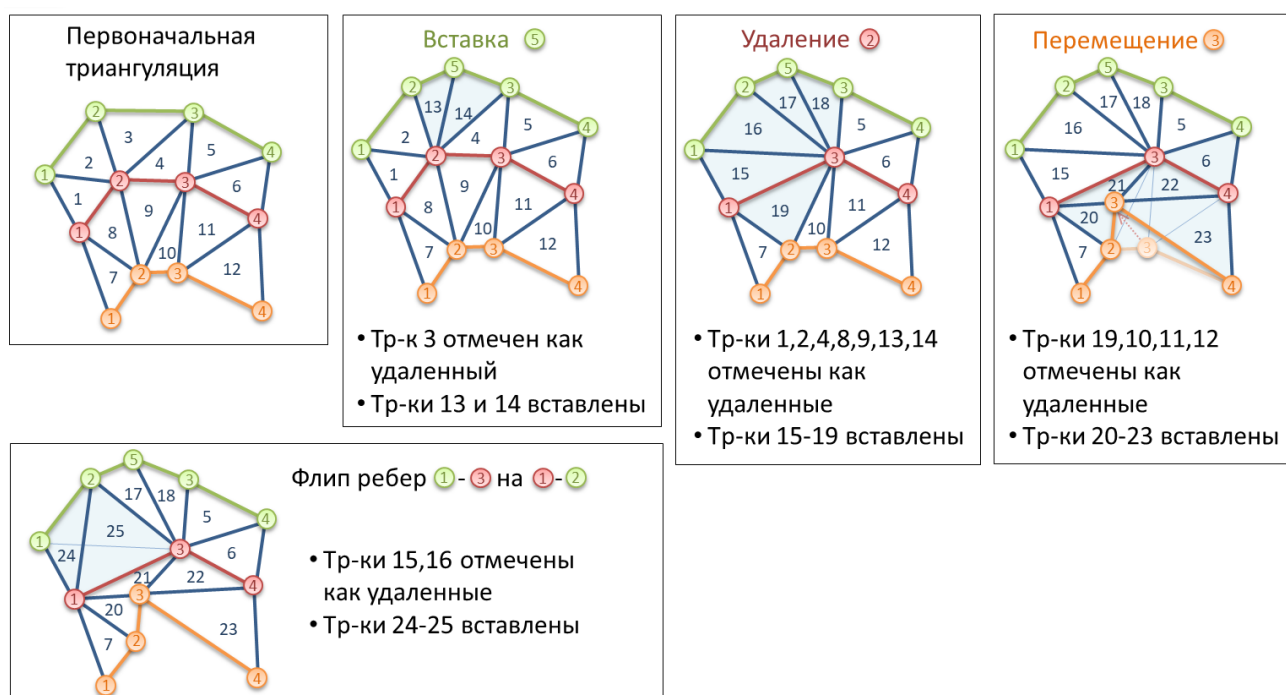


Рисунок 3.49 – Операции над триангуляционной моделью.

Связное изменение векторных и триангуляционных моделей может привести к изменению блочных моделей. Следует отметить, что изменения последуют только при

превышении размеров изменения размера дискрета блочной модели в исследуемом направлении. Непосредственная связь между дискретами блочной модели и элементами векторной и триангуляционной отсутствует, поэтому необходимы специальные механизмы сохранения их согласованного состояния. Они должны обеспечивать отслеживание следующих ситуаций (рис. 3.50):

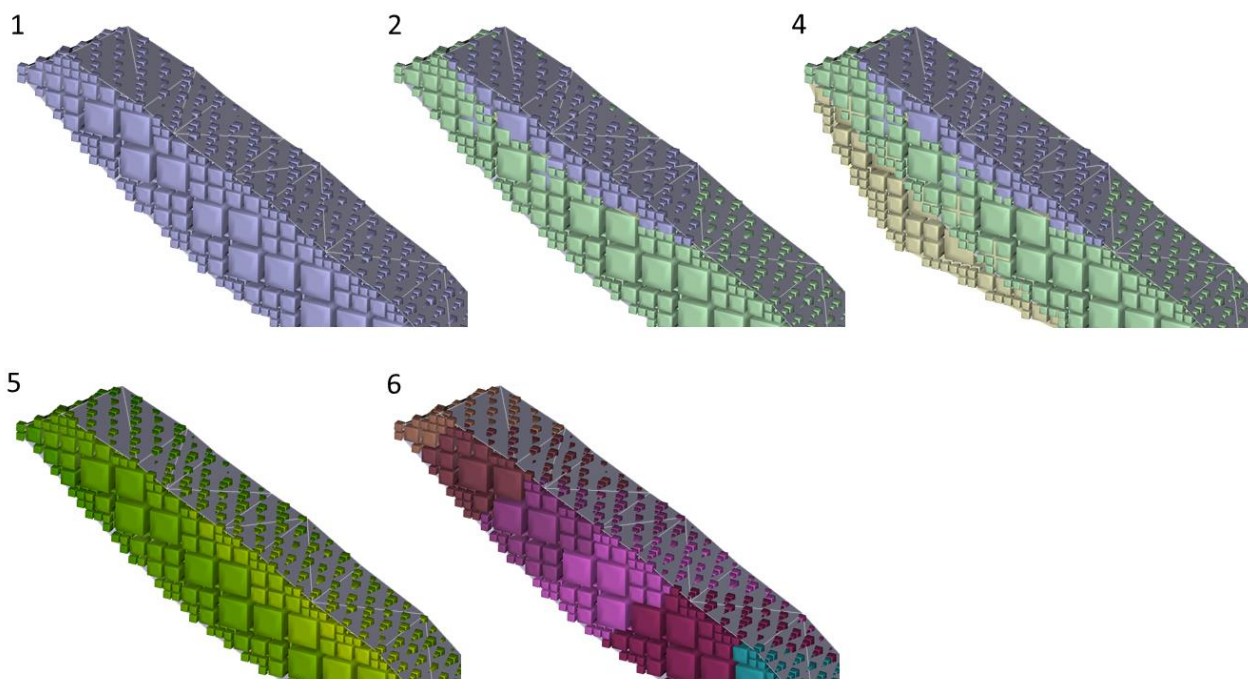


Рисунок 3.50 – Операции над блочной моделью. 1 – исходная; корректировка с уменьшением объема -2 и с увеличением - 3; 5, 6 – изменение содержимого блоков.

1. Увеличение объема триангуляционной модели (приведет к добавлению новых дискретов в блочной модели, и, возможно, потребует переблокировки граничных к области изменения блоков).
2. Уменьшение объема триангуляционной модели (приведет к удалению дискретов блочной модели и возможной переблокировке граничных к области изменения блоков).
3. Перемещение триангуляционной модели (приведет к совокупному действию первых двух ситуаций).

Содержимое ячеек (содержание компонентов, физико-механические свойства пород, технологические и экономические параметры и пр.) блочной модели может меняться и без изменения ее формы. В таких случаях нет необходимости отслеживания изменений в векторных и триангуляционных моделях.

Реализация таких подходов к моделированию ОГТ приведет к получению как минимум следующих эффектов:

1. Упорядоченное связанное хранение данных в базе данных (данным приобретают свойство верифицируемости, т.е. дополнительно реализуется защита данных от искажения).
2. Уменьшение объема хранимой информации (за счет исключения дублирования ее в различных модельных представлениях).
3. Понимание истории развития объекта (достигается за счет связи между различными модельными представлениями объекта), а совокупность таких историй даст исчерпывающую информацию о жизни горного предприятия или вариантах его развития при проектировании и планировании горных работ.
4. Реализуется концепция живых моделей (фактическое настоящее состояние объекта наследует все прошлые состояния всех модельных представлений, и таким образом появляется возможность сделать ответвления планируемых вариантов на любой стадии развития модели).

Выводы

Развитие методов моделирования горно-геологических объектов привело к созданию объектной структуры классов системы проектирования и планирования подземных и открытых горных работ MINEFRAME. Применение объектно-ориентированного геоинформационного подхода позволило наиболее адекватно представить модели объектов горной технологии, как с точки зрения реализации алгоритмов автоматизированных инструментов их обработки, способов хранения в БД, так и для визуализации и представления их пользователю.

На основе геоинформационного подхода разработана универсальная структура моделей горно-геологических объектов, содержащая в своём составе методы его векторного, каркасного и блочного представления, и базирующиеся на данной структуре инструментальные средства, реализующие процедуры создания, редактирования и управления моделями объектов в режиме коллективного доступа к базам данных.

Обеспечение возможности создавать постоянно изменяющиеся во времени модели объектов возможно только с помощью специальных структурированных способов организации данных внутри модели. Средства моделирования должны реализовывать следующий функционал:

1. Связное изменение основанных друг на друге субмоделей: векторных-триангуляционных-блочных.
2. Хранение предыдущих состояний субмоделей объекта.

3. Предоставление и визуализация состояния(й) субмоделей на заданный период времени.

4. Расчеты, основанные на выбранном состоянии модели и на их сочетаниях, это расчеты расстояний, площадей, объемов и генерация горной графической документации.

Реализация этого функционала позволяет избежать неоправданных затрат трудовых и временных ресурсов для перестроения горно-геологических моделей. При этом сохраняется и используется весь опыт, накопленный за время сопровождения постоянно обновляемых моделей. Благодаря упорядоченной структуре и связям субмоделей, появляется возможность сопоставления плановых показателей с фактическими данными по добыче. Доступность моделей для разного уровня инженерного и управленческого персонала позволит заметно увеличить влияние результатов моделирования при принятии решений на горнодобывающих предприятиях.

4. Инструменты инженерного обеспечения горных работ

Среди инженерных задач горного производства можно выделить три группы, тесно связанных с собственно добычей ПИ: *геологические* - дают качественное и количественное представление об особенностях залегания ПИ и пространственном распределении полезных и вредных компонентов; *маркшейдерские* – обеспечивают точную привязку ОГТ в пространстве, производят расчет объемов добычи ПИ и складирования вскрышных пород; *технологические* – обеспечивают процесс проектирования и планирования горных работ. Такая связка предопределяет потребности совместного решения этих задач с помощью ГГИС.

Реализация геоинформационного подхода к решению геологических, маркшейдерских и технологических задач заключается в создании программных средств, обеспечивающих на основе моделирования ОГТ их комплексное решение.

В структуру программных средств ГГИС MINEFRAME входят инструменты для решения прикладных, вспомогательных и служебных задач. Сложные инструменты и программные модули ГГИС основаны на едином моделирующем ядре, унифицированном доступе к объектам, хранящимся в БД, и единообразном пользовательском интерфейсе, средствах подготовки отчетной графической документации (рисунок 4.1). За все время

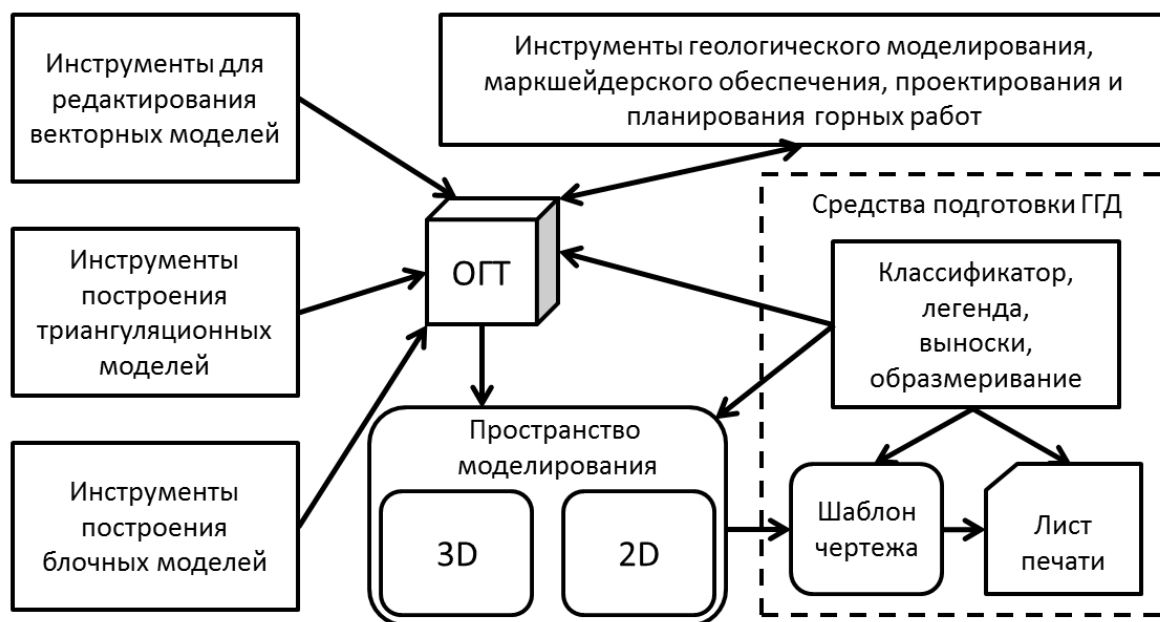


Рисунок 4.1 – Объекты и инструменты ГГИС, обеспечивающие моделирование ОГТ и решение задач инженерного обеспечения горных работ

развития ГГИС MINEFRAME разработано большое количество инструментов и модулей, формирующих автоматизированные рабочие места маркшейдеров, геологов, горных технологов. В качестве примера приведён обзор наиболее значимых инструментов ГГИС,

обеспечивающих автоматизацию решения основных задач проектирования и планирования горных работ.

4.1 Подсчет объемов, запасов

Определение запасов ПИ заключается в расчете объемных и качественных показателей областей подземного пространства, представленных рудными телами и выемочными единицами.

Инструмент подсчета объемных, погоризонтных показателей

На практике подсчет объемов (запасов) производится применительно к некоторой технологической обстановке, которая задается положением горных работ в пространстве. Это может быть серия положений карьера на различные периоды или варианты разработки, набор подземных выработок или ВЕ, блоков, секций. Подсчет объемных показателей может быть произведен несколькими способами: вычисление объема каркасной модели рудного тела; вычисление объема с использованием БМ в разбивке по горизонтам или слоям.

Инструмент расчета погоризонтных объемов использует методы, работающие с векторными, каркасными и с БМ. Реализованы следующие варианты расчётов:

1. Расчет объемов и содержаний с использованием БМ по слоям и горизонтам

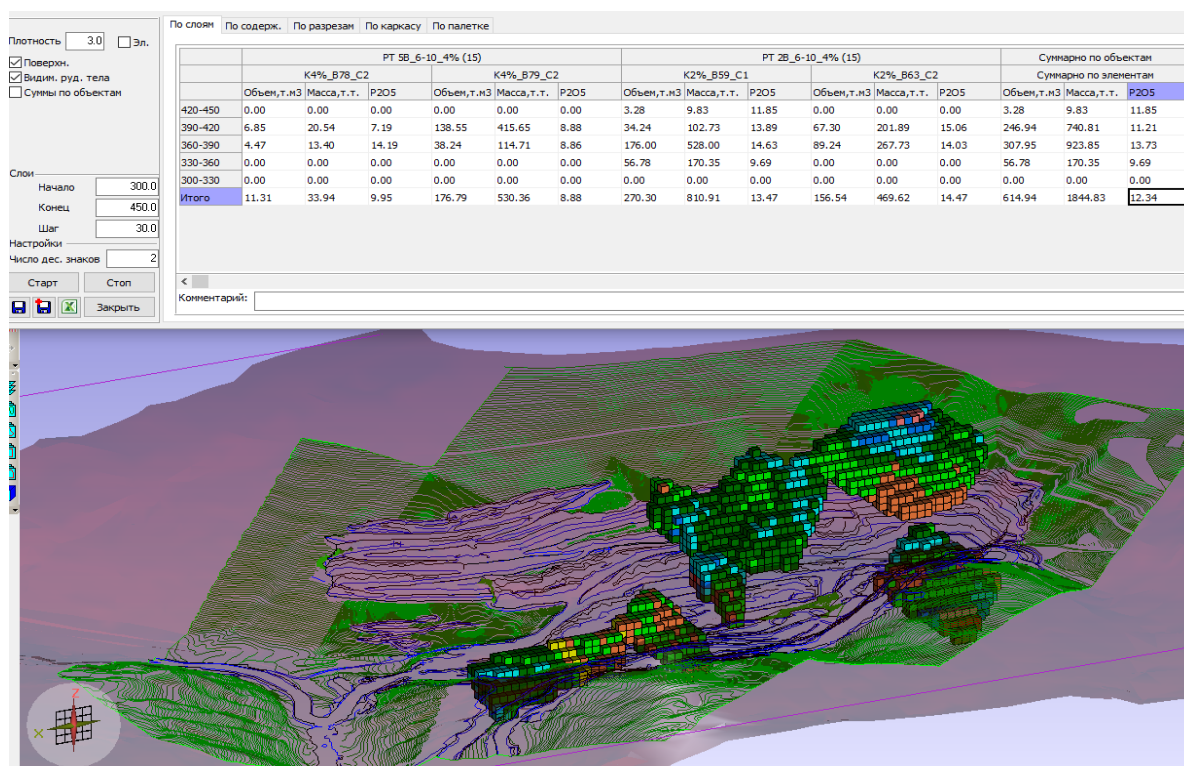


Рисунок 4.2 – Подсчет объемов и содержаний по уступам карьера

(рисунок 4.2). При расчете каждый блок БМ анализируется на вхождение в диапазон отметок совокупности горизонтов, заданных пользователем.

2. Расчет объемов и содержаний с использованием БМ по градиациям, заданным геологической палитрой (связь цвета блока с содержанием ПИ или иной характеристикой).

При расчете в этих двух режимах можно задавать ограничивающие поверхности, представленные триангуляционными моделями. Таким образом, можно рассчитать объемы ПИ, попадающие в карьер или между двумя этапами открытой разработки, или запасы, попадающие в какую-либо объемную зону. Имеются следующие варианты выделения части модели:

1. Расчет объемов части модели, лежащей выше какой-либо модели поверхности, например, объемы руды в карьере.

2. Расчет объемов части модели, лежащей ниже какой-либо модели поверхности, например, объемы руды вне карьера.

3. Расчет объемов части модели, лежащей внутри какой-либо модели тела, например, объемы руды внутри моделей различных категорий запасов.

4. Расчет объемов части модели, лежащей внутри какого-либо контура (на виде сверху), например - объемы руды внутри контуров различных категорий запасов.

Для реализации этих возможностей используются алгоритмы, определяющие отношение исследуемой точки (центроида блока) к триангуляционной поверхности – выше, ниже, внутри, а также положение точки внутри/снаружи замкнутого контура. В качестве примера можно рассмотреть ситуацию, изображенную на рисунке 4.3.

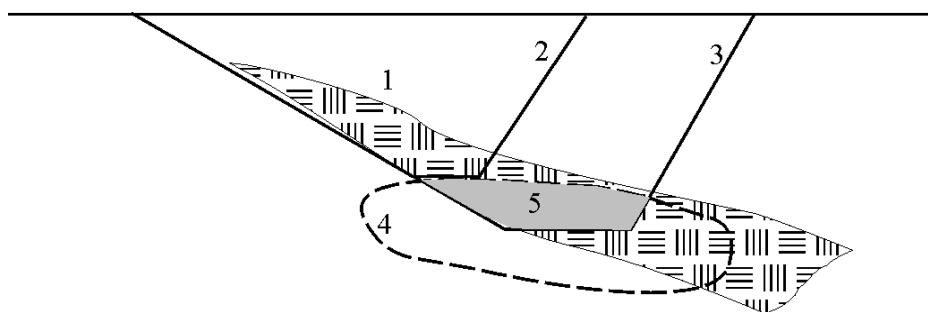


Рисунок 4.3 – Поверхности, которые ограничивают рассчитываемый объем.

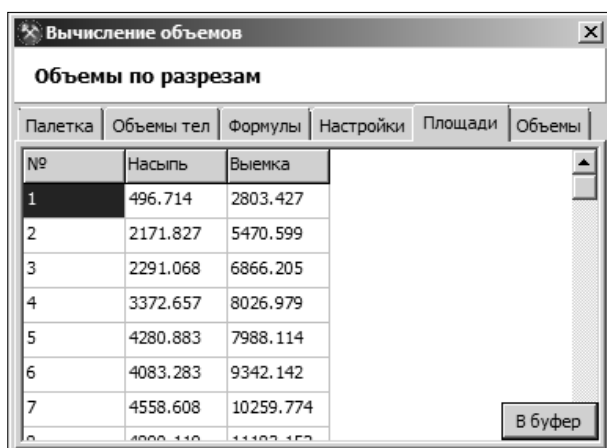
1 – БМ рудного тела объем, которого рассчитывается; 2 – карьер «Верхний»; 3 – карьер «Нижний»; 4 – ограничивающий объем «Зона»; 5 – объем, который попадет в подсчет запасов.

В расчет попадают объемы рудного тела, которые лежат ниже поверхности «Верхняя», выше поверхности «Нижняя» и внутри тела «Внутри». Если какое-либо

ограничение отсутствует, то соответственно меняются и условия подсчета объемов. Так, если имеется только ограничение поверхностью «Верхняя», будет посчитан объем рудного тела, находящегося ниже и вне карьера «2». Ограничение поверхностью «Нижняя» даст объемы, находящиеся внутри карьера «3», а ограничение «Внутри» учтет объем рудного тела, попавшего внутрь каркасной модели объекта «Зона».

Подсчет объемов методом вертикальных разрезов

Метод предназначен для расчета объемов горной массы и разновидностей пород в ВЕ, а также между плановыми и фактическими положениями карьеров. Расчет осуществляется на триангуляционных моделях, посредством рассечения их системой разрезов и формирования замкнутых контуров, что дает исходную информацию для анализа их взаимного расположения и расчета объемов. Также используются алгоритмы пересечения и объединения контуров. Для выполнения расчетов задаются направление и шаг формирования разрезов. Можно задать ограничение области расчета триангуляционными поверхностями – верхней (старое положение) и нижней (новое положение карьера).



№	Насыпь	Выемка
1	496.714	2803.427
2	2171.827	5470.599
3	2291.068	6866.205
4	3372.657	8026.979
5	4280.883	7988.114
6	4083.283	9342.142
7	4558.608	10259.774

Рисунок 4.4 – Площади по разрезам

При расчете объемов происходит формирование замкнутых контуров рассечения разрезами по параметрам, заданным палеткой. Расчитанные площади представлены в виде таблицы (рисунок 4.4). Для варианта вычисления объемов между двумя поверхностями в таблице будет отражена информация о выемке, насыпи, объемах рудных тел между поверхностями. При расчете

объёма выбранного объекта будут получены площади разрезов как этого объекта, так и других, попадающих в его габариты.

Объемы вычисляются между разрезами, исходя из соотношения площадей – по формулам объема конуса, клина, призмы или усеченной пирамиды (рисунок 4.5, 4.6).

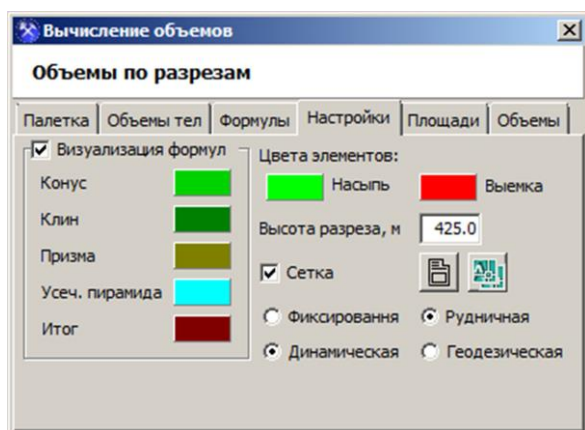


Рисунок 4.5 – Настройки отображения

Вычисление объемов

Объемы по разрезам

Палетка | Объемы тел | Формулы | Настройки | Площади | Объемы

Разрезы	Насыпь	Выемка
174-175	9231.290	51280.047
175-176	7167.215	24529.191
176-177	10554.686	7859.105
177-178	17972.090	4025.895
178-179	13112.995	1790.165
179	2269.395	0.000
Итого	4461925.908	59385492.06

В буфер

Рисунок 4.6 – Расчет объемов

Имеется возможность расчета объемов подземных камер и секций с учетом рудных тел и пройденных выработок. В список пройденных ранее выработок попадают только те, габариты которых пересекают выбранный объект.

Расчет объемных и качественных показателей рудных тел и выемочных единиц

Для ВЕ расчет выполняется с учетом всех геологических тел, попавших в нее. При расчете качественных показателей используются два способа: *по компонентам*, содержащимся в БМ; и *усреднения (метро-процентов)*, в основе которого лежит геометрический (средневзвешенный по пробам) метод подсчета.

Расчет производится по геологическим телам или ВЕ (рисунок 4.7). Элемент модели, для которого ведется расчет, должен иметь триангуляционную модель. Условием использования способа *по БМ* является наличие у моделей рудных тел БМ с заданными значениями содержаний по компонентам ПИ. Условие использования метода *метро-процентов* - наличие модели опробования.

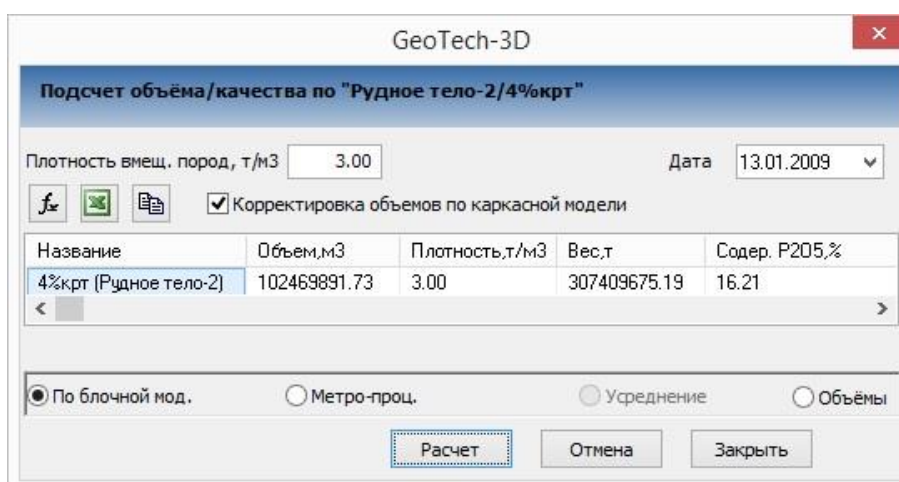


Рисунок 4.7 – Подсчет объемных и качественных показателей

Если подсчет ведется для рудного тела, то таблица состоит из одной строки. Если подсчет ведется для ВЕ, то в таблицу заносятся названия геологических тел, попавших полностью или частично в ее границы.

В случае расчета по блочной модели можно указать, как будет производиться подсчет: по БМ выбранной ВЕ (если она построена и заданы содержания по ней) или же по БМ геологических тел (также при условии, что имеются БМ с заданными содержаниями компонентов ПИ). Если расчет производится по БМ геологических тел, то формируется вспомогательная БМ ВЕ с числом миниблоков не менее 1000. При расчете они разделяются на группы в зависимости от местоположения (внутри геологических тел). Расчет объема (V_k) и средних значений содержания полезного компонента (P_k) по каждой группе блоков осуществляется по формуле (4.1):

$$V_k = \sum_{i=1}^N v^{\delta}, \quad P_k = \sum_{i=1}^N p_i^{\delta} v^{\delta} / V_k, \quad (4.1)$$

где v^{δ} – объем миниблока (так как все блоки имеют равные размеры, их объемы одинаковы); N – число миниблоков данной группы; p_i^{δ} – содержание полезного компонента в миниблоке.

В случае расчета по методу усреднения содержаний, подсчет сводится к учету всех проб, попавших в границы ВЕ, рудного тела или подсчетного геологического блока. Для этого создается список проб (рисунок 4.8), которые полностью или частично попали внутрь триангуляционной модели ВЕ. Для контроля результатов расчета на панели

GeoTech-3D

Подсчет объема/качества по "Рудное тело-2/2%крт"

Плотность вещ. пород, т/м3: 3.00 Дата: 13.01.2009

☒ Корректировка объемов по каркасной модели

Название	Объем, м3	Плотность, т/м3	Вес, т	Содер. P2O5/ AL2O3/ AL2O3KP, %
2%крт (Рудное тело-2)	14607623.75	3.00	43822871.26	3.28/20.76/19.79

☐ По блочной мод. ☒ Метро-проц. ☐ Усреднение ☐ Объёмы

Пробы (132)	Скважина	Длина, м	P2O5/ AL2O3/ AL2O3KP, %	м * %
22944	556/13	4.00	3.18/21.29/21.09	12.72/85.16/84.36
22652		4.10	0.63/20.75/20.58	2.58/85.08/84.38
22651	549/12+36	3.20	0.86/22.80/22.80	2.75/72.96/72.96
22650	549/12+36	3.20	1.16/18.10/17.77	3.71/57.92/56.86
*22649	549/12+36	2.64	2.42/23.23/22.91	6.39/61.33/60.48
22020	534/12	2.00	0.88/21.81/21.44	1.76/43.62/42.88
22019	534/12	2.50	1.22/19.23/18.89	3.05/48.07/47.22

Расчет Отмена Закрыть

Рисунок 4.8 – Подсчет объемных и качественных показателей по метропроцентам

инструмента отображается весь список используемых для расчета проб. Для каждой пробы учитывается только та ее часть, которая попала в триангуляционную модель.

Содержание определяется по формуле (4.2):

$$P_k = \sum_{i=1}^N p_i \cdot L_i / \sum_{i=1}^N L_i, \quad (4.2)$$

где p_i – содержание полезного компонента в i -й пробе; L_i – длина i -й пробы; N – число проб, участвующих в расчете.

4.2 Автоматизированное выделение кондиционных и сортовых интервалов

При разработке программных средств (программа GEOTOOLS) расчёта кондиций за основу были приняты алгоритмы, разработанные Берманом И.И., Паньшиным И.П., Каменевым Е.А. [196, 197].

Операции по оконтуриванию запасов начинаются с выделения кондиционных и некондиционных интервалов по данным опробования. Если между ПИ и расположенными рядом породами имеются резкие контакты или плавные взаимопереходы, фиксируемые по результатам опробования, граница между ними проводится по пробам с заданными кондициями. В более сложных случаях, при неравномерном распределении содержания ПИ в залежи (средняя и нижняя части интервалов) алгоритм процедуры по оконтуриванию заключается в выделении кондиционных и некондиционных интервалов и в многократной попарной проверке их на кондиционность с целью исключения группы подряд расположенных некондиционных проб общей мощностью более предельно допустимой для некондиционного интервала. В общем виде задача по выделению кондиционных интервалов состоит в том, чтобы обеспечить условия кондиций по совокупности параметров: бортовому содержанию, мощности рудной залежи/угольного пласта и не допустить включения в подсчётный контур некондиционных прослоев. При неравномерном распределении ПИ в залежи встречаются сложные комбинации сочетаний кондиционных и некондиционных проб, вызывающие неоднозначные решения о правомерности их включения в подсчётный контур. Это связано с тем, что отдельные параметры кондиций действуют не изолированно, а во взаимосвязи, накладывают дополнительные ограничения на применение их в совокупности. В этом случае существо алгоритма по оконтуриванию залежей ПИ сводится к следующему (рисунок 4.9).

Берется первая сверху группа кондиционных проб (1_p). Группа проверяется на кондиционную мощность. Если мощность соответствует параметру, заданному в условиях кондиции, то закрепляется верхняя граница кондиционного интервала. Если кондиционной мощности нет, присоединяется первая следующая группа некондиционных проб ($1_{бр}$).

Вычисляется среднее содержание в этих двух группах совместно. Если произошло разубоживание до содержания меньшего бортового, обе группы относятся к некондиционному участку и поиск интервала, удовлетворяющего параметрам кондиций, возобновляется со следующей группы кондиционных проб.

Если же содержание больше или равно бортовому, то анализируется среднее содержание в 1-й группе некондиционных проб и следом идущей 2-й группе

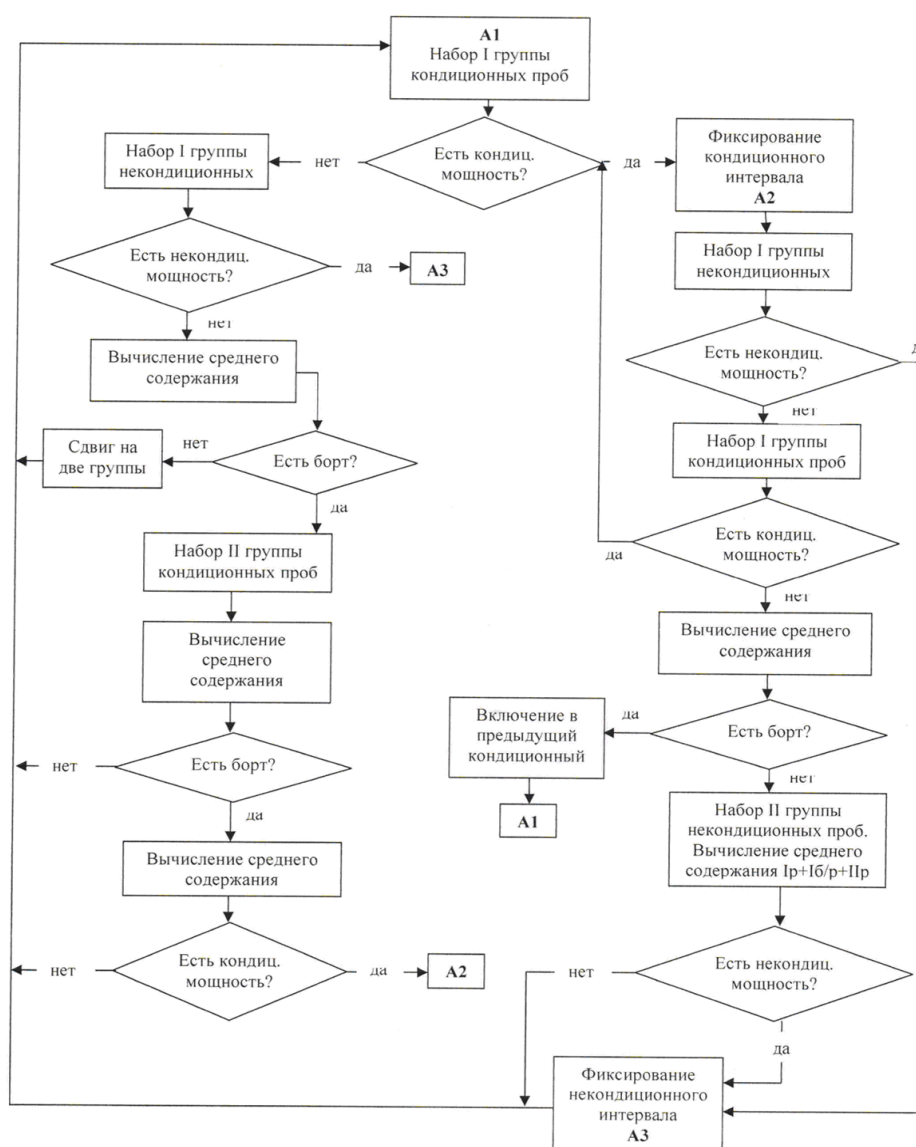


Рисунок 4.9 – Блок-схема выделения кондиционных интервалов

кондиционных проб (2_p). Если разубоживания не происходит, все три названные группы ($1_p+1_{бр}+2_p$) объединяются в единую группу кондиционных проб со своим средним содержанием и мощностью. После этого весь процесс повторяется, причем объединенная группа из трех проб выступает как одна группа кондиционных проб. Такой прием позволяет произвести выделение кондиционного интервала при любой сложности сочетаний распределения проб в разрезе. После того как будет выбрана кондиционная мощность интервала, принимается решение о наличии кондиционного интервала и закрепляется его верхняя граница, а также условно фиксируется его нижняя граница. После этого осуществляется поиск нижней границы кондиционного интервала (или, что тоже самое, верхней границы некондиционного интервала).

Для этого анализируется содержание двух следующих за условной нижней границей групп проб – группы некондиционных проб и прилегающей снизу группы кондиционных проб. Если среднее содержание в них больше или равно бортовому, то обе эти группы присоединяются к вышележащему кондиционному интервалу. Если это условие (кондиционное содержание) не выполняется, к названным двум группам присоединяется следующая группа некондиционных проб и объединенная из трех групп триада анализируется аналогично предыдущему, как одна группа некондиционных проб. Как только произойдет выделение группы некондиционных проб (в т.ч. объединенной) по мощности большей или равной максимальной для некондиционного прослоя, окончательно закрепляется выход из кондиционного интервала и вход в некондиционный. После этого осуществляется поиск нового интервала, удовлетворяющего условиям кондиции, по правилам, аналогичным вышеизложенным.

4.3 Выделение сортов ПИ

В программе GEOTOOLS имеется инструмент для выделения сортов ПИ. Вариант выделения сортов задается как списковая характеристика в геологической БД. Затем создается список сортов для данного варианта выделения (рисунок 4.10). В таблице сортности содержатся следующие поля: цвет, название, формула. Для каждого сорта определяющим является поле формулы. С помощью *редактора выражений* указывается логическое выражение, в соответствии с которым каждая проба по сочетанию содержаний компонентов, входящих в логическое выражение, будет отнесена к подходящему сорту. Логическое выражение содержит логические операторы (И, ИЛИ, НЕ, <, >, =, ≤, ≥). В качестве операндов логических операций могут быть использованы: значения опробованных компонентов, типы пород, константы. В колонке журнала опробования с названием нового сорта отображается результат - пробы окрашены цветом соответствующего сорта. В дальнейшем можно

использовать эту информацию для выделения контактов ПИ разной сортности при геометризации рудных тел и пластов.

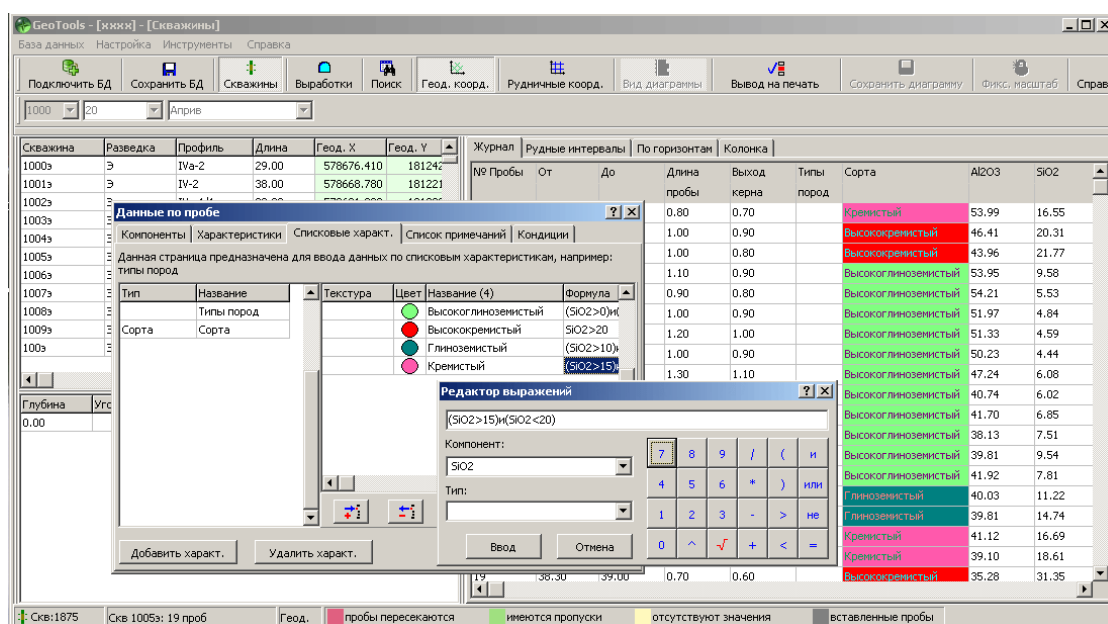


Рисунок 4.10 – Создание списка сортов и вид журнала опробования с отнесением проб к определённым сортам

4.4 Интерактивный ввод данных ГО

Группа этих инструментов предназначена для быстрого и точного ввода данных по ГО, полученных в результате маркшейдерской съемки устьев скважин и траекторий разведочных выработок, таких, как борозды, траншеи, геофизические профили.

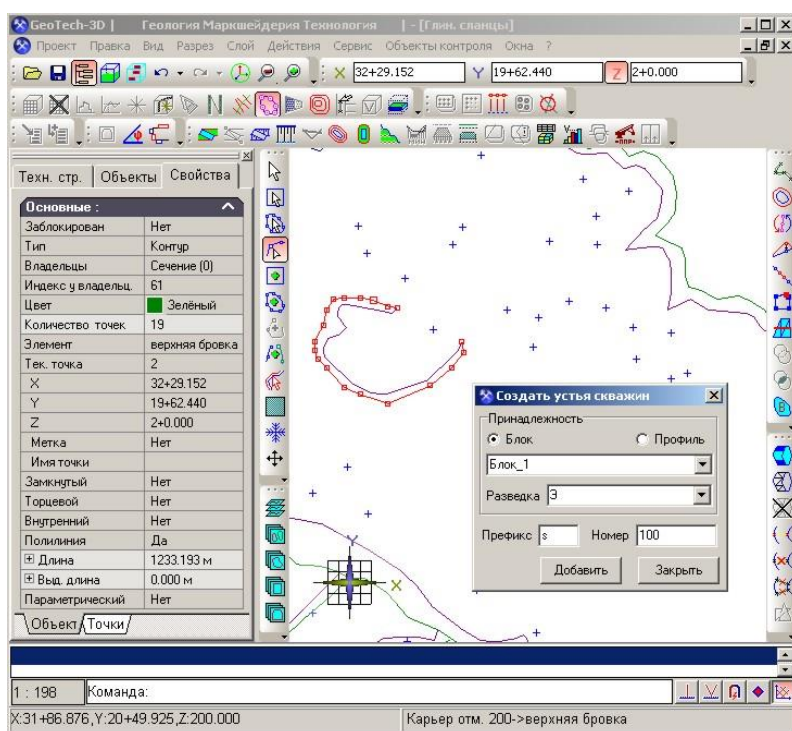


Рисунок 4.11 – Пополнение БД ГО информацией по скважинам БВР

Ввод координат взрывных скважин по данным маркшейдерской съемки

Инструмент предназначен для ввода данных шламового опробования по буровзрывным скважинам. Он позволяет автоматизировать процесс передачи координат устьев скважин в геологическую БД. В качестве источника данных используются

данные маркшейдерской съемки, представленные в виде контура с точками, представляющими устья скважин (рисунок 4.11).

Так как эта функция предназначена для ввода данных опробования, полученных при бурении взрывных скважин, то скважины в БД будут отнесены к блоку с определённым названием.

Результат блочного моделирования с использованием опробования взрывных скважин и распределением нескольких компонентов ПИ во взрывном блоке представлен на рисунке 4.12.

Интерактивный ввод данных опробования в подземных выработках

При разработке месторождений подземным способом значительный объем информации по пространственному распределению ПИ получают на основании данных бороздового опробования выработок. Наиболее сложным при этом является определение

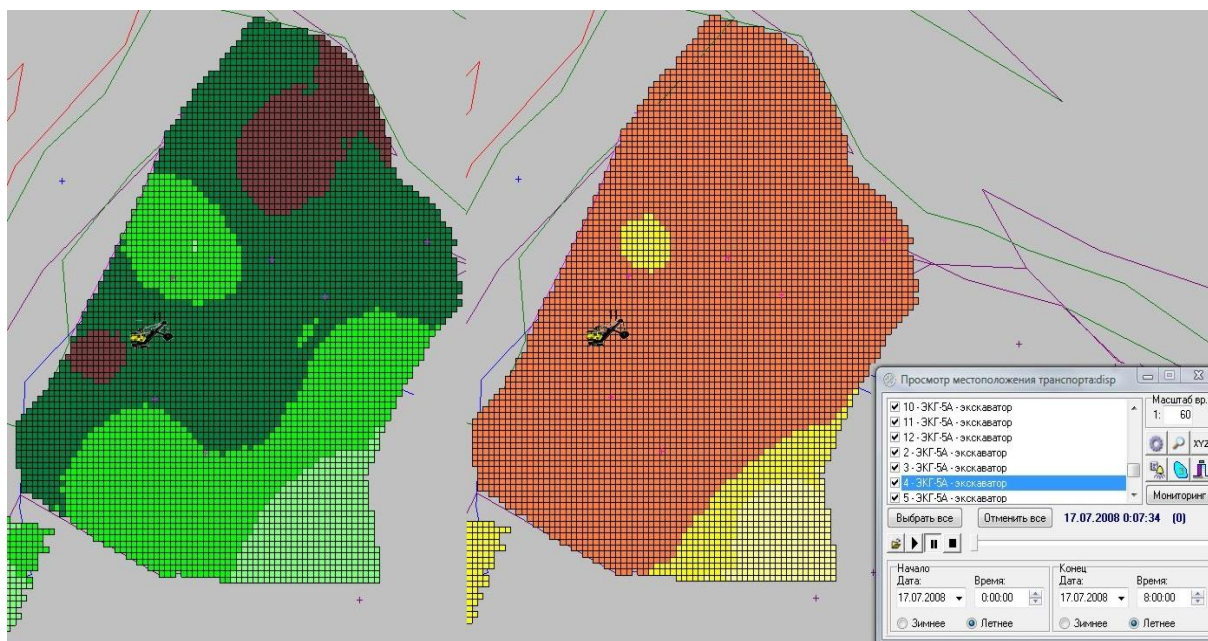


Рисунок 4.12 – БМ распределения двух компонентов ПИ во взрывном блоке координат проб. Для автоматизации работы по вводу данных опробования и повышению их надёжности разработан инструмент интерактивного ввода.

Определение начала и конца пробы осуществляется путём установления в 3D моделируемом пространстве точки привязки и задания необходимых параметров (опробования по борту или забою; левая или правая стенка выработки; расстояние от точки привязки по осевой линии, от кровли или почвы выработки). Также (рисунок 4.13) координаты начала и конца проб могут задаваться указанием курсором их местоположения на модели выработки.

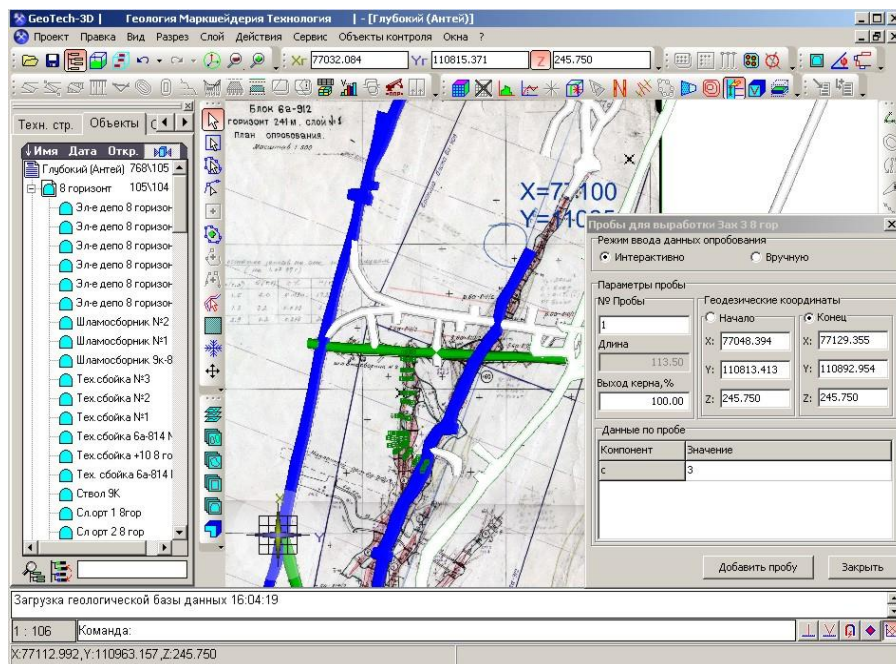


Рисунок 4.13 – Интерактивный ввод данных бороздового опробования

4.5 Инструменты решения маркшейдерских задач

Основой для решения маркшейдерских задач является каталог точек маркшейдерского обоснования. Все инструменты, обеспечивающие формирование моделей точек и решение стандартных маркшейдерских задач, реализованы в форме маркшейдерского редактора, являющегося одним из инструментов GEOTECH-3D (рисунок 4.14).

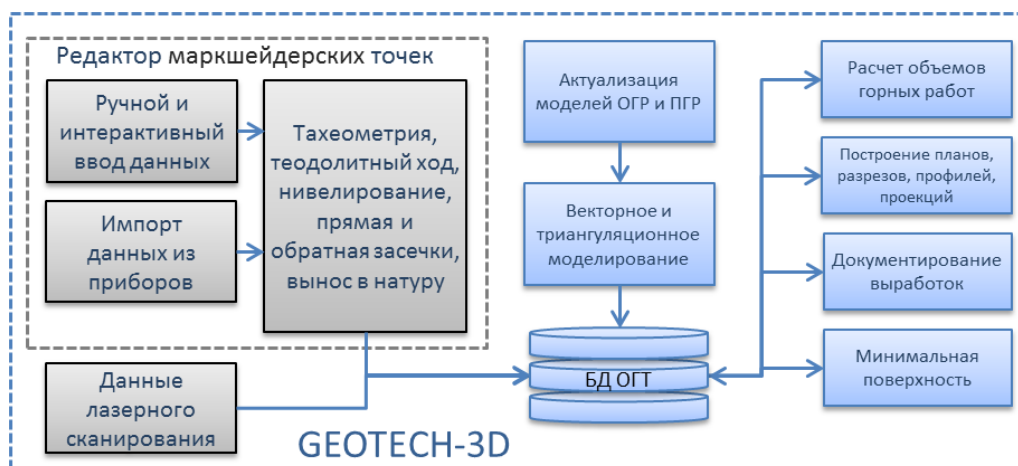


Рисунок 4.14 – Программные средства для обеспечения маркшейдерских работ

Результаты расчёта в виде моделей маркшейдерских объектов отображаются в 3D моделируемом пространстве, что обеспечивает визуальный контроль над вычислительными операциями (рисунок 4.15).

Для решения маркшейдерских задач реализованы алгоритмы, позволяющие:

- решать прямую и обратную геодезическую задачу;
- находить координаты точек методом прямой и обратной засечки;

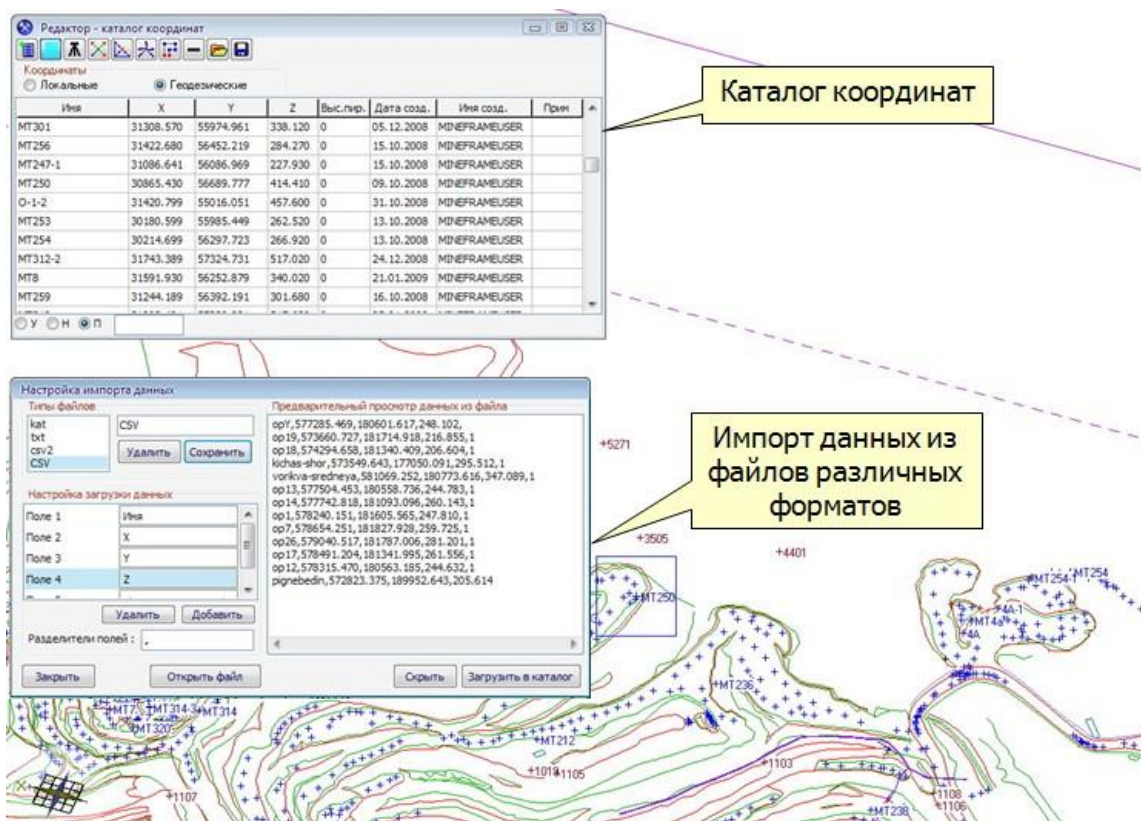


Рисунок 4.15 – Работа с БД маркшейдерских точек инструментальными средствами маркшейдерского редактора

- производить расчет и уравнивание теодолитных ходов;
- осуществлять импорт и обработку результатов тахеометрической съемки;
- выполнять моделирование проходки подземных горных выработок по данным маркшейдерских замеров;
- осуществлять корректировку местоположения точек различного рода технологических поверхностей (карьеры, склады, отвалы и т.п.);
- производить расчеты объемов горных работ;
- Осуществлять маркшейдерский замер проходки подземных выработок;
- Формировать отчетность.

Результаты маркшейдерских измерений и расчетов формируют векторные и триангуляционные модели подземных выработок, карьеров, отвалов. Наличие моделей маркшейдерских точек позволяет автоматизировать задачи пространственной привязки проектных и фактических моделей ОГТ, среди них:

- Корректировка положения рабочего борта карьера по результатам тахеометрической съемки. Использование электронных тахеометров обеспечивает файловую передачу данных непосредственно в среду графического редактора GEOTECH-3D, инструментальные средства которого позволяют быстро модифицировать модель карьера, меняя старое положение бровок уступов на новое. Создание каркасных моделей карьеров на различные календарные периоды позволяет оперативно вычислять объемы ПИ и вскрышных пород между различными положениями карьера.

- Формирование моделей подземных горных выработок на основе векторизованных данных маркшейдерских планшетов. Инструментальные средства создания 3D моделей выработок с использованием интерактивного режима размещения их сечений по оси выработки позволяют быстро перейти от бумажных 2D носителей информации к цифровым трехмерным моделям.

- Моделирование проходки подземных горных выработок. Модель выработки представляет собой упорядоченную последовательность сечений, одним из атрибутов которых является дата. Набор сечений с одинаковой датой формирует участок выработки, пройденный за определенный период времени.

- Моделирование топоповерхности. Для построения модели используется триангуляция Делоне со структурными линиями. Наличие инструментов управления триангуляцией и её корректировки обеспечивает режим локальной модификации модели поверхности без необходимости ее полной перестройки.

- Моделирование рудных складов, отвалов, хвостохранилищ и объектов инфраструктуры. Наличие инструментов, реализующих два варианта вычисления объема, заключённого между поверхностями (например – навал и целик) через треугольники каркасной модели (метод Герона) и с помощью регулярной сетки точек (палетка Соболевского), позволяет быстро вычислить их объемы и массу.

- Построение профилей дорог и подземных горных выработок с автоматическим формированием необходимой графической и табличной информации.

При работе с моделями объектов обеспечивается точность привязки в 1 мм, а сама работа может осуществляться в локальных (рудничных) и геодезических координатах.

При загрузке из БД к маркшейдерским точкам может быть применен фильтр, позволяющий ограничить число загруженных объектов. При формировании разрезов в качестве дополнительного фильтра выступает область видимости вблизи плоскости разреза, размеры которой задаются пользователем. Работать с маркшейдерскими точками можно одновременно через каталог и моделируемое пространство. Для облегчения

процедуры формирования отчетов и обмена информацией между различными БД или электронными таблицами существуют функции импорта и экспорта данных.

Важным инструментом автоматизированного рабочего места маркшейдера являются средства моделирования пройденных подземных горных выработок. Существуют два основных способа создания или изменения моделей выработок: интерактивный и параметрический.

В интерактивном режиме модель выработки можно создавать либо опираясь на предварительно загруженную в окно разреза подложку, либо в моделируемом 3D пространстве. Местоположение сечений выработки в этом случае указывается курсором на РП, местоположение и ориентацию которой в пространстве можно менять по ходу работы. Форма сечения выработки выбирается из списка стандартных, применяемых на предприятии. В случае работы с подложкой, на которой располагаются цифровые копии векторизованных маркшейдерских планшетов, точки пересечения стенок выработок на подложке с плоскостью формируемого сечения выработки определяются автоматически, что обеспечивает высокую скорость формирования моделей при достаточной точности привязки координат. При наличии цифровой копии вертикального профиля выработки, подгружаемого в качестве подложки в окно вертикального разреза, сделанного по оси выработки, возможна автоматическая привязка ее сечений не только по координатам X , Y , но и Z . Точки пересечения со стенками выработки, ее почвой и кровлей трансформируются в изменение ширины и высоты сечения выработки.

Для моделирования наклонных выработок предусмотрена возможность привязки оси выработки к маркшейдерскому полигону, что позволяет достаточно просто моделировать объект данного типа, учитывая изменчивость Z -координаты оси. При создании моделей крутонаклонных и вертикальных выработок используется вариант одновременной работы с несколькими горизонтальными разрезами в многооконном режиме. Размещение в окнах разрезов подложек, в виде цифровых копий векторизованных маркшейдерских планшетов горизонтов позволяет точно сформировать модели данного типа выработок.

Параметрический режим используется для моделирования проходки выработок (рисунок 4.16). Информация о проходке новых выработок поступает в форме «маркшейдерских домеров» (ортогональная съемка), опирающихся на модели проектных и фактических маркшейдерских точек. Результатом применения инструмента пополнения проходки является модель пройденного участка выработки. Каждому сечению присваивается дата проходки, что впоследствии позволяет, используя инструменты анализа, получать и отображать данные о проходке за календарный период.

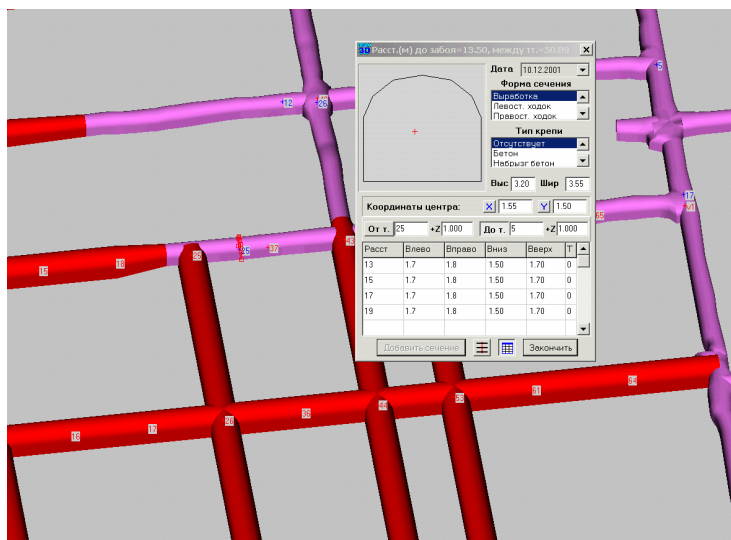


Рисунок 4.16 – Моделирование проходки горных выработок

4.6 Инструмент «Маркшейдерский замер и отчётность»

Для условий подземных горных работ реализован инструмент моделирования объектов маркшейдерского замера проходки выработок и ведения отчетной документации. Работа ведется с триангуляционными моделями подземных горных выработок и точками маркшейдерского обоснования. Производится отсечка (вертикальной или наклонной плоскостью) каркасов моделей выработок на момент маркшейдерского замера за отсчётный период с формированием модели объекта проходки – секции замера (рисунок 4.17). Объект размещается в структуре проекта с отнесением его

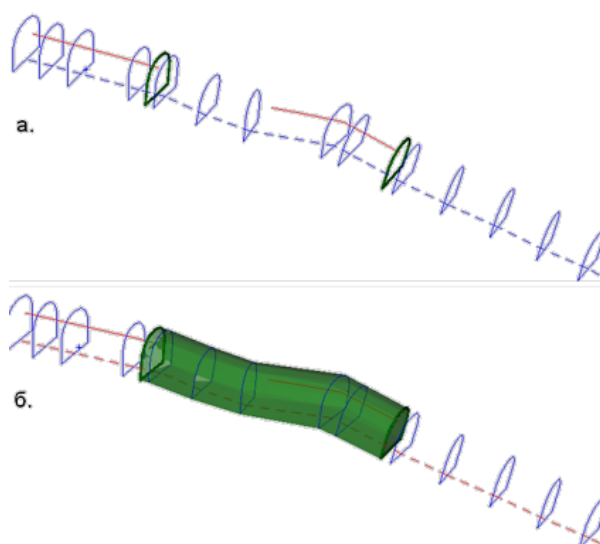


Рисунок 4.17 – Формирование модели отсечки;
а – линии замера и отсечки за период;
б – создание секции замера

к руднику, технологическому блоку, участку, горизонту, слою, дате проходки. Производится расчёт показателей добычи на основе указанных пользователем данных геолого-геофизического опробования в 3D окне GEOTECH-3D с экспортом результатов замеров в MS EXCEL. Отсечка на момент замера реализована для следующих объектов: выработка (горизонтальная и вертикальная), произвольная секция, закладочный массив. В процессе ввода отсечки привязывается к определенной маркшейдерской точке, линия

привязки заданной длины визуализируется при интерактивной установке плоскости отсечки. Линия привязки принимает форму, близкую к форме оси выработки, т.е. может быть ломаной линией. Реализована возможность деления триангуляционной модели горной выработки или произвольной секции на части плоскостью отсечки на момент замера. Инструмент формирования отчета по маркшейдерскому замеру собирает информацию за определенный период времени по секциям замера, относящимся к определённому блоку, горизонту, и создает сводную таблицу показателей проходки. Отчет содержит следующую информацию: дата; рудник; участок; блок; слой; название выработки; точка привязки замера; привязка на начало и конец отчётного периода; длина проходки; набор значений ширины по выработке; средняя ширина по выработке; паспортная ширина; объём фактический, объём принятый в оплату.

4.7 Минимальная поверхность

Инструмент построения минимальной поверхности строит и поддерживает модель выемки на ОГР. Он предназначен для ведения модели самого нижнего положения горных работ за весь период работы карьера. При сплошных системах разработки, а иногда и при углубочных, применяют внутреннее отвалообразование, в таких случаях маркшейдерская съемка дает основу для построения модели поверхности вместе с отвалами. Положения горных работ прошлых периодов под отвалами, становятся недоступными для съемки.

Для построения используются триангуляционные модели поверхности карьеров, выходная модель – сеточная или векторная (зависит от способа построения). Инструмент может обрабатывать множество положений карьеров для формирования единой модели минимальной поверхности.

4.8 Подсчет объемов горной массы в карьере методом палетки

Метод основан на использовании триангуляционных моделей и позволяет рассчитать объемы горной массы, как в целом по карьере, так и по отдельным участкам (по забоям, штабелям, отвалам, месячным, квартальным подвижкам и пр.). Расчет объемов производится только для моделей объектов, имеющих триангуляционную модель поверхности.

Расчёт осуществляется с помощью прямоугольной сетки, из узлов которой выходят лучи, ортогональные плоскости сетки (ориентацию плоскости сетки задает пользователь). Лучи пронизывают встречающиеся на их пути треугольные грани поверхностей. Координаты пересечения лучей с поверхностями моделей (геологических тел, карьеров и пр.) дают информацию об их размерах. Сумма расстояний между найденными точками, умноженная на площадь ячейки палетки, даёт искомый объем. Так, например, этот способ позволяет рассчитывать объемы руды и вскрыши между различными положениями карьеров. Ограничивающий контур задает зону (участок уступа или борта карьера, часть яруса отвала), внутри которой будут производиться расчёты (рисунок 4.18).

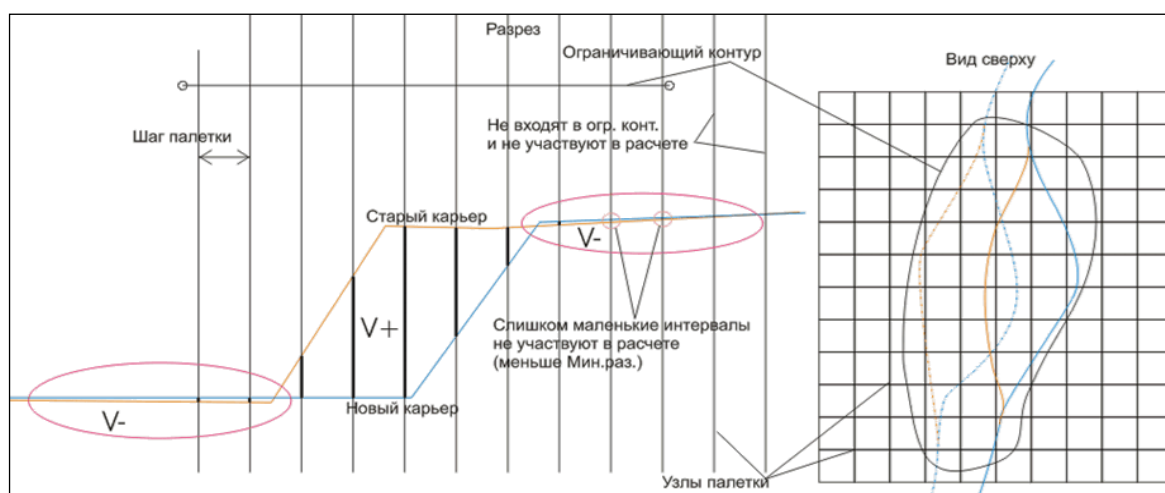


Рисунок 4.18 – Схема к расчету объема по палетке

Результат расчета выводится в таблицу (рисунок 4.19).

Погрешности подсчета объемов возникают в случае неточного построения каркасных моделей карьеров. На схеме (рисунок 4.18) – это места, обведенные большими эллипсами (V-). Чтобы исключить эти места из расчета ограничивающий контур должен располагаться максимально близко к зоне изменения дневной поверхности.

Визуализация результатов расчёта осуществляется путём отрисовки вертикальных отрезков, их длина — это расстояние между поверхностями. Например, отрезки желтого цвета показывают, что в этом месте изменений не было, красного — породы были вынуты, синего — насыпаны.

Расчет объемов не по блочной модели

Комп.: Не задан
Плотность: 3.0
☒ Поверхн.
Палетка: Шаг, м: 2.0
Ось: ☐ X ☐ Y ☒ Z
Слой: Шаг: 15.0
Начало: 280.0
Конец: 415.0
Старт Стоп
Заккрыть

По слоям По содерж. По разрезам По каркасу По палетке

Гориз.	Руда1	Руда2	Вмещающие
415-400	0.00	0.00	2312612.75
400-385	19.79	0.00	2103422.25
385-370	94255.39	9558.69	1791195.88
370-355	168818.42	23094.81	1329470.00
355-340	169209.38	24763.96	955904.00
340-325	114213.46	28632.97	666136.63
325-310	110024.03	29694.54	411348.78
310-295	126947.76	24807.00	167628.48
295-280	95759.30	7715.88	22261.28
Итого(Верхняя бр)	879247.53	148267.85	9759980.05

☒ + ☐ В/Н Комм.: Дт

Рисунок 4.19 – Расчет объемов по палетке

Если в момент расчета были загружены модели залежей ПИ, то они будут автоматически учтены в расчете, и их объемы появятся среди общих объемов выемки.

4.9 Инструменты геометрического моделирования

С помощью средств геометрического моделирования задается форма моделей, добавляются и редактируются их части, проводится проверка их взаимного положения в 3D пространстве. Эти средства основаны на ядре геометрических вычислений, обеспечивающих операции аналитической геометрии и векторной алгебры, нахождение взаимных отношений геометрических примитивов, таких как точки, отрезки, полилинии, окружности, плоскости и их сочетания. Инструменты триангуляционного моделирования обеспечивают создание и модификацию (в том числе и с помощью булевских операций) моделей топоповерхностей, бортов карьеров, подземных выработок, отвалов, рудных тел, пластов и других объектов геологической среды и горной технологии (рисунок 4.20).

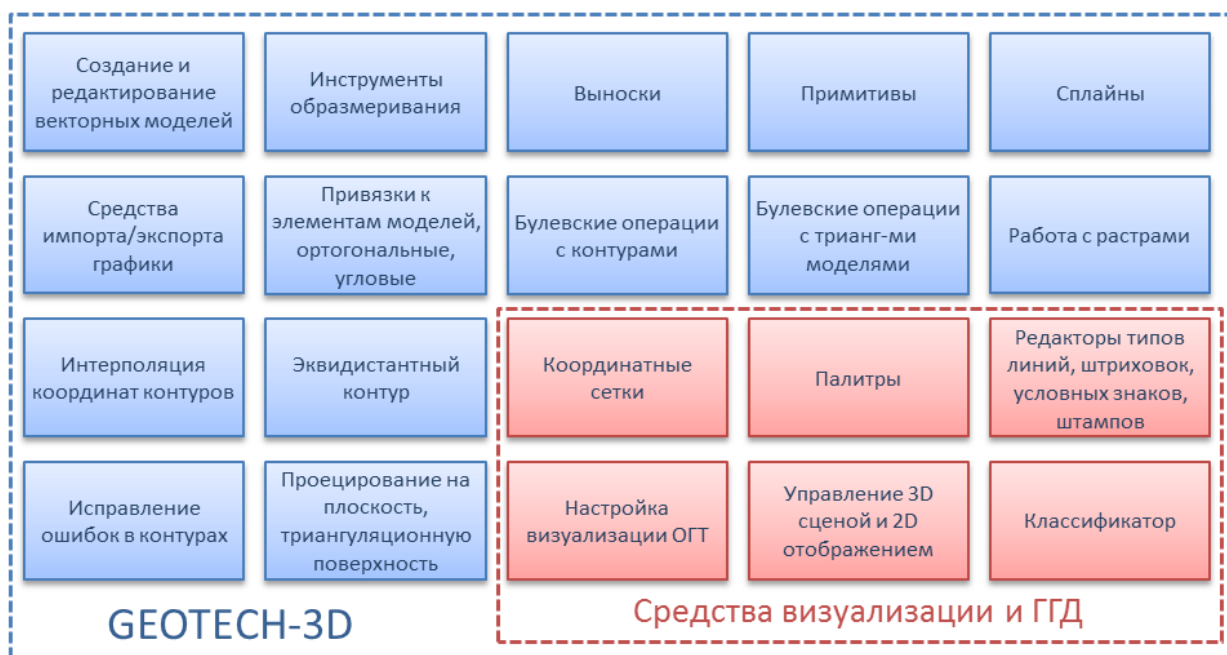


Рисунок 4.20 – Программные средства геометрического моделирования

Все инструменты для работы с векторными моделями можно разделить на три группы. Первая — это инструменты создания и редактирования объектов, включая его сечения, контуры и точки. Вторая — это средства модификации объектов, которые позволяют изменять его векторную и каркасную модель, используя методы проецирования на плоскости и триангуляционные поверхности, построения эквидистантных контуров, интерполяции высотных отметок. К третьей группе относятся инструменты, выполняющие последовательно серию модификаций над одним или несколькими объектами. Это инструменты построения траншей и насыпей, съездов,

прирезок, практически все инструменты проектирования БВР, планирования горных работ, обеспечения закладочных работ и др.

Средства визуализации и генерации ГГД позволяют перейти от 3D моделей проектируемых объектов к их 2D образу с обеспечением точной привязки, выставлением размерных линий и описанием. При формировании чертежей используются средства построения разрезов и планов, автоматического вынесения сеток, оформления элементов чертежа в соответствии со стандартами горной графики.

4.10 Инструменты проектирования горных работ

При проектировании широко используются инструменты геометрического моделирования открытых и подземных горных выработок. Они позволяют задать точную форму и размеры объектов, их расположение в 3D пространстве.

Существуют средства (рисунок 4.21) автоматизированного построения бровок, берм и площадок, съездов, траншей и насыпей, подземных выработок, секций, блоков. С их помощью решаются такие задачи, как создание бортов карьеров с параметрами, заданными их конструкцией; формирование схем вскрытия открытых и подземных горных работ; построение моделей насыпных сооружений, в том числе отвалов. При проектировании горных работ осуществляется уточнение фактического состояния горных работ и создание проектных моделей технологических объектов. Исходное состояние для проектирования представлено моделями фактических объектов, создаваемых

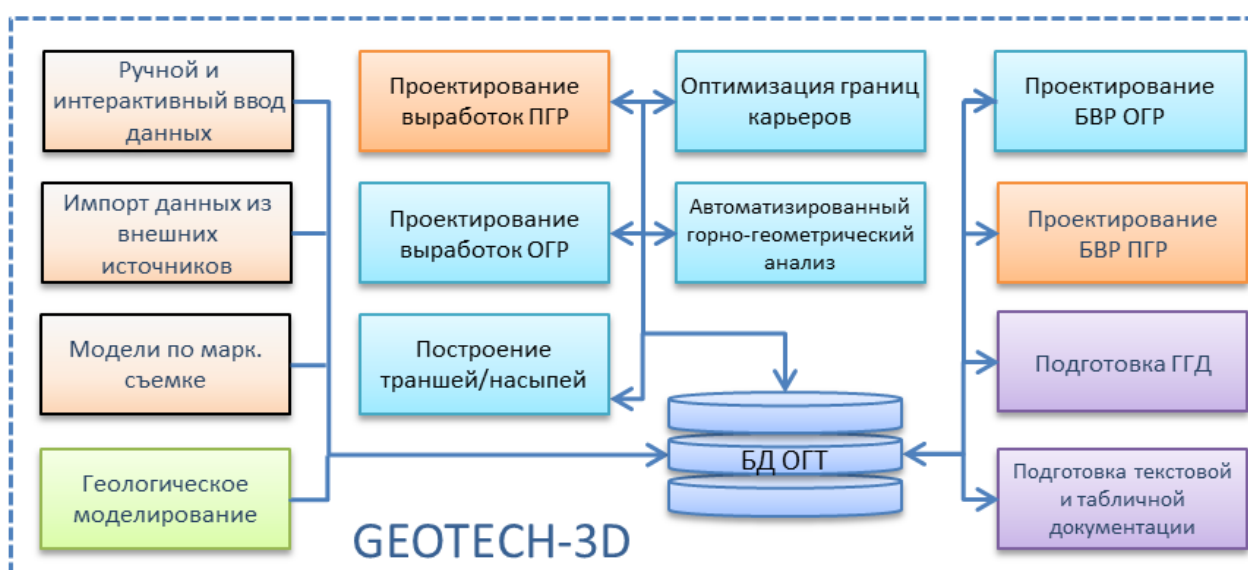


Рисунок 4.21 – Инструменты проектирования горных работ

маркшейдерской службой предприятия.

4.11 Инструменты проектирования ОГР

Для создания и поддержания модели карьера в проектных и рабочих положениях имеется определенный набор инструментов, позволяющий в автоматизированном режиме осуществлять (рисунок 4.22):

- оптимизацию границ карьера;
- построение площадки или бермы;
- построение верхней/нижней бровки уступа;
- построение съезда;

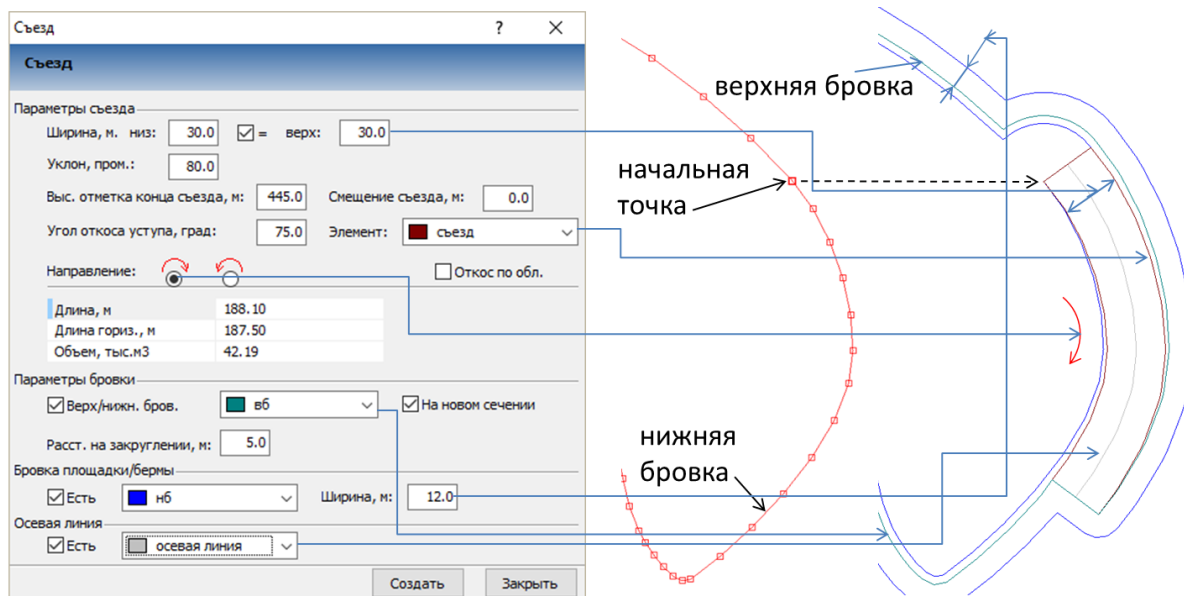


Рисунок 4.22 – Инструмент построения съезда

- построение съездов на уже существующем уступе;
- построение выемок (траншеи, котлованы и пр.) и насыпей (дороги, дамбы, отвалы, склады горной массы и пр.);
- построение борта карьера с вписыванием схемы вскрытия;
- подсчет объемных погоризонтных показателей.

С помощью этих инструментов решаются такие задачи, как: проектирование карьеров с заданными параметрами; формирование схемы вскрытия и карьерных транспортных коммуникаций; проектирование горнотехнических сооружений, в том числе отвалов и складов руды. Созданные в результате проектирования модели объектов горной технологии визуализируются в 3D пространстве, а инструменты построения разрезов помогают представить результаты проектирования в привычном для инженеров-технологов виде.

Основой для проектирования горных выработок ОГР и насыпных сооружений является наличие 3D моделей, отражающих геологию месторождения, топографию местности и фактическое состояние горных работ.

Средства автоматизированного построения бровок, берм и площадок, съездов, траншей и насыпей основаны на использовании элементарных операций аналитической геометрии и более сложных алгоритмов построения эквидистантного контура и проекций на триангуляционные поверхности, интерполяции высотных отметок и др.

Построение площадки или бермы

В зависимости от направления построения исходным является контур верхней или нижней бровки уступа. Отстраиваемая бровка может быть построена по всей длине контура исходной бровки, либо только по ее выделенному участку. Используется инструмент построения эквидистантного контура, при построении необходимо выбрать тип эквидистанты, установить нужную высотную отметку, назначить ширину площадки/бермы, выбрать элемент, к которому будет принадлежать бровка. Остальные параметры подбираются в зависимости от специфики задачи.

Построение съезда

Съезд моделируется замкнутым контуром на уступе карьера, точки съезда имеют изменяющиеся высотные отметки (рисунок 4.22). Съезд отстраивается снизу вверх от нижней бровки, или сверху вниз от верхней. Необходимым условие построения является наличие контура (бровки), вдоль которого будет построен съезд. Для начала работы, необходимо указать на исходной бровке точку, от которой будет отстроен съезд. Если подходящей точки нет, то ее необходимо создать. Точки смыкания съезда и бровок становятся общими для контуров, их моделирующих, что очень удобно в случае последующего редактирования данных объектов. Дополнительно, в автоматическом режиме могут быть созданы верхние и нижние бровки уступа и бермы (площадки).

Построение съездов на уже существующем уступе

Инструмент построения съездов по двум точкам обеспечивает построение съездов на предварительно созданном уступе, где уже могут быть размещены другие съезды. Для начала работы необходимо выбрать точки на нижней и верхней бровках. Съезд будет построен от нижней точки к верхней. Уклон, высотная отметка конца съезда, угол откоса уступа, направление построения съезда определяются автоматически, но могут быть изменены пользователем (рисунок 4.22).

Построение нового положения борта карьера

Инструментальные средства GEOTECH-3D позволяют смоделировать в режиме проектирования новое положение участка борта карьера при заданных параметрах конструкции, таких как: высота уступа или высотная отметка площадки, ширина площадки или бермы, угол откоса уступа. Инструмент основан на многократном использовании процедуры построения эквидистантного контура с параметрами, обусловленными конструкцией борта карьера.

Для выполнения этой операции необходимо выделить участок бровки уступа в том месте, где планируется построить новое положение бровок, формирующих борт. В окне диалога (рисунок 4.23) с помощью таблиц задаются параметры участков борта соответственно выше и ниже выбранной бровки. Каждая заполненная строка таблиц приведет к построению бровки с соответствующими параметрами. С помощью таблицы задаются следующие параметры:

- высотная отметка создаваемой бровки (отметка может быть абсолютной и относительной);
- расстояние от предыдущей бровки (ширина площадки, бермы);
- угол откоса уступа, если не задано расстояние до предыдущей бровки;
- название элемента, которому будет принадлежать созданная бровка.

Также можно указать направление, в котором будут созданы бровки борта, и сохранить параметры конструкции борта для последующего использования.

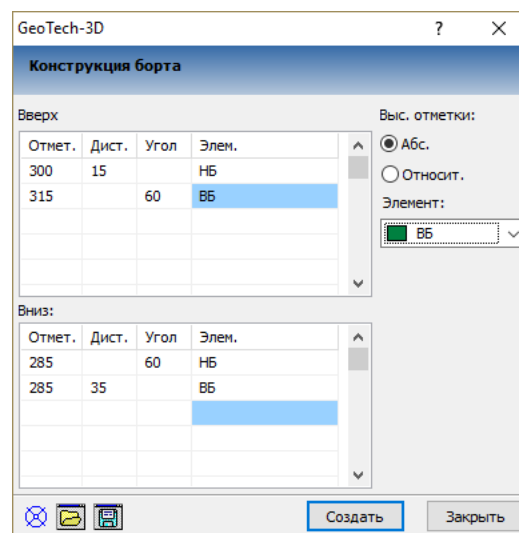


Рисунок 4.23 – Инструмент формирования нового положения борта карьера

Создание траншеи, полутраншеи и насыпи

В основе алгоритма построения траншей, полутраншей и насыпей лежит последовательное выполнение серии операций, включающих построение эквидистантного контура для построения границ дороги, нахождение проекции этой границы на триангуляционную модель местности (рисунок 4.24). Проецирование выполняется под углами, назначаемыми пользователем отдельно для выемки и насыпи. Внутри контура проекции удаляются все линии, перекрытые новым положением рельефа, перестраивается каркасная модель, определяются объемы насыпи и выемки.

Для реализации алгоритма используется триангуляционная модель поверхности рельефа (рисунок 4.25, 1). Исходным для всех построений является контур. Разомкнутый контур считается осевой линией, вдоль которой строятся контуры дороги или траншеи/насыпи (рисунок 4.25, 2-4). Замкнутый контур считается бровкой котлована или насыпи (рисунок 4.25, 5,6).

Положение точек осевой линии определяет вид полученного сооружения: траншея, насыпь или их комбинация. В тех местах, где точки осевой линии лежат под поверхностью, формируется траншея (рисунок 4.25, 3), над поверхностью – насыпь (рисунок 4.25, 2). Точки осевой линии могут располагаться на различных высотных отметках, что позволяет создавать модели капитальных и разрезных траншей, полутраншей (рисунок 4.25, 4), пионерных насыпей отвалов и прочих земляных сооружений.

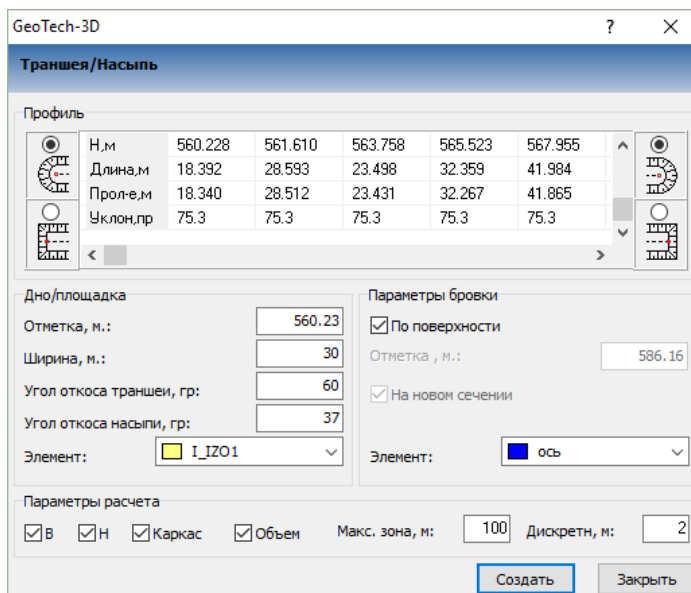


Рисунок 4.24 – Диалоговое окно построения траншеи или насыпи

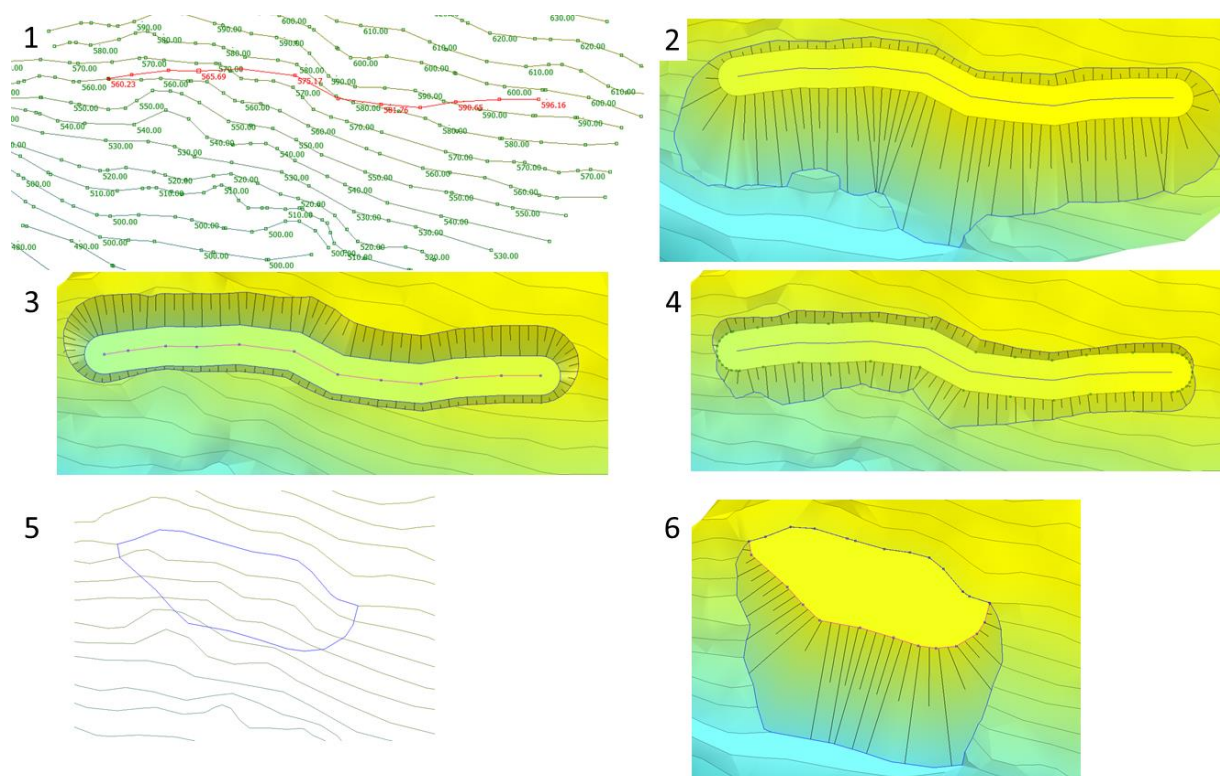


Рисунок 4.25 – Построение траншей и насыпей

В случае отсутствия триангуляционной модели поверхности выполняется построение контуров насыпи/траншеи на заданной проектной отметке.

Для облегчения работы с профилями в окне рабочего инструмента отображаются все пикеты осевой линии, их высотные отметки, расстояние и горизонтальные проложения между ними, уклоны на участках. Ячейки таблицы можно выделить и экспортировать в MS Excel для формирования отчета. На этой же панели присутствуют элементы управления, с помощью которых можно задать конструкцию траншеи и насыпи.

Построение линий наибольшего ската и бергштрихов

Одной из наиболее трудоемких операций для формирования проектной документации является операция построение бергштрихов. Инструмент построения бергштрихов предназначен для работы с векторной моделью карьера/отвала (примеры построений представлены на рисунке 4.25 - 2, 3, 4, 6). С его помощью можно быстро создать линии наибольшего ската и бергштрихи в соответствии с принятыми стандартами. Формирование бергштрихов может осуществляться в двух режимах: для одиночного контура (участка контура) и для контуров бровок всей модели поверхности. Для каждого контура верхней бровки карьера/отвала, которые участвуют в построении, создаются два дополнительных контура с отрезками, моделирующими линии ската, и отрезками, моделирующими бергштрихи.

Алгоритм построения бергштрихов включает несколько операций: исходный контур дополняется точками, расположенными на расстоянии друг от друга соответствующим расстоянию между бергштрихами; из этих точек опускается луч до пересечения с нижней бровкой, луч поворачивается в плане для нахождения такого положения, чтобы прилежащие углы между бровками и лучом выровнялись. В случае если исходный контур является гребнем насыпи (дном выемки), поиск нижней бровки автоматически производится по обе стороны от гребня. В варианте построения бергштрихов с выделением рудных/угольных уступов, алгоритм, автоматически по заданным критериям, формирует бергштрихи двойными линиями (руда) или треугольниками (уголь), обозначая, таким образом, части уступов, находящиеся внутри модели залежи ПИ.

Для управления режимом формирования линий ската и бергштрихов задается масштаб, в котором будет выводиться чертеж; расстояние между линиями ската на чертеже в выбранном масштабе; длина бергштриха относительно соседних линий ската; расстояние между двоянными бергштрихами по руде и вид бергштрихов на рудных уступах; параметры прерывистого размещения линий ската и бергштрихов (расстояние

между группами штриховки на чертеже и количество бергштрихов и соответствующих им линий ската в каждой группе); минимальный угол откоса уступа, при котором бергштрихи не формируются.

4.12 Определение границ карьеров на основе экономико-математического моделирования

Одной из важнейших задач при проектировании открытой разработки недр является определение конечных контуров карьеров. Решение этой задачи основывается на учете пространственного распределения полезных компонентов и принятых устойчивых или технологически допустимых углов откосов бортов карьера. Одним из методов, определяющих оптимальный контур карьера, является алгоритм [11], который был опубликован еще в 1965 году. В связи со сложностью реализации и высокими аппаратными требованиями одно из первых коммерческих воплощений он получил в конце 80-х годов в пакете Whittle Three-D® (Whittle Programming Pty.). Благодаря интерфейсам с горными интегрированными пакетами Whittle Three-D® стал одним из признанных лидеров при решении задачи определения оптимальных границ карьера. Были предложены и другие альтернативные способы оптимизации, например, метод «плавающего конуса». Они не получили широкого применения из-за большего времени работы или некорректной работы в ряде случаев.

При разработке модуля оптимизации границ карьера в MINEFRAME за основу был взят предложенный С.Д. Коробовым [162, 205] метод распределенных оценок и модификация этого алгоритма [157]. Модификация заключается в том, что при выполнении оптимизации необходимо осуществлять поиск пути между положительным и отрицательным конусом, что, в свою очередь, устраняет некорректность работы оригинального алгоритма.

Процедуру нахождения границ оптимального карьера можно разделить на три основных части:

- построение обратного конуса для каждого блока модели с положительным весом;
- оптимизация на основе алгоритма С.Д. Коробова;
- добавление блоков, входящих в конус, к оптимальному карьере.

Процедура построения обратного конуса заключается в установлении связей между рассматриваемым и вышележащими блоками. Эти связи показывают, какие блоки необходимо извлечь, прежде чем будет добыт этот блок. Фигура, которая получается при выполнении этой процедуры, лишь в самом простом случае будет являться правильным

конусом. В реальности же, как правило, это конусообразная фигура со сложной боковой поверхностью. Обратным конусом, или просто конусом будем называть блоки, лежащие внутри конуса. Причем, будем считать, что блок принадлежит конусу, если центр блока лежит внутри конуса. Такие блоки будем называть внутренними. Для экономии памяти и меньших затрат времени достаточно получить лишь граничные блоки конуса. Остальные блоки, вышележащие или внутренние, можно легко получить и нет необходимости хранить относящиеся к ним связи.

В процессе поиска границ оптимального карьера важно учитывать переменные углы наклона борта. На углы наклона влияют два фактора:

- физическо-механические свойства ГП и особенности их залегания;
- используемые технологии добычи и транспортирования.

С учетом этих факторов у каждого блока модели угол откоса зависит от направления (азимута), в котором он размещается. Вся область моделирования разбивается на субрегионы (рисунок 4.26). Субрегион представляет собой прямоугольный параллелепипед. Для каждого из них задается список углов наклонов борта и соответствующих им азимутов, исходя из вышеупомянутых факторов. Блоки модели, которые лежат внутри субрегиона, будут добываться под углами, определенными для этого субрегиона.

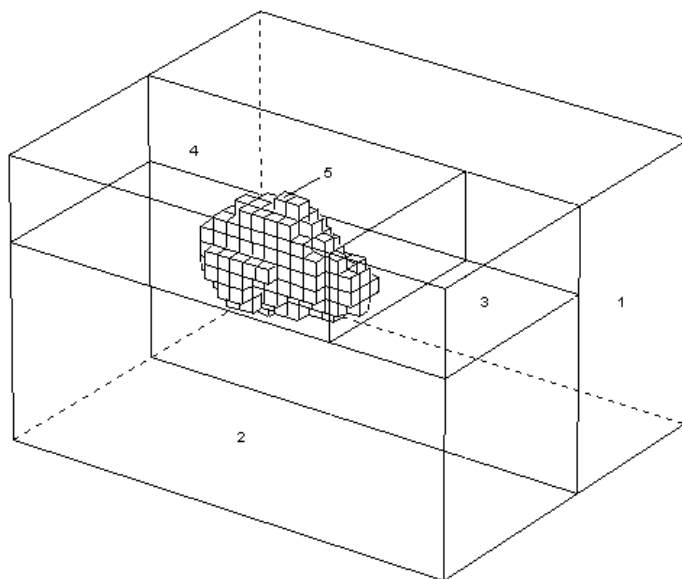


Рисунок 4.26 – Разбиение области моделирования на субрегионы (1-4); 5- БМ рудного тела

Для снижения времени, затрачиваемого на получение конуса для каждого субрегиона, строится конус, который будет являться шаблоном для данного субрегиона и по контуру которого будут построены все другие необходимые конусы в данном субрегионе. Если же конус находится на границе и принадлежит сразу нескольким субрегионам, то в этом случае он будет построен по шаблонам этих субрегионов.

Алгоритм нахождения оптимального карьера работает в 3D пространстве. Строится регулярная БМ рудного тела. Во время создания БМ задаются субрегионы и углы откосов для каждого из них. Для каждого блока задается ценность. В общем случае ценность

блока определяется как разность между ценой ПИ, содержащегося в блоке, и затратами на его добычу, транспорт и переработку. Ценность может быть как положительной (рудные блоки), так и отрицательной (вскрыша). Воздушные блоки имеют нулевую ценность.

Алгоритм перебирает все блоки модели послойно - сверху вниз, порядок перебора на слое не отражается на конечной форме карьера. Если блок имеет положительную ценность, то необходимо проверить - выгодно ли его добывать. Для этого строится конус, в вершине которого находится данный блок. Таким образом, выясняется, какие блоки должны быть извлечены, прежде чем можно добывать данный блок. Во время построения конуса рассчитывается его вес. В расчет веса конуса берется сам положительный блок и те отрицательные блоки, которые не принадлежат другим конусам. Сумма всех ценностей этих блоков и будет весом конуса. Отрицательные блоки будут входить в этот конус и отмечаются как занятые. Затем проверяется вес полученного конуса, если он меньше или равен нулю - осуществляется переход к рассмотрению других блоков модели, а если больше - проверяется, существует ли путь между данным конусом, и каким-либо отрицательным. Если такого пути не существует, то этот конус добавляется к оптимальному карьере, и блоки, принадлежащие конусу, в дальнейших расчетах не участвуют. Если же путь есть, то блоки, через которые проходит этот путь, перемещаются из одного конуса в другой по направлению пути. Процедура поиска осуществляется до тех пор, пока не будут пройдены все возможные пути, либо вес конуса не станет положительным. В случае если после этой процедуры вес конуса остался положительным, его внутренние блоки добавляются к оптимальному карьере. Во время процедуры добавления к оптимальному карьере проверяются блоки, которые лежат внутри конуса, и если в нем найдутся блоки, принадлежащие другим конусам, и эти конуса еще не добавлены в оптимальный карьер, то эти конуса тоже добавляются, а блоки внутри них также проверяются на принадлежность другим конусам.

Работа алгоритма завершается после того, как будут перебраны все блоки модели. В результате будет получен список блоков, которые принадлежат к оптимальному карьере, то есть будет получен оптимальный карьер. Затем, суммированием ценности всех добываемых блоков получается не дисконтированная (без учета фактора времени) прибыль от разработки месторождений, которая характеризует экономическую привлекательность разработки данного карьера.

Для дальнейшей работы с полученной оболочкой оптимального карьера формируется ее векторная модель (погоризонтные контуры) (рисунок 4.27), которая используется для вписывания системы транспортных коммуникаций, соединения с топоповерхностью, получения положения карьера на конец отработки или этапа.

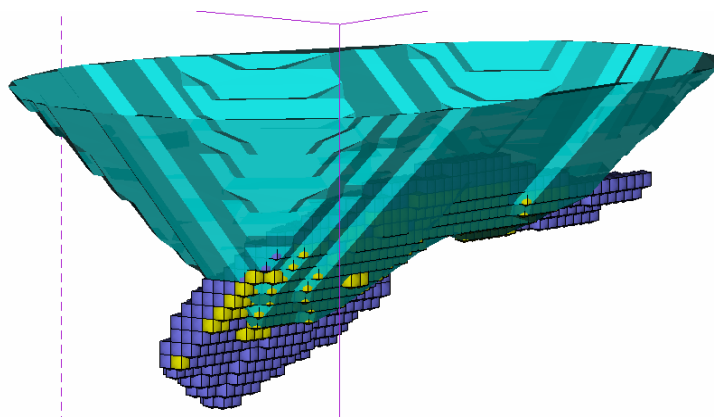


Рисунок 4.27 – Модель карьера, построенная с использованием алгоритма оптимизации

4.13 Проектирование массовых взрывов на ОГР

Переход к автоматизированному проектированию массовых взрывов (МВ) в карьерах на основе 3D моделирования исходной горно-геологической ситуации и зон разрушения ГП позволяет решить сразу 3 взаимосвязанные задачи:

1. Повысить качество проектирования МВ за счет использования на порядок большего объема исходной информации и применения программных средств ее интерпретации.
2. Повысить производительность труда специалистов, осуществляющих проектирование МВ за счет освобождения их от рутинных операций и предоставления программных средств решения сложных расчетных и геометрических задач.
3. Получить прогнозную оценку распределения ПИ в развале ГП.

Решение перечисленных задач реализовано на основе использования 3D цифровых моделей массива ГП и поверхности карьера. Это обусловлено необходимостью учета как пространственной геометрии залегания ПИ в границах взрывного блока, так и объемного характера действия взрыва скважинных зарядов в массиве ГП [193, 206]. Процесс автоматизированного проектирования МВ включает в себя следующие этапы:

Создание модели взрывного блока

Для создания модели взрывного блока используются векторная и триангуляционная модели карьера. Основой для построения векторной модели блока служат нижние и верхние бровки уступа. В случае проектирования на уступе, к которому примыкает неподобранный развал ГП от предыдущего взрыва, вместо нижней бровки уступа может использоваться последний ряд взорванных скважин. Для формирования нижнего основания блока необходимо создать замкнутый контур, точки которого

соответствуют высотным отметкам нижней границы блока. Контур верхнего основания блока формируется автоматически с учетом заданного угла откоса уступа. При построении каркасной модели блока, представляющей собой триангуляционную поверхность, сформированную на точках контуров нижнего и верхнего оснований, могут быть использованы дополнительные точки, уточняющие гипсометрию площадки блока. В границах каркасной модели может быть построена БМ, в которой одним из имеющихся в MINEFRAME методов интерполяции задается распределение качественных признаков ПИ. Наличие каркасной и БМ взрывного блока позволяет с высокой точностью вычислить объем и массу содержащихся в блоке ГП и ПИ (рисунок 4.28). Использование блочной структуры, моделирующей качественные характеристики ГП в границах взрывного блока, кроме всего прочего, создает основу для моделирования распределения ПИ в развале после взрыва.

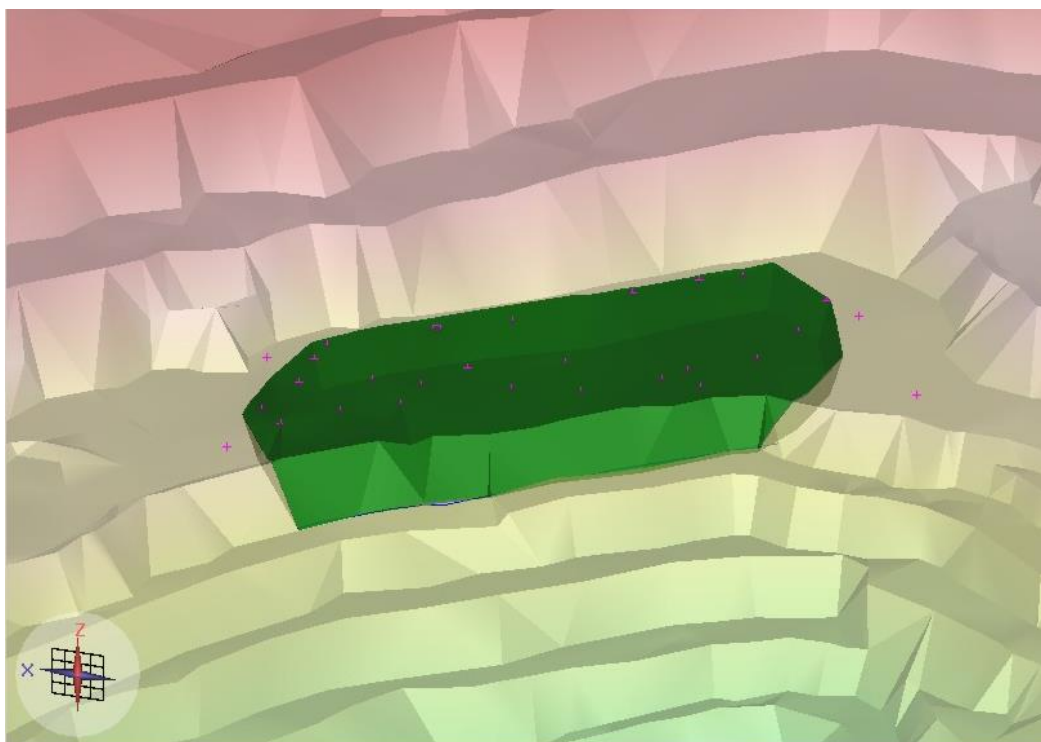


Рисунок 4.28 – Модели карьера и взрывного блока

Формирование моделей взрывных скважин в границах блока

Проектирование и связанное с ним формирование моделей взрывных скважин предполагает решение следующих задач:

- определение оптимальных параметров скважинной отбойки, обеспечивающих дробление с заданной крупностью куска;
- выбор конструкции скважинных зарядов, обеспечивающих наилучшее использование энергии взрыва;

- размещение скважинных зарядов в границах блока, обеспечивающее равномерное дробление ГП.

Для формирования конструкций скважинных зарядов применяется специальный редактор (рисунок 4.29), позволяющий в интерактивном режиме создавать конструкции любой степени сложности. Работа редактора построена на использовании списков составных элементов конструкции заряда.

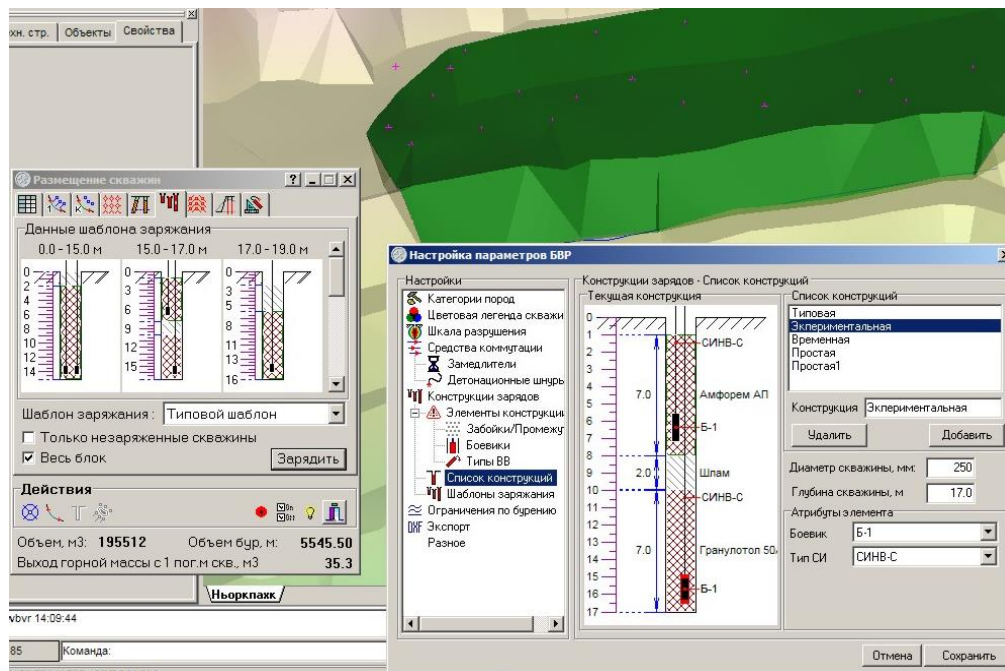


Рисунок 4.29 – Формирование конструкций зарядов и шаблонов заряжения

Среди них:

- применяемые типы ВВ с их энергетическими характеристиками и плотностью заряжения;
- применяемые конструкции боевиков с указанием их веса, энергетических характеристик, типов используемых в них детонаторов и времени замедления;
- используемые материалы забойки и инертных промежутков с характеристикой крупности и насыпной плотности материала;
- применяемые типы детонирующих шнуров и систем неэлектрического инициирования со значениями скорости детонации или распространения ударной волны.

Разработанная модель конструкции заряда может быть использована при проектировании открытых и подземных БВР, т.к. содержит всю необходимую информацию о геометрическом местоположении и характеристиках зарядов в скважинах, а также способах и средствах их инициирования.

Созданные с помощью инструментов редактора конструкции зарядов используются для расчета потребности во ВВ и ВМ.

Выбор конструкции заряда для формируемой модели скважины может осуществляться как в момент ее создания, так и после. Конструкция заряда может назначаться как отдельным скважинам, так и их группам. При этом назначенная скважине средствами редактора БВР конструкция может быть изменена. В реальных условиях длины скважин на взрывном блоке могут меняться как в силу изменчивости гипсометрии площадки, так и по технологическим причинам. Для учета такой изменчивости предусмотрены шаблоны зарядания (рисунок 4.30), представляющие собой конструкции зарядов, применяемые для определенных диапазонов длин скважин.

Размещение скважинных зарядов в границах блока

Размещение моделей взрывных скважин осуществляется в автоматизированном режиме с учетом гипсометрии поверхности верхнего и нижнего оснований взрывного блока. Инструменты формирования моделей скважин содержатся в редакторе БВР, интегрированном в среду графического редактора GEOTECH-3D (в составе MINEFRAME), что позволяет выполнять все операции в 3D пространстве и привязке к моделям горно-геологических объектов.

В зависимости от своего назначения и местоположения выделяется 4 типа скважин, для формирования которых используются свои инструменты и алгоритмы:

Скважины первого и второго ряда

Так как назначение скважин 1-ого и 2-ого ряда заключается в отбойке части блока, расположенной со стороны откоса уступа, то основными параметрами для размещения скважин являются: линия сопротивления по подошве (ЛСПП), расстояние между скважинами в ряду, величина перебура. Имеются дополнительные параметры, такие как: минимальное расстояние до края уступа по условиям безопасного размещения бурового станка, возможность использования сдвоенных и дополнительных скважин, допустимые углы наклона скважин и т.п.

Алгоритм формирования скважин 1-ого и 2-ого ряда построен таким образом, что в случае невозможности создания вертикальных скважин из-за превышения ЛСПП делается попытка создания наклонных (в заданном диапазоне). Если это не решает проблему, автоматически устанавливаются дополнительные скважины.

Скважины контурного ряда

Скважины контурного ряда предназначены для формирования новой поверхности откоса уступа с минимальными нарушениями массива ГП. Исходя из этого, применяется специальная конструкция заряда, выбираются соответствующие параметры размещения скважин в массиве. Для управления процедурой построения контурного ряда используются следующие параметры: расстояние между скважинами в ряду, угол наклона скважин, величина перебура скважин, смещение скважин относительно контура нижнего основания блока.

Предконтурные скважины

Предконтурные скважины располагаются вдоль скважин контурного ряда и предназначены для дробления ГП в режиме максимального сохранения массива вблизи формируемой поверхности откоса уступа. Для предконтурных скважин создается своя конструкция зарядов, а в качестве параметров управления размещением используется величина перебура скважин и расстояние: до контурного ряда, между рядами (если их несколько), между скважинами в ряду.

Скважины внутренней области

Скважины внутренней области формируются с помощью «электронной» палетки, являющейся инструментом редактора БВР (рисунок 4.30).

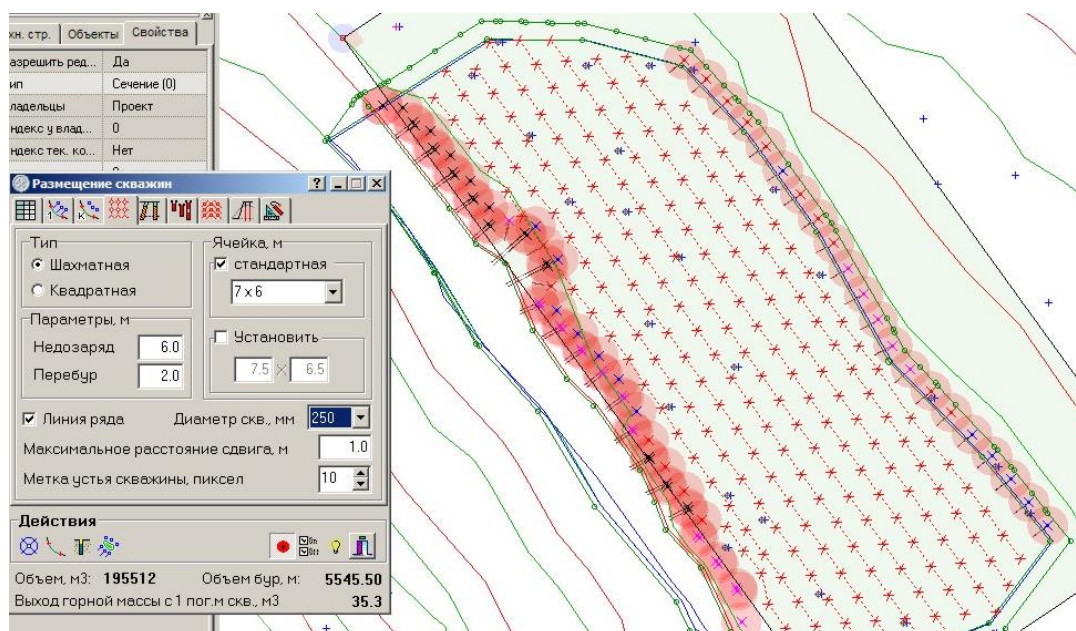


Рисунок 4.30 – Формирование моделей скважин с помощью «электронной» палетки

Для управления процедурой размещения моделей скважин по «электронной» палетке используются такие параметры, как: вариант используемой сетки (шахматная/прямоугольная), расстояние между скважинами в ряду, расстояние между

рядами скважин, величина перебура скважин. В основе инструмента «электронной» палетки лежит возможность ее интерактивного перемещения и поворота. Средства управления палеткой позволяют включать режимы:

- Отсечения скважин по границам блока и отдельной выделенной области;
- Перемещения скважины внутрь области размещения в случае ее выхода за границы блока на допустимую величину;
- Корректировка местоположения скважины при ее близком расположении к ранее созданным скважинам, например: первого ряда или контурным. В этом случае с учетом прогнозируемых зон разрушения от соседних скважин рассчитывается оптимальное место расположения размещаемой скважины.
- Смещение скважины на безопасное расстояние в случае ее попадания в «след» ранее взорванной скважины вышележащего блока. Для формирования моделей «следов» ранее взорванных скважин могут использоваться как результаты маркшейдерской съемки, так и модели отработанных ранее, вышележащих взрывных блоков.

Все смещенные в результате автоматической корректировки скважины помечаются, что облегчает визуальный контроль над их размещением. В случае разбиения блока на технологические области существует возможность размещения скважин с различными параметрами для каждой из областей. Предусмотрена также возможность корректировки проекта МВ путем добавления к блоку примыкающей части уступа. В этом случае возможно сохранение ранее запроектированных скважин.

При работе с «электронной» палеткой предусмотрен режим отображения прогнозных зон регулируемого дробления для каждой ранее сформированной скважины, что облегчает выбор наилучшего варианта расположения устьев скважин.

При визуальном контроле результата автоматизированного размещения взрывных скважин на блоке (с использованием горизонтальных и вертикальных разрезов) может обнаружиться необходимость корректировки отдельных скважин. Для этого имеется возможность ручной корректировки (перемещение, удаление, добавление, изменение параметров) моделей скважин. Изменение параметров скважины может быть выполнено как интерактивно (например, путем перемещения скважины с помощью курсора «мышки»), так и через таблицу параметров, доступ к которой осуществляется через редактор БВР.

Формирование технологической документации

Для формирования схем и рабочих чертежей используется AutoCAD (или любой другой графический редактор, импортирующий файлы формата *.dxf), для вывода

текстовой и табличной информации - MS Excel. Экспорт данных в их среду осуществляется вместе с шаблонами, что практически исключает необходимость последующей доработки сформированных документов.

Последовательность подготовки проекта MB предполагает определенный порядок формирования технологической документации, создаваемой на основе модели взрывного блока. Так проектные модели взрывных скважин используются для автоматического формирования проекта бурения. Пробуренные (фактические) скважины, как правило, отличаются от проектных. Для перехода к формированию карты заряжения и схемы коммутации требуется уточнение местоположения и параметров фактических скважин. Для выполнения этой работы используется электронная таблица, содержащая список всех скважин с проектными и фактическими координатами и параметрами. Заполнение полей с фактическими значениями может осуществляться разными способами, в том числе путем «закачки» данных с электронного тахеометра средствами маркшейдерского редактора, входящего в состав GEOTECH-3D. На основе этих данных формируются модели фактических скважин, конструкции зарядов которых соответствуют проектным.

Модели фактических (пробуренных) скважин используются для формирования карты заряжения, представляющей собой схему взрывного блока с данными по конструкциям зарядов для каждой скважины, и схемы коммутации, несущей информацию о соединениях скважин в ряды замедлений. Работа по формированию схемы коммутации осуществляется в интерактивном режиме и включает в себя:

- Формирование магистральных линий и рядов скважин. В результате выполнения этой операции формируется коммутационная сеть, элементами которой являются соединенные детонирующим шнуром или ударно-волновыми трубками магистрали, ряды и отдельные скважины.
- Расстановку замедлителей. Расстановка замедлителей осуществляется путем их выбора из списка используемых и установкой на указанный элемент сети.
- Расчет времени замедления взрыва каждого скважинного заряда. Расчет времени замедления взрыва каждого заряда относительно начала инициирования производится путем решения сетевой задачи с учетом параметров замедлителей и скорости распространения детонационной или ударной волны.

Результаты расчета визуализируются средствами графического редактора GEOTECH-3D с возможностью временной развертки процесса инициирования скважинных зарядов. Предусмотрена также возможность анализа по рядам замедления с расчетом массы ВВ, приходящейся на один интервал замедления. Такая возможность позволяет проконтролировать схему коммутации и в случае необходимости изменить ее.

Проект МВ включает в себя графическую, табличную и текстовую информацию.

Графическая:

- Схема размещения скважин на блоке и несколько вертикальных разрезов.
- Зарядная карта.
- Схема коммутации зарядов.
- Чертежи конструкций зарядов.

Табличная и текстовая:

- Общие сведения, геологическая и маркшейдерская записки.
- Таблица параметров МВ и расчёта ВВ по скважинам.
- Расчет зоны разлёта кусков ГП, оценка сейсмического и ударно-воздушного воздействия.

Проект МВ может храниться в БД вместе моделью взрывного блока, что позволяет формировать архив МВ.

4.14 Инструменты для планирования горных работ

Планирование горных работ является одним из важнейших процессов, который определяет последовательность работ в рабочей зоне карьера, порядок подготовительных и очистных работ. Для решения задач планирования предназначены инструменты вариантной оценки объемных и качественных показателей ВЕ, построения графиков работы оборудования, управления рудопотоками, планирования проходки и очистной выемки, и др. (рисунок 4.31).

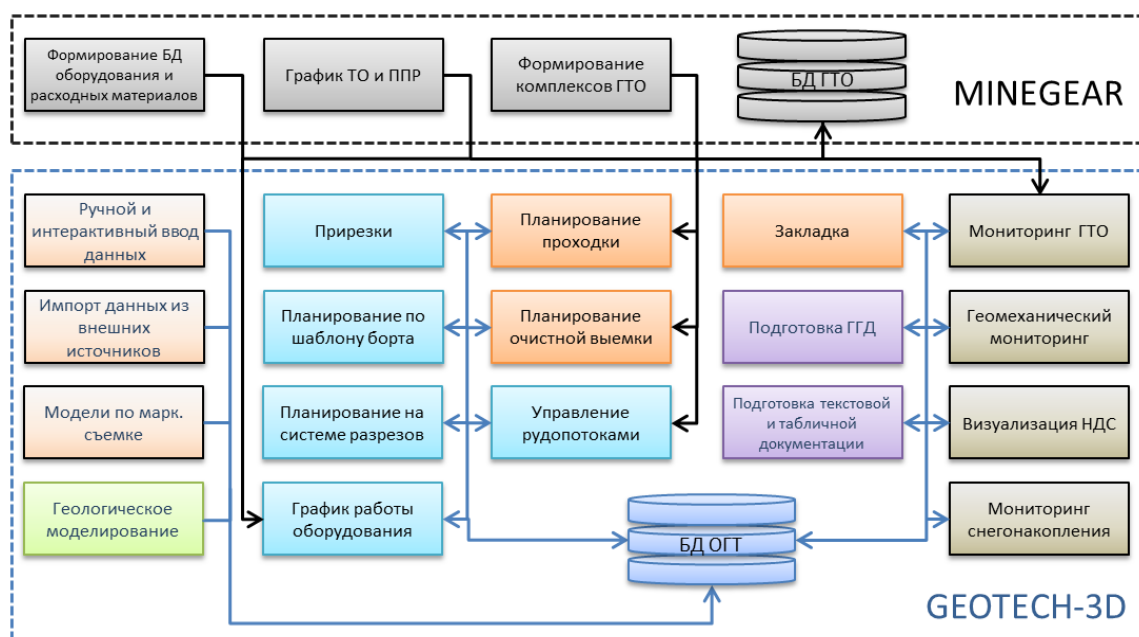


Рисунок 4.31 – Схематическое представление инструментов планирования горных работ

Исходными данными для процесса планирования являются плановые показатели добычи по объему и качеству руды, объемы выемки вскрыши, направление развития горных работ, положение выработок карьера и подземного рудника (шахты), объёмы вскрытых и готовых к выемке запасов ПИ на начало планируемого периода, модель геологической обстановки, особенности размещения транспортных коммуникаций, производительность основного ГТО и многие другие технологические параметры. Формируемые в процессе планирования модели прирезок, секций, блоков создаются специальными инструментами геометрического моделирования. В их структуре содержится информация об объеме и качестве ПИ с разбивкой на разновидности ГП, представленных моделями геологических объектов (рудные тела, пласты, безрудные зоны и т.д.).

Борт карьера в пространстве описывается контурами бровок, съездов, дорог, линиями гипсометрии площадок и др. Эти линии можно получить в результате обработки данных маркшейдерской съемки, оцифровки существующих горных планов, топографических карт, автоматизированных построений и других источников. При проектировании и планировании горных работ большая часть этих контуров задается в интерактивном режиме. Далее будут рассмотрены инструменты, позволяющие в автоматизированном режиме задавать контуры различных элементов, подсчитывать объемы, а также способы работы с этими инструментами.

В расчетах участвуют векторные, триангуляционные и БМ различных объектов. Основные отношения между ними и производимые операции можно выразить следующим выражением:

$$M_{op} = M_t \cup M_k \cup M_g, \quad (4.3)$$

где M_{op} – модель пространства открытого рудника; M_t – модель топоповерхности района карьера; M_k – модель поверхности карьера; M_g – модель геологической среды месторождения.

Поверхность карьера можно, в свою очередь, представить в виде:

$$M_k = M_p \cup M_b \cup M_y \cup M_s \cup M_t, \quad (4.4)$$

где M_p , M_b , M_y , M_s , M_t – соответственно множества моделей площадок, берм, откосов уступов, съездов, траншей.

В свою очередь:

$$M_k \subset M_n, \quad (4.5)$$

где M_n – множество положений бортов карьеров в течение жизненного цикла карьера;

$$M_r = P_i \cup B_j, \quad (4.6)$$

где P_i и B_j – соответственно множество моделируемых разновидностей ПИ и вскрышных пород.

Руда и вскрыша в карьере:

$$P_k = P_i \cap M_k; \quad (4.7)$$

$$B_k = B_j \cap M_k; \quad (4.8)$$

Руда и вскрыша в прирезке, между двумя положениями карьера:

$$P_p = P_i \cap M_k; \quad (4.9)$$

$$B_p = B_j \cap M_k; \quad (4.10)$$

Некоторые операции, производимые этими отношениями, реализованы в разработанных программных средствах как самостоятельные инструменты, другие как последовательности выполнения элементарных действий.

К моменту начала разработки месторождения горное предприятие имеет разработанные проектными институтами модель конечного положения карьера, календарный план и промежуточные положения горных работ. На предприятиях, основываясь на этих данных, а также на данных о категоризации запасов (готовые, подготовленные и вскрытые), размещении транспортных коммуникаций, производительности ГТО и других технологических параметрах, ведется текущее (годовое, квартальное, месячной) и оперативное планирование (декадное, сменно-суточное).

В основе решения задачи текущего планирования лежит интерактивный подбор БЕ, обеспечивающих заданный объем и качество руды на планируемый период. Автоматизация процессов планирования включает в себя:

1. Определение объемов руды по степени подготовленности.
2. Формирование прирезок.
3. Расчет качественных показателей ПИ в прирезках.
4. Набор годового плана.
5. Переход к квартальному плану.
6. Месячное планирование.
7. Недельно-суточное планирование.

В основе инструментов планирования горных работ лежит работа с моделями ВЕ. Параметры БМ рудных тел (размеры элементарных блоков), как правило, выбираются, исходя из плотности разведочной сети. Оптимальные же параметры блочных моделей ВЕ зависят от технологии выемки и изменчивости содержания компонентов ПИ, что зачастую приводит к необходимости уменьшения размеров элементарных блоков ВЕ по сравнению с моделями рудных тел. Исходя из этого, реализованы два варианта задания содержаний в моделях ВЕ: путём использования уже рассчитанных БМ рудных тел и с помощью методов интерполяции содержания по модели ГО. Так как при планировании, зачастую, необходима информация не только по содержанию ПИ, но и по категориям ГП (например, балансовые и забалансовые руды, пустые породы), представленных в объёме ВЕ, то реализован алгоритм расчёта и сохранения в модели ВЕ информации об объёме, массе и содержании всех геологических разностей, представленных моделями геологических тел.

Традиционно планирование горных работ разделяется на долгосрочное, среднесрочное и краткосрочное (оперативное). Долгосрочное планирование не требует высокой детализации, поэтому в его основе лежит работа с БМ рудных тел. Для среднесрочного и оперативного планирования наряду с объемными и качественными показателями важным является моделирование геометрии горных работ, что достигается использованием моделей ВЕ, при создании которых учитываются текущее положение и конечные границы карьера.

Применительно к ОГР исходными данными для среднесрочного планирования являются показатели добычи по объёму и качеству руды, объёмы вскрыши, направление развития горных работ, а также модели карьера и геологической обстановки (БМ рудных тел). Квартально-месячное планирование на карьерах осуществляется с использованием моделей прирезок при соблюдении плановых характеристик суммарного грузопотока. Схема отработки прирезки формируется с учетом направления ведения горных работ. На этом этапе планирования формируется график расстановки оборудования, что реализовано с помощью специализированного инструмента в форме электронной таблицы. Для этого периода планирования производится также расстановка оборудования,

что реализовано путем его выбора из БД и интерактивного размещения на модели карьера.

4.15 Моделирование положений карьера и прирезок

На основании анализа выделенных запасов можно отстраивать погоризонтные прирезки. Прирезки представляют собой часть уступа с относительно однородными геологическими условиями и технологическими параметрами разработки [193].

Модели прирезок (рисунок 4.32) обычно имеют форму скошенной призмы. Ее подошва одной стороной повторяет фактическую нижнюю бровку уступа, положение другой задает ширину прирезки. Обычно уровень подошвы — это отметка нижележащего горизонта, в некоторых случаях подошва следует форме почвы или кровли пласта. Верх прирезки (площадка) создается точно по форме площадки верхнего горизонта, повторяя ее рельеф. Боковые поверхности прирезки отстраиваются по фактическому или проектному углу откоса обрабатываемого уступа. Каждая прирезка содержит информацию об объеме и качестве ПИ с разбивкой на разновидности ГП.

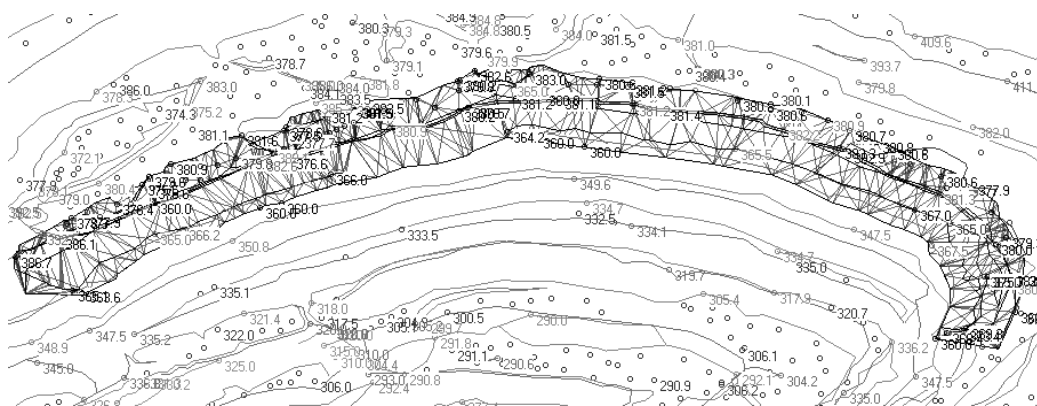


Рисунок 4.32 – Модель прирезки

Инструменты для создания объемных моделей ВЕ, в роли которых выступают поуступные прирезки и блоки, позволяют автоматически формировать их векторные и каркасные модели по двум из трех параметров: объем, ширина или длина прирезки. При этом, в качестве ограничения может выступать проектное положение борта карьера. Каждую прирезку в зависимости от срока планирования можно дополнительно разделить на части и отнести к определенному периоду разработки в соответствии с логикой развития горных работ на уступе.

Контроль степени достижения плановых показателей осуществляется с помощью сводной таблицы, содержащей сведения об объемах и планируемых периодах. Заключительным этапом работы является формирование модели карьера на конец планируемого периода, в результате чего производится автоматическая корректировка

положения верхних и нижних бровок карьера по границам созданных прирезок. Таким образом, можно получить геометрию карьера, как на конец планируемого года, так и на любой промежуточный этап отработки.

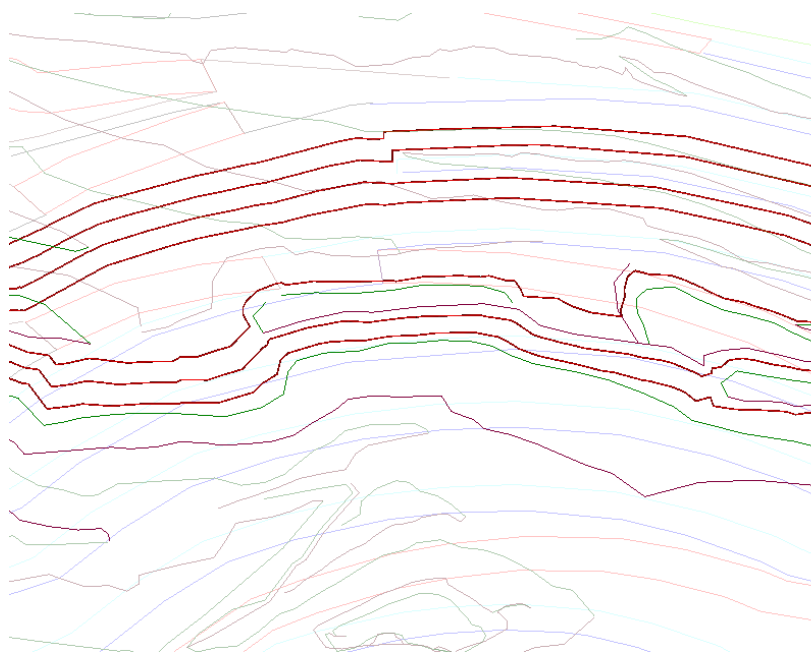


Рисунок 4.34 – Модель карьера в средних линиях

4.16 Набор объемов на погоризонтных планах

Инструменты

планирования построены на использовании каркасных и блочных (с рассчитанными показателями качества) моделей рудных тел (или пластов), а также векторных и каркасных моделей текущего и конечного положений карьера [207]. На основе модели текущего положения определяется система горизонтов карьера, а модель конечного положения используется для того, чтобы ограничить пространство, доступное для планирования его пределами [208].

Система шаблонов конструкций рабочей зоны карьера (рисунок 4.33) позволяет задать следующие параметры по каждому рабочему уступу: угол откоса уступа, ширина площадки, максимально допустимая подвижка вглубь борта и ограничение минимальной шириной рабочей площадки по вышележащему уступу [209].

При работе с шаблоном рабочей зоны используется не полная модель карьера, а

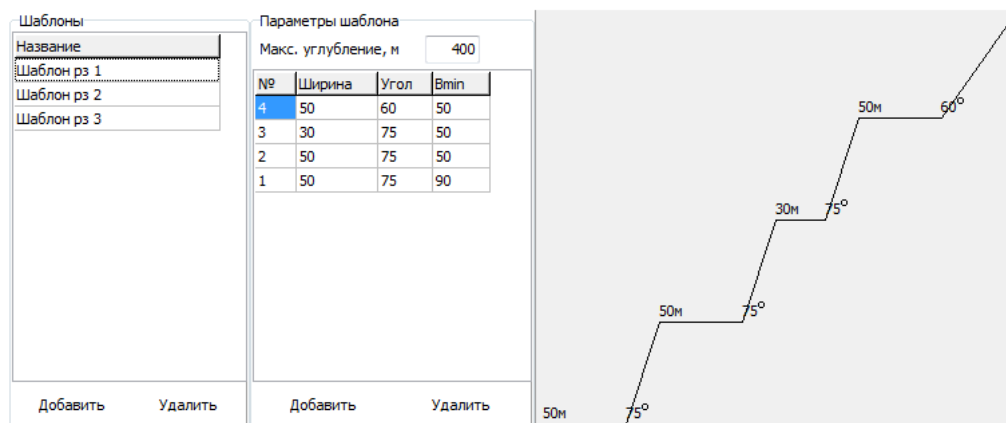


Рисунок 4.33 – Система шаблонов рабочей зоны, где «Ширина» - ширина площадки уступа, «Угол» - угол откоса уступа, «Bmin» - минимальная ширина рабочей площадки.

средние линии уступов, получаемые путем построения разрезов по каркасной модели на средних отметках горизонтов (рисунок 4.34). Это допущение позволяет упростить модель карьера, не теряя его геометрической сути. Также по средней отметке строятся контуры рудных тел, давая пользователю наглядную информацию о пространственном расположении запасов на текущем горизонте.

На горизонтах, выбранных для планирования, строится мелкоблочная модель запасов ПИ. Пользователь, перемещая шаблон (пунктирная окружность, рисунок 4.35) по модели карьера, интерактивно формирует объемы, которые могут быть запланированы к отработке. При перемещении шаблона происходит вычисление точек пересечения со средней линией уступа модели карьера, определение замкнутой области, являющейся по сути подвижкой горных работ на данном уступе, постановка уступа в новое положение. При этом в табличном виде оперативно отображается информация об объемных и качественные характеристиках планируемой к выемке горной массы.

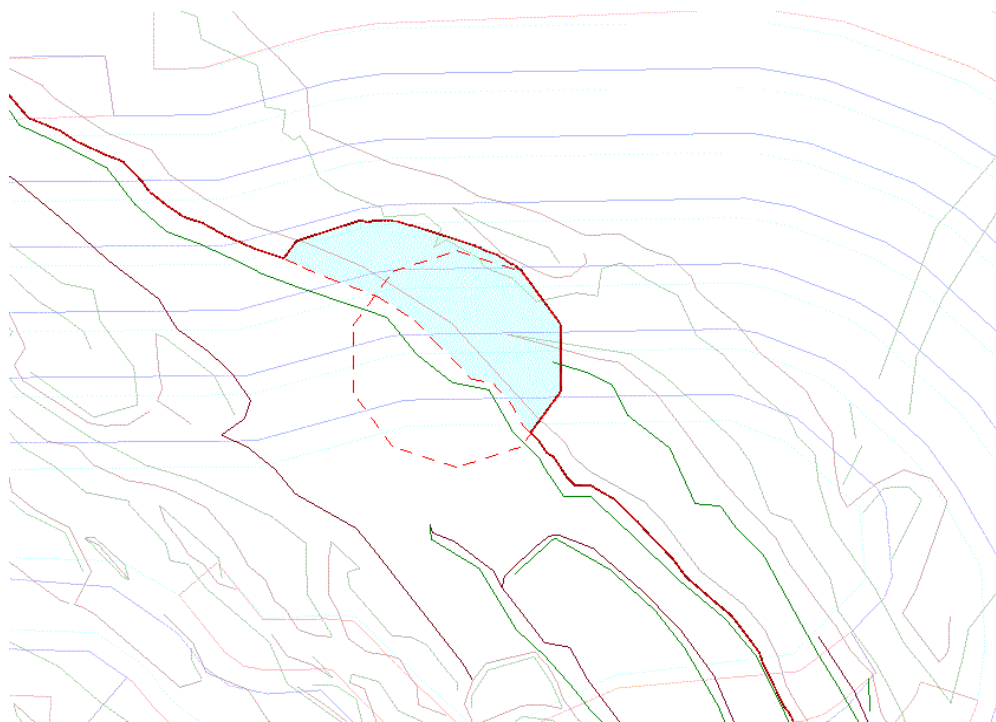


Рисунок 4.35 – Подвижка уступа в новое положение с помощью шаблона

Соблюдение заданных в настройках шаблона ограничений осуществляется в автоматическом режиме, что позволяет оставаться в границах конечного контура карьера и обеспечивать минимальную ширину рабочей площадки.

При наличии сдвоенных уступов, при попытке их отработать инструмент автоматически достроит отсутствующие бровки между ними. После достижения плановых показателей модель карьера в средних линиях автоматически перестраивается в модель

карьера с бровками (рисунок 4.36), а также строится каркасная модель карьера на конец планируемого периода (рисунок 4.37).

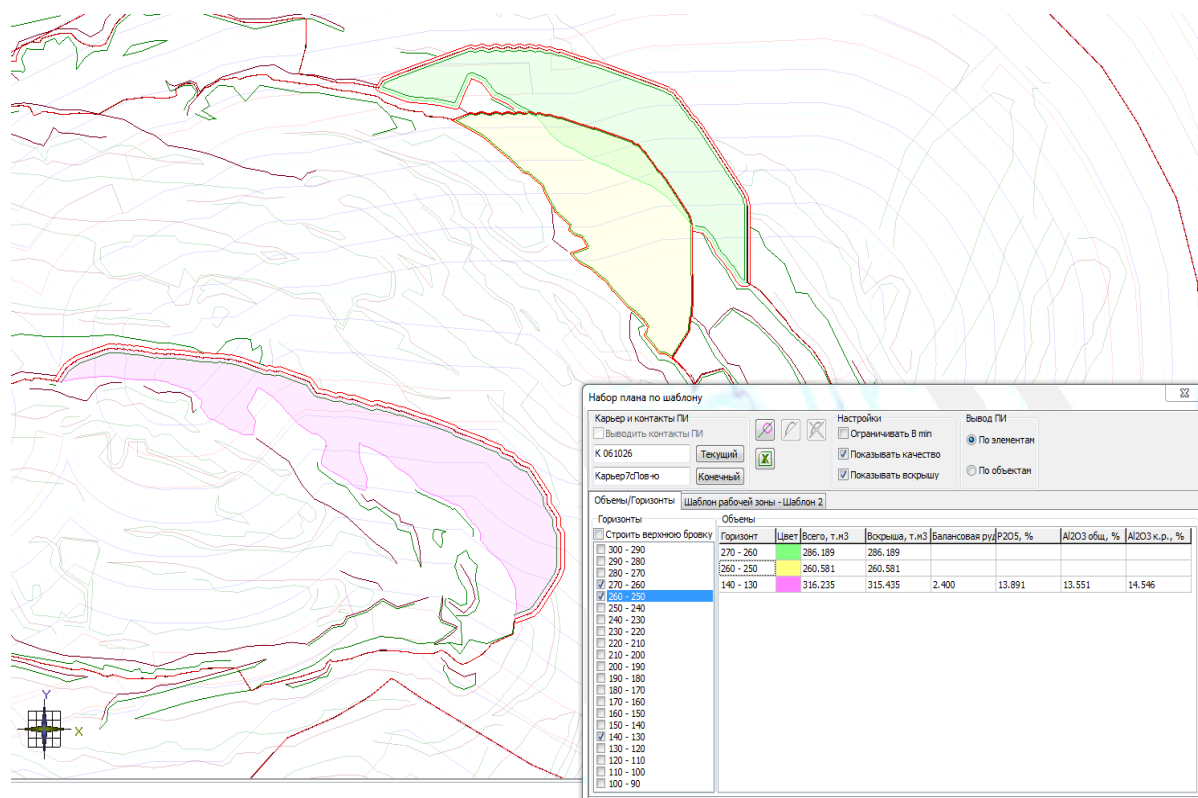


Рисунок 4.36 – Положение карьера в бровках на конец планируемого периода и таблица объемов по каждому горизонту

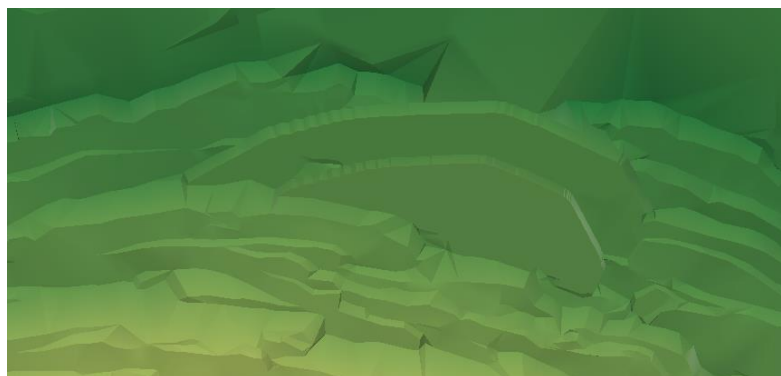
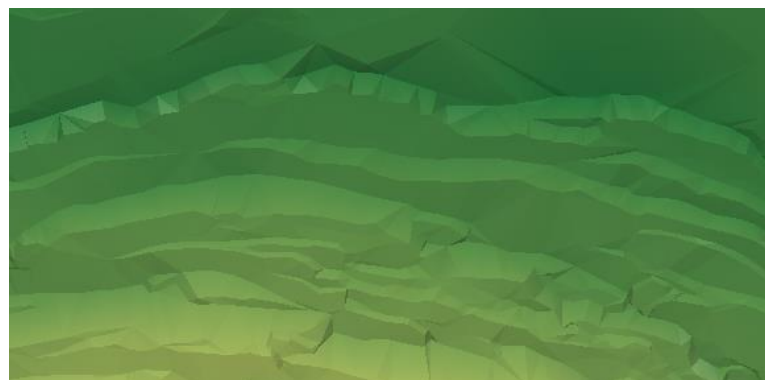


Рисунок 4.37 – Каркасная модель на начало (вверху) и конец (внизу) планируемого периода

4.17 Набор объемов на разрезах

Для планирования разработки пластовых пологозалегающих месторождений (например, на угольных разрезах) удобнее использовать систему вертикальных разрезов. Процесс планирования представляет собой последовательность следующих операций:

- формирование разрезов, по которым будут создаваться прирезки;
- создание списка действующих горизонтов в планируемый период;
- проектирование контуров прирезок на разрезах;
- создание 3D моделей изымаемых объемов ПИ и вскрыши;
- создание модели поверхности карьера в состоянии после выемки запланированных объемов.

Формирование наборов плоскостей разрезов можно производить различными способами:

- под определённым углом к заданной осевой линии;
- по вертикальным плоскостям, проходящим по разведочным линиям;
- по списку постоянно используемых разрезов.

По аналогии с инструментами набора объемов в плане используется список шаблонов. В него входят все действующие горизонты планируемого календарного периода. Создание такого списка позволяет заранее определить количество прирезок, необходимых для набора запланированного объема добычи, и их параметры. Данный список не является статичным, при необходимости его можно редактировать, добавляя или удаляя соответствующие горизонты. Так же с его помощью можно формировать борт карьера, задавая ширину площадок и бERM, угол откоса уступов.

Основной упор в инструменте был сделан на редактирование прирезок. Это позволило максимально упростить и автоматизировать работу проектировщика, обеспечив получение расчёта объемов добычи в режиме реального времени (рисунок 4.38). Непосредственно для создания и редактирования контуров прирезок было реализовано несколько режимов инструмента: с помощью направляющих контуров, явное задание контура прирезки, «линейка».

Учет геометрических особенностей отрабатываемого пространства происходит при использовании направляющих контуров. Для этого проектировщик указывает фиксированные границы прирезки в виде контуров кровли и почвы. Контур откоса уступа так же явно задается, но он не является фиксированным. Проектировщик может менять положение этого контура в любой момент, одновременно получая информацию об

изменении площади прирезки на разрезе и изменении объема добычи, соответствующего данному разрезу.

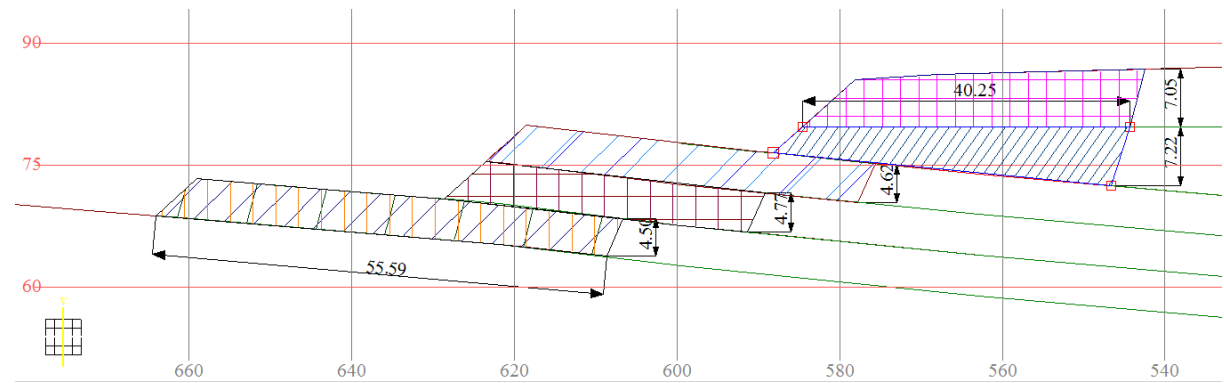


Рисунок 4.38 – Контуры прирезок на вертикальном разрезе

Наиболее простой инструмент – «линейка». В этом варианте проектировщик интерактивно или явно указывает точку нижней бровки на разрезе. Далее, на основе заданного угла откоса и ширины площадки формируется контур прирезки, учитывающий только эту точку, контур текущего положения карьера, ранее сформированные прирезки.

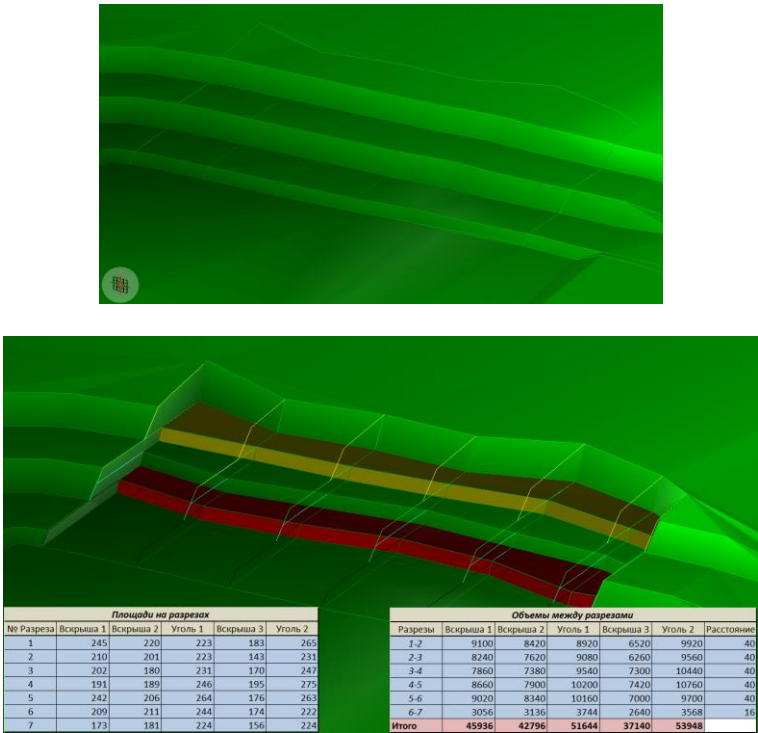


Рисунок 4.39 – Каркасная модель поверхности до и после применения инструмента планирования методом вертикальных сечений. Желтым и красным цветом показаны пласты ПИ

Нечто среднее между этими вариантами получается при явном задании контура прирезки. В этом случае проектировщик вручную указывает все точки контура прирезки, кроме совпадающих с текущим положением карьера.

Планировать добычные объемы можно как в долгосрочной перспективе, так и в краткосрочной. Если для единичных прирезок характерно формирование контура по границе ПИ, то, к примеру, в блоке прирезок за месяц/год будет содержаться как вскрыша, так и само ПИ. В таком случае инструмент автоматически производит расчет площади контуров, попавших в прирезку, и технолог получает информацию об объемах ПИ на данном разрезе. Аналогичным образом производится оценка объемов вскрыши и ПИ в 3D модели прирезки.

На основе контуров, находящихся на разрезах, можно создать полноценную 3D модель прирезки. В этом случае все контуры будут продублированы в отдельный объект, явно не привязанный к разрезам, а в модели объекта можно будет выделить отдельные каркасные модели ПИ и вскрыши. После создания ВЕ проектировщик может скорректировать текущее положение карьера с учетом запланированных к добыче объемов (рисунок 4.39). Аналогичным образом можно рассмотреть несколько вариантов выемки горной массы.

4.18 График работы оборудования

При решении задач месячного планирования необходимо задавать расстановку горного оборудования, создавать график работы оборудования по блокам, уступам. Для этого имеются автоматизированные инструменты, позволяющие рассчитывать месячный график работы экскаваторов и буровых станков (рисунок 4.40). График содержит информацию о размещении экскаваторов по горизонтам карьера, их состоянии на каждый день (ППР, техническое обслуживание (ТО), добыча руды или вскрыши), данные по объемам горной массы и руды на начало и конец месяца, а также объемы, добытые конкретным экскаватором с каждого горизонта, и метраж набуренных скважин по каждому буровому станку. Данные по составу и основным параметрам горного оборудования хранятся в БД, которая ведется программой MINEGEAR системы MINEFRAME. БД содержит информацию о производительности, графиках ППР, ТО и пр. Инструменты обеспечивают создание как планового, так и фактического графика работы с возможностью загрузки в него данных по объему добычи руды и вскрыши из диспетчерских систем. Реализован алгоритм автоматического создания графика работы по начальным данным размещения оборудования в карьере и проводимых МВ.

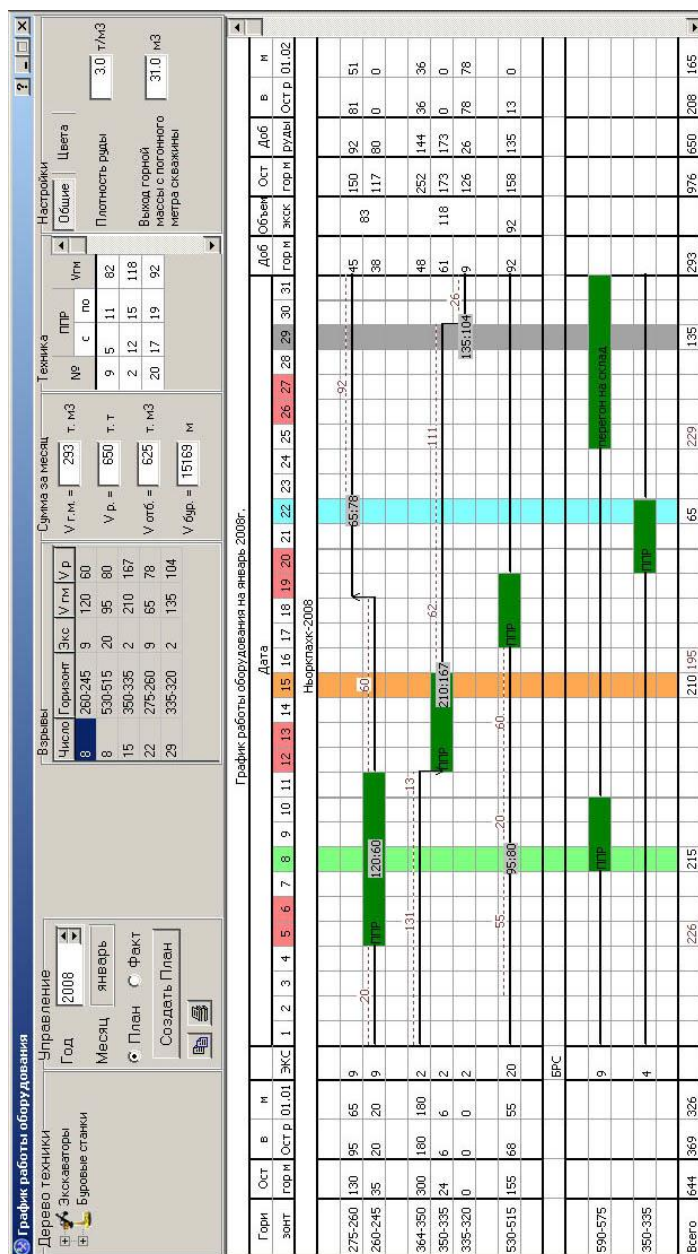


Рисунок 4.40 – График работы оборудования

4.19 Сменно-суточное управление качеством рудопотоков

Важной задачей оперативного планирования является формирование рудопотоков заданного качественного состава, что достигается регулированием объемов добычи (нагрузки) по забоям. Для реализации этого подхода используется инструмент моделирования заходок, где элементарной учётной единицей является подвижка забоя (за сутки, смену и т.д.). Регулирование нагрузки на забои осуществляется с помощью

диаграмм распределения качества по заходкам в направлении движения каждого забоя, содержащих суммарные показатели добычи за рассматриваемый период (рисунок 4.41).

Процесс сменно-суточного планирования заключается в контроле нагрузки на добычную забой таким образом, чтобы при соблюдении плановых качественных характеристик суммарного грузопотока обеспечить и его объемные показатели. Для обеспечения такого режима работы необходимо иметь модели ВЕ, при ведении БВР – модель развала 3D с прогнозом распределения качества опробованных компонентов,

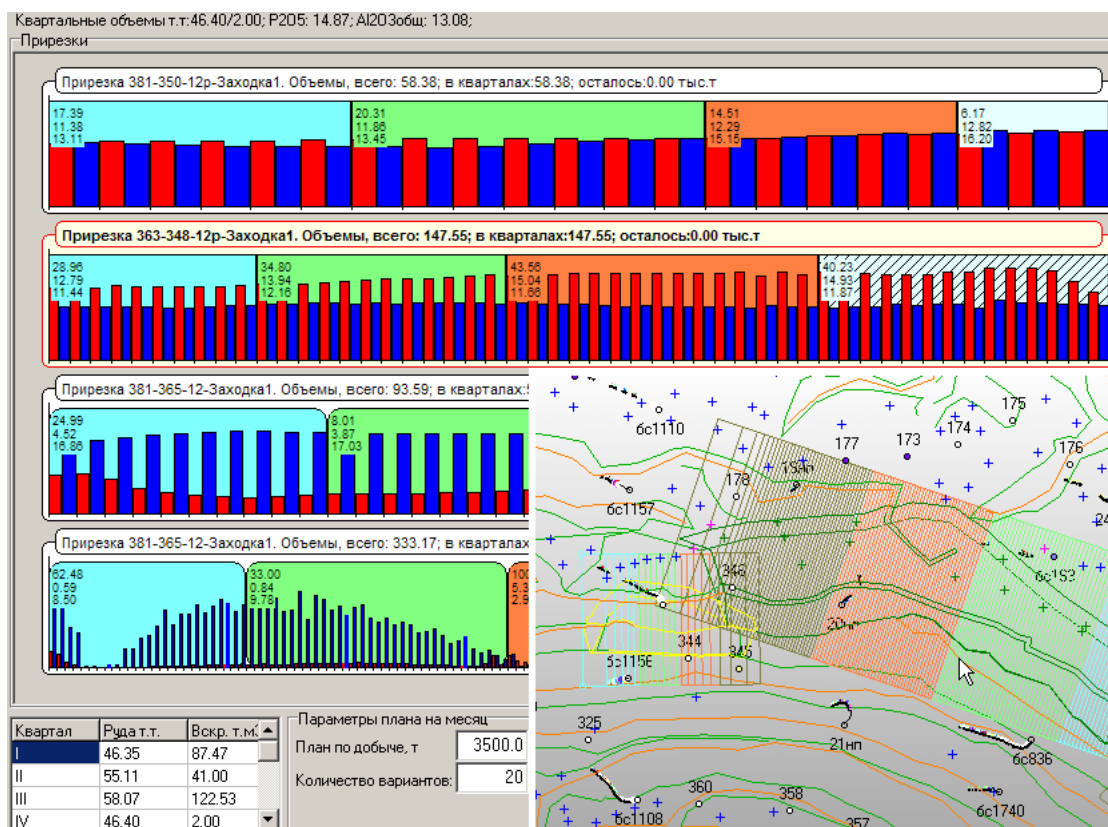


Рисунок 4.41 – Набор квартальных объемов и разделение прирезок на периоды отработки

модели экскаваторных заходок. Модели заходок формируются с учетом направления отработки, они разбиты на множество элементарных подвижек одинакового объема, для каждой подвижки также рассчитаны прогнозные показатели качества опробованных компонентов.

Процесс планирования заключается в интерактивном регулировании нагрузки на каждый забой и осуществляется с помощью специального инструмента, который показывает каждую заходку в виде диаграммы, по оси абсцисс которой размещена шкала элементарных подвижек, по оси ординат – шкала содержаний опробованных полезных и вредных компонентов. В заголовке каждой заходки отображены: общий объем,

отработанный объем и остаток. Нагрузка на забой представлена прямоугольниками различных цветов (они отражают состояние нагрузки – планируемая, утвержденная к отработке, отработанная). Внутри каждого прямоугольника (нагрузки) отображены объем и качественные показатели. Также отображаются суммарные показатели планируемого периода – это объем добычи и качество по компонентам. Таким образом, процесс планирования заключается в подборе таких нагрузок на забой, чтобы объемные и качественные показатели смены находились в пределах плановых показателей. Во многих случаях ручной подбор вариантов распределения нагрузок на забой является сложной задачей. Для облегчения решения этой задачи предусмотрен автоматизированный режим, при котором происходит поиск вариантов нагрузок, отвечающих плану.

4.20 Инструменты проектирования подземных горных работ

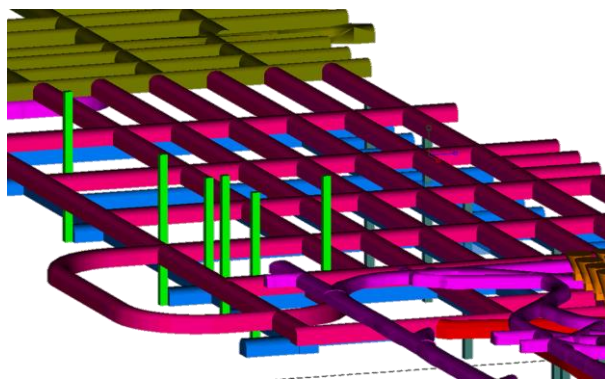


Рисунок 4.42 – Подземные горные выработки

В своей работе технолог подземного рудника использует инструменты, позволяющие ему создавать модели проектных выработок, конструктивных элементов системы разработки, ВЕ (рисунок 4.42). Для их создания широко используется режим параметрического проектирования, объектных привязок

и дублирования объектов. Наличие моделей пройденных выработок снижает до минимума затраты на подготовку исходной информации по сравнению с бумажным вариантом.

Создание модели выработки реализовано как предварительное создание контура ее оси с последующим автоматическим формированием сечений выработки по заданным параметрам. При формировании оси выработки моделирующий ее контур переводится в параметрический режим, т.е. разбивается на участки (прямолинейные и закругления), параметры которых можно менять интерактивно или с помощью инспектора объектов и командной строки. Используя параметрический контур с заданным радиусом закругления, можно создавать такие сложные объекты, как, например, спиральный съезд.

При формировании моделей ВЕ может использоваться режим параметрического задания их размеров. Принимая во внимание, что ВЕ, как правило, обладают схожей формой и размерами, их последующее дублирование и размещение в границах отработки является несложной и быстрой операций.

Модель подземной горной выработки представляет собой набор сечений, расположенных на плоскостях, которые привязаны к оси выработки и располагаются вдоль нее.

Модель выработки создается в 3D моделируемом пространстве и для ее построения может быть использовано как 3D окно, так и 2D, связанное с определенным разрезом 3D области. Для задания параметров модели выработки используется *Инспектор объектов*. Вновь созданная модель помещается в дерево объектов проекта, а в рабочей области появляется окно с параметрами сечения выработки (рисунок 4.43). Окно позволяет: выбрать и задать параметры типового сечения, установить дату проходки каждого сечения.

Возможность присваивания сечениям выработок дат и использование модели месторождения позволяют при планировании проходки не только определять ее объемные и линейные показатели, но и вести расчет попутно добываемого ПИ. При этом сам процесс планируемой проходки может быть представлен в виде, близком к режиму имитационного моделирования.

The screenshot shows a software window titled 'GeoTech-3D' with a sub-window 'Параметры сечения' (Section Parameters). The window has three tabs: 'По домерам' (Selected), 'По линиям' (By lines), and 'По радиусу' (By radius). The 'Параметры сечения' tab is active, showing a preview of a section on the left and a list of parameters on the right. The parameters include: 'Дата' (Date) set to 30.12.2100, 'Форма сечения' (Section shape) set to 'Выборка' (Selection), 'Тип крепи' (Type of support) with radio buttons for 'Все' (All), 'Лево' (Left), and 'Право' (Right), 'Тип отображения' (Display type) with checkboxes for 'Выс, м' (Height, m) and 'Шир, м' (Width, m), 'Максимальный размер сечения выработки по подложке, м' (Maximum section size of the excavation on the base, m) set to 10.0, 'Координаты центра, м' (Center coordinates, m) with checkboxes for X, Y, and Z, and 'Азимут, гр' (Azimuth, degrees) set to 0.00. There are also fields for 'Угол, гр' (Angle, degrees) and 'Расстоян., м' (Distance, m). At the bottom, there are buttons 'Добавить сечение' (Add section) and 'Закончить' (Finish).

Рисунок 4.43 – Параметры сечения выработки

Более сложным примером инструментов проектирования подземных горных выработок является инструмент для автоматизированного построения наклонных выработок и автоуклонов (рисунок 4.44). По ключевым точкам заданной траектории размещения автоуклона с учетом таких ограничений, как минимальный и максимальный радиус кривизны выработки, максимальный уклон и параметры сопряжения с другими выработками, производится отстройка трассы выработки сложной конфигурации. Параметры участков выработки выводятся в специальную таблицу, где можно получить следующую информацию: номер участка выработки, тип участка (прямой или дуга), длина участка, уклон в градусах и промилле, координаты начала и конца участка.

4.21 Проектирование МВ на подземных горных работах

Инструменты модуля проектирования БВР для подземных горных работ [210, 211] позволяют на основе заданных параметров создавать проекты МВ, редактировать их, вносить фактические данные и формировать отчетную документацию.

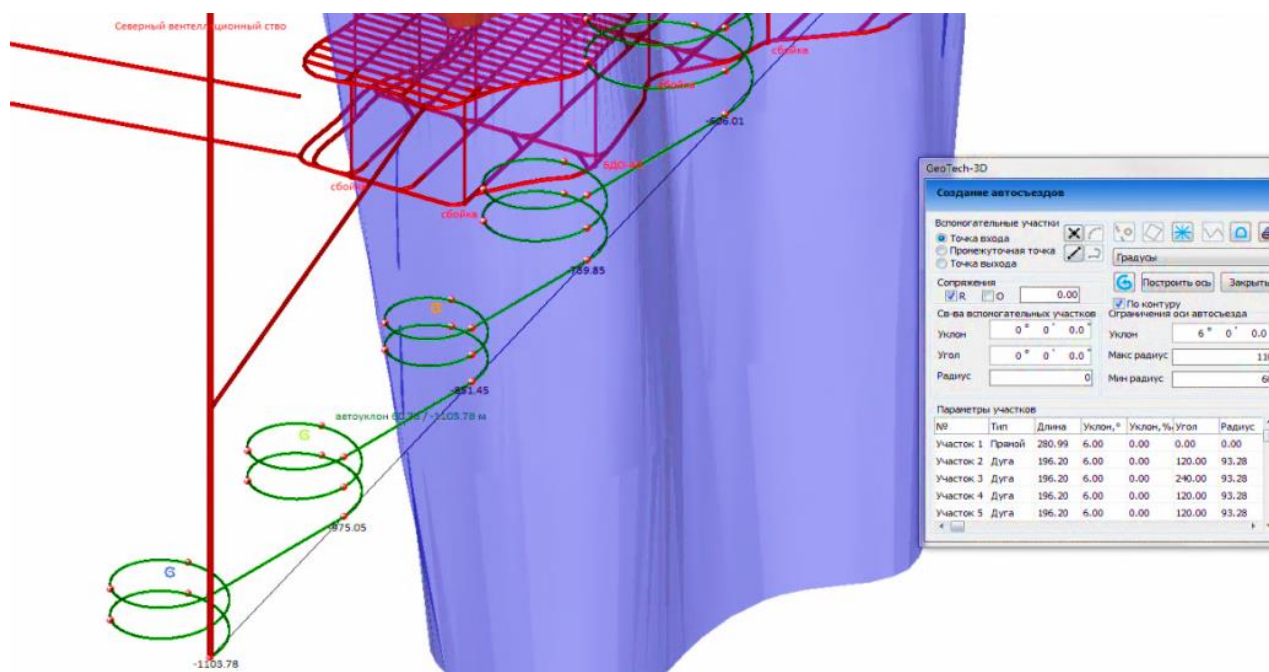


Рисунок 4.44 – Построение автоуклонов

Непосредственно процесс проектирования можно разбить на несколько стадий:

- определение геометрической области, в которой проектируется МВ;
- формирование плоскостей вееров скважин;
- размещение моделей скважин в плоскостях с учетом границ ГТО;
- формирование конструкций зарядов по скважинам;
- расчет параметров скважинных зарядов;
- формирование технологической документации: табличной и графической.

Исходными данными при проектировании являются модели ОГТ, параметры расположения вееров скважин и ограничения на их размещение вблизи горных выработок, конструктивных элементов системы разработки и выработанного пространства.

После задания начальных параметров (количество вееров, расстояние между ними, линия наименьшего сопротивления (ЛНС), расстояние между концами скважин и т.д.), указывается местоположение первого веера скважин в выработке и направление, в котором будут отстраиваться последующие веера. Формирование плоскостей размещения вееров скважин осуществляется автоматически. При этом на плоскостях вееров формируются контуры пересечения с выработками, ВЕ, рудными телами и конструктивными элементами, что позволяет учитывать ограничения на размещение скважин, к примеру, не позволяя создать скважину, находящуюся на расстоянии ближе, чем 1 м до соседней выработки.

Следующим этапом является создание моделей вееров скважин (рисунок 4.45), которое осуществляется автоматически на плоскости веера по заданным параметрам с учётом ограничений. В отдельных случаях необходимо ручное создание или редактирование моделей скважин. Для этого доступны функции: добавление или удаление отдельно взятой скважины, поворот отдельных скважин и всего веера и т.д.

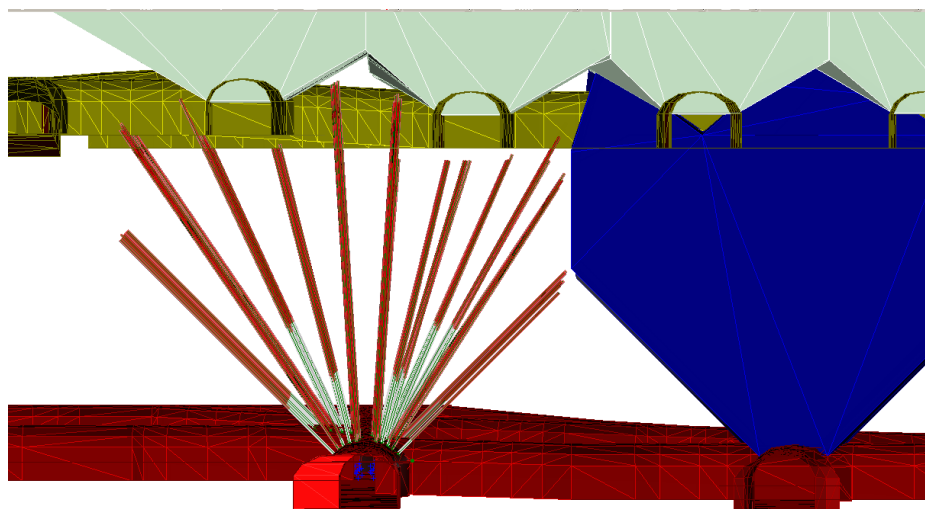


Рисунок 4.45 – 3D модель вееров скважин
и смежной секции отбойки

В результате выполнения вышеуказанных этапов формируется модель вееров скважин. Одной из особенностей инструмента является то, что к каждому из этапов редактирования можно вернуться в любой момент работы. При этом вносимые изменения в каком-либо из этапов повлекут за собой автоматическое переформирование модели МВ, что избавляет технолога от повторения всех этапов проектирования, начиная с измененного.

Следующий этап проектирования МВ - это формирование зарядной карты. Для каждой из скважин можно назначить свою конструкцию зарядов. Соответствующий редактор встроен в инструмент проектирования МВ, позволяет загружать ранее сохраненные конструкции и редактировать их под новый проект, либо создавать заново. Сформированный таким образом проект МВ содержит всю необходимую информацию для формирования технологической документации (рисунок 4.46).

Одной из задач, возникающих при проектировании МВ, является определение границы отрыва горной массы от массива ГП. Решение этой задачи особенно актуально в случае подземной разработки маломощных рудных месторождений, где прогноз местоположения границы отрыва позволяет на этапе проектирования оптимизировать

поверхности для проектирования и моделирования результатов следующего МВ. Таким образом, инструмент можно использовать для имитации технологии отработки значительных по размерам участков месторождений.

4.22 Планирование проходки подземных выработок

Строительство горных выработок и очистная выемка на горнорудном предприятии производятся согласно проектным решениям и плану их выполнения. При этом выделяют три уровня планирования: перспективное (на срок больше одного года), текущее (в пределах месяца, квартала, года) и оперативное (на внутримесячном интервале). Им предшествует календарное планирование горных работ, осуществляемое в рамках технического проекта предприятия. Календарные планы отражают, как правило, стратегические вопросы освоения месторождения: сроки строительства предприятия и наращивания производственной мощности, сроки отработки запасов, порядок и направления отработки шахтного поля и др. [32, 212, 213].

При проектировании схем вскрытия и подготовки месторождения должно быть предусмотрено сооружение соответствующих горных выработок и оснащение их транспортными средствами и технологическим оборудованием.

Работа модуля планирования начинается со сбора и подготовки первичных данных. В БД ОГТ вносятся горные выработки трех типов:

- фактические горные выработки, триангуляционные модели которых получены в результате технологии сканирования и векторизации бумажных носителей;
- фактические горные выработки, модели которых получены на основании детальной съемки;
- проектные горные выработки, модели которых получены на основании выполненных проектно-конструкторских работ.

Для повышения оперативности выхода проектной документации с расчетными данными и объемами горных выработок при планировании создан шаблон технологической структуры горных выработок (рисунок 4.48), в котором все выработки в зависимости от их назначения и источников финансирования, сроков и методов погашения производственных затрат подразделены на три основные группы: горно-капитальные, подземные блоки, горные выработки вне блоков. Пользователь может менять названия групп и подгрупп в технологической структуре в соответствии с инструкциями и требованиями, действующими на горнорудном предприятии.

В качестве первичной информации для планирования используются модели существующих подземных горных выработок и месторождения. Вся информация,

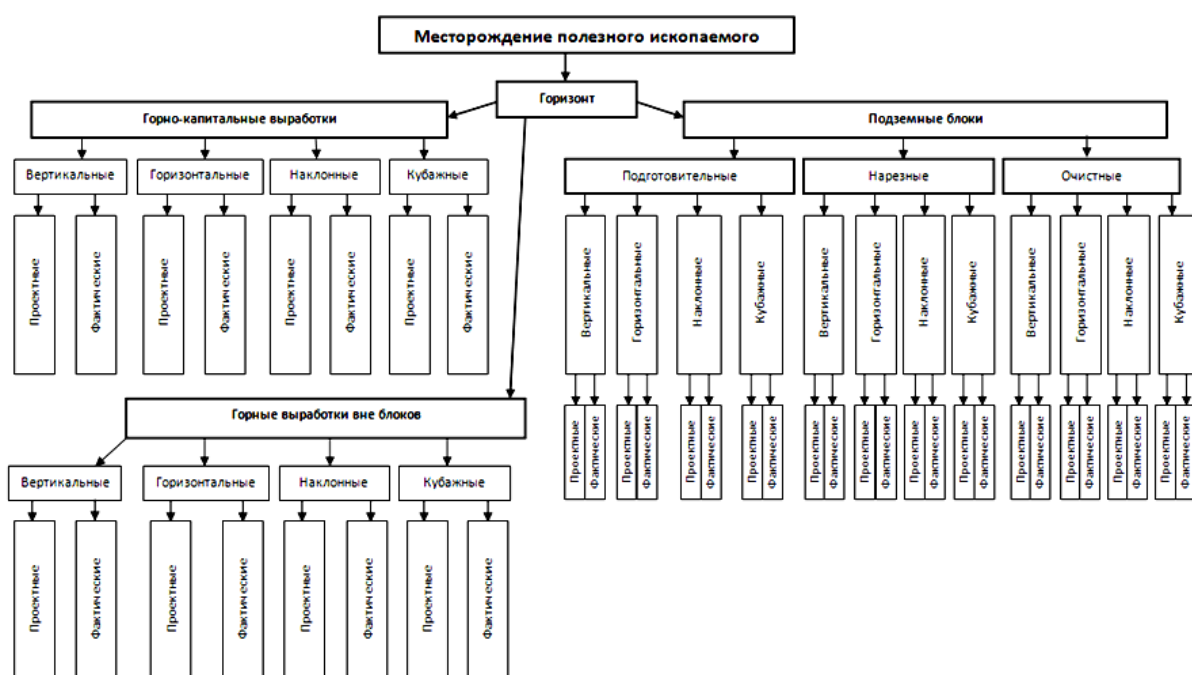


Рисунок 4.48 – Шаблон технологической структуры горных выработок

содержащаяся в моделях горных выработок (площадь поперечного сечения, объем отбиваемой горной массы, протяженность выработок, вид крепления и его объем, тип и количество основного технологического оборудования, расчетная скорость проведения, расход ВВ и материалов на 1м^3), передается в расчетные таблицы.

Основной целью модуля планирования горных выработок для подземного способа отработки является определение очередности и сроков выполнения работ, расхода материалов и количества необходимого технологического оборудования. В процессе планирования и определения очередности проходки и выполнения работ (рисунок 4.49) решаются следующие задачи:

- автоматизация подсчета объемов подземных горных выработок рудника на стадии проектирования и пройденных по факту, с сортировкой объемов горнопроходческих работ по руде, породе и горной массе;
- календарное планирование проходки горных выработок на месяц, квартал и год с автоматизированным подсчетом планируемого объема проходки с отрисовкой в твердотельной модели и графической документации;
- формирование календарного графика строительства горных выработок;
- автоматизированный расчет материалов и ВВ при строительстве горных выработок на планируемый период времени (рисунок 4.50);

- формирование комплекса оборудования и оценка его возможностей.

Графические материалы представлены планами горных работ (проекции на

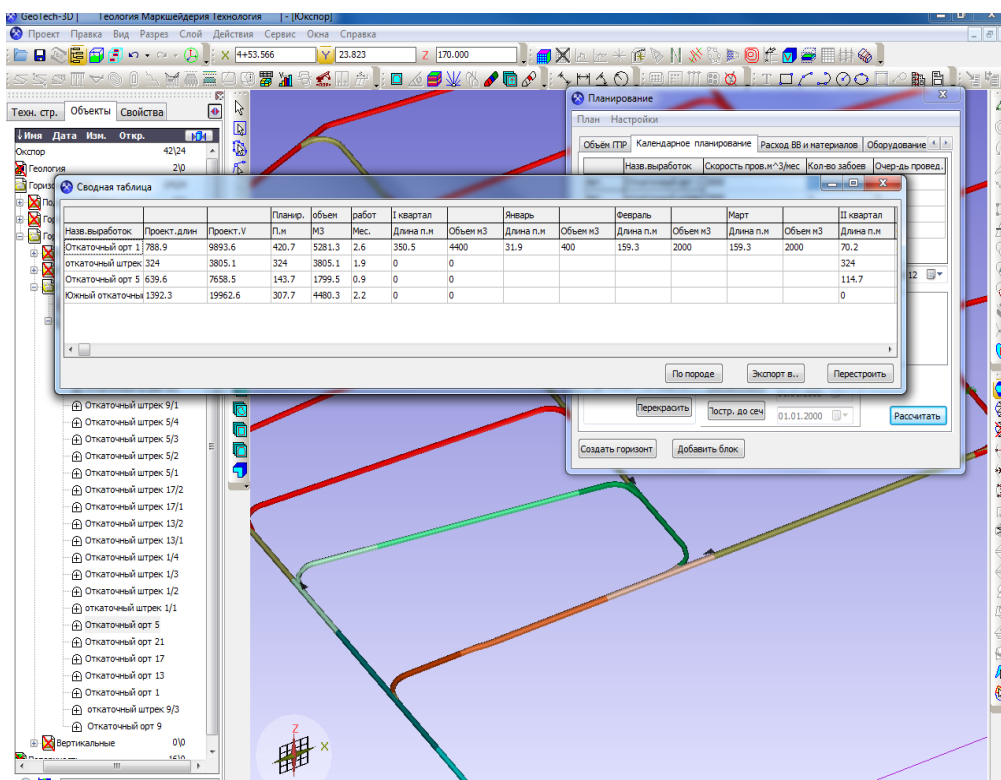


Рисунок 4.49 – Планирование проходки горных выработок

вертикальную или горизонтальную плоскость) с разбивкой по кварталам, месяцам и необходимыми поперечными разрезами. Они составляются в соответствии с установленными требованиями оформления горно-графической документации.

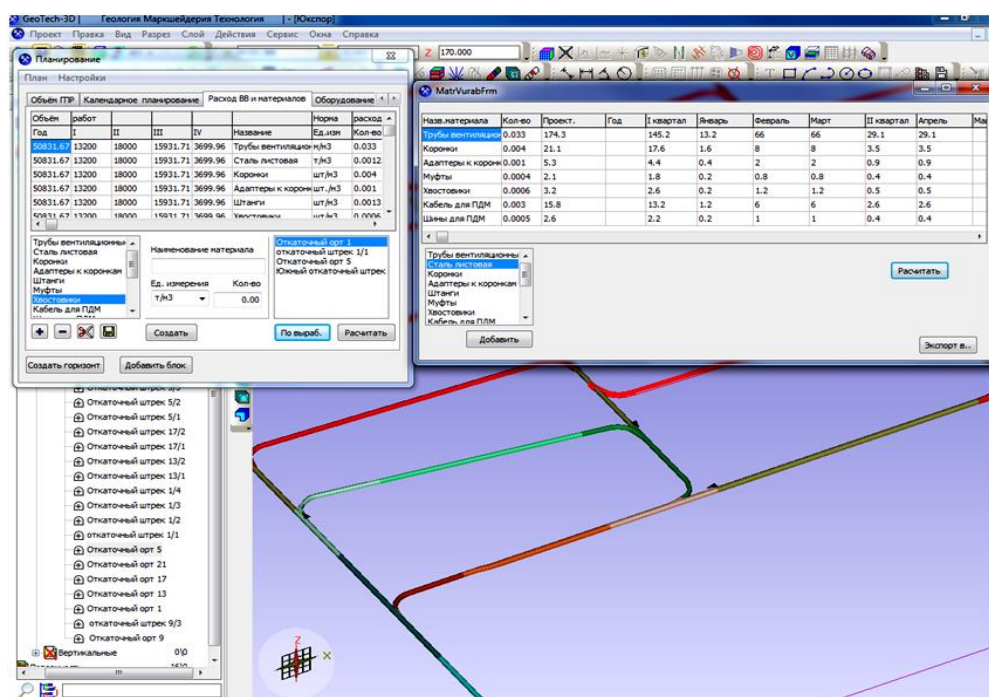


Рисунок 4.50 – Расчет потребностей по материалам и ВВ

Формирование комплекса оборудования проходки производится с использованием БД ГТО, которая может пополняться по мере поступления новой техники и оборудования. Выбор оборудования для каждого вида работ проходческого цикла осуществляется заданием необходимых исходных горно-геологических, горно-технических параметров и стоимостных показателей, по которым автоматически производится подбор оборудования.

После определения планируемого объема проходки, с помощью инструментов формирования календарного графика строительства горных выработок создается график распределения объемов по каждой выработке и скорости ее проведения (рисунок 4.51).

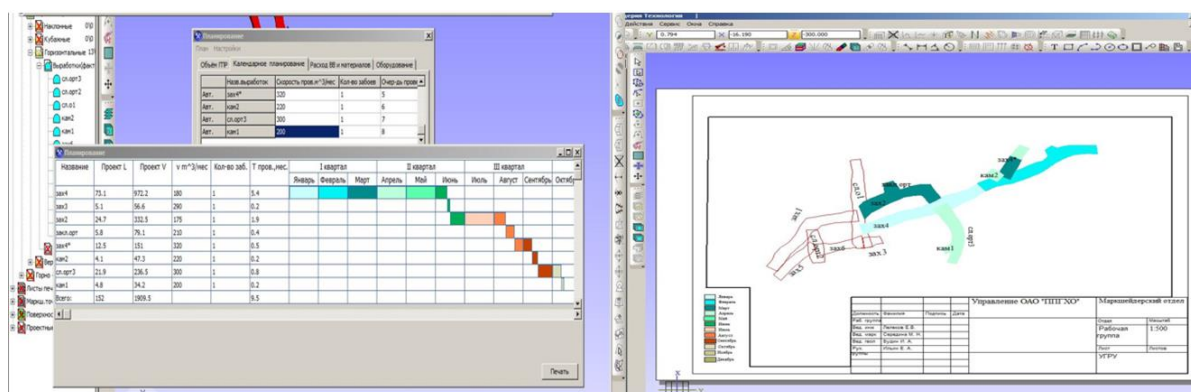


Рисунок 4.51 – Формирование календарного графика строительства горных выработок

Функциональные возможности модуля способствуют не только совершенствованию практики проектирования и планирования горных работ, но также создают основу для решения задач повышения безопасности и эффективности процесса проходки горных выработок

4.23 Планирование очистных работ

Программный модуль текущего планирования очистных работ предназначен для системы разработки со слоевой выемкой. Информационной основой модуля планирования является цифровая пространственная модель месторождений и участков, данные которой используются при осуществлении расчетов и формировании всех видов горно-графической документации.

Модуль планирования очистных работ обеспечивает возможность проведения многовариантного анализа горнотехнических условий, возникших на момент начала процесса планирования. При этом происходит формирование допустимых в данных горно-геологических условиях комбинаций параметров принятой системы разработки, которые связаны со схемой развития горных работ, особенностями геологического

строения массива ГП, геомеханической обстановкой в районе ведения горных работ. Это позволяет оперативно определять параметры производительности, показатели потерь и разубоживания ПИ и, в целом, качества руд, оценивать особенности применения различных вариантов развития горных работ, подбирать технологическое оборудование. На основе сформированного плана горных работ производится расчет ТЭП по основным технологическим процессам добычи ПИ.

Объектом управления при рассмотрении различных вариантов планов будет являться элементарная ВЕ (ЭВЕ). В качестве ЭВЕ целесообразно рассматривать наименьший в структуре запасов блока объем, в котором осуществляется полный цикл горных работ с общей продолжительностью всех технологических процессов, необходимых для его отработки. Для систем с закладкой выработанного пространства в качестве ЭВЕ можно принять слоевые «заходки» с соответствующими запасами руды.

Блок представляет собою прямоугольную секцию, которую можно создать средствами GEOTECH-3D. Планирование предполагает разбиение блока на горизонты и слои. Для расчета содержания ПИ и создания моделей «заходок» необходимо в каждом слое выделить попавшие в них части рудных тел.

Для ВЕ расчет выполняется с учетом всех геологических тел, попавших в ее границы. При расчете качественных показателей используются два способа: по БМ, в основе которого лежит метод дистанционного взвешивания; способ, в основе которого лежит геометрический (средневзвешенный) метод подсчета.

В том случае, если содержание по БМ не рассчитано, то расчет производится по метро-процентам. Подсчет сводится к учету всех проб, попавших в границы ВЕ. Для этого создается список проб, которые хотя бы частично попали внутрь каркасной модели ВЕ. Если ни одна из проб не попала в неё, то можно указать слой, пробы из которого также будут участвовать в расчете.

Следующий этап планирования включает в себя формирование моделей «заходок». Модель подземной заходки, как и у обычной выработки, представляет собой набор сечений, расположенных на плоскостях, которые привязаны к оси заходки. Модель заходки создается в 3D моделируемом пространстве и для ее построения может быть использовано как 3D окно, так и 2D, связанное с определенным разрезом 3D области.

В созданных моделях «заходок» также можно рассчитать качество ПИ. На рисунке 4.52 представлена сводная таблица сведений об объемных и качественных показателях по «заходкам». В графах таблицы отображены значения объемов горной массы, вмещающие породы и рудные тела, попавшие в заходку (объем и масса).

Графические материалы годовых планов могут быть представлены планами горных работ (проекции на вертикальную или горизонтальную плоскость) с разбивкой по кварталам и необходимыми поперечными разрезами.



Рисунок 4.52 – Планирование с использованием моделей «заходок»

4.24 Модуль закладки выработанного пространства

Закладка выработанного пространства является важной частью технологии ведения горных работ на многих подземных рудниках. Работы по созданию горной автоматизированной системы, направленной на комплексное решение задач горной технологии, показали необходимость дополнения программного комплекса MINEFRAME, лежащего в основе системы, модулем «Погашение выработанного пространства (Закладка)», предназначенным для систем разработки, использующих твердеющую закладочную смесь. Исходными данными для работы модуля служат:

- модели горных выработок, построенные с помощью системы MINEFRAME;
- нормативные документы, используемые при ведении закладочных работ.

Инструменты для расстановки перемычек

Для расстановки перемычек на моделях подземных горных выработок используется специализированный инструмент *Создания закладочных секций*. Добавление перемычек осуществляется в нескольких режимах. Первый режим позволяет поставить метку, от которой измеряется расстояние до места на оси выработки, куда необходимо

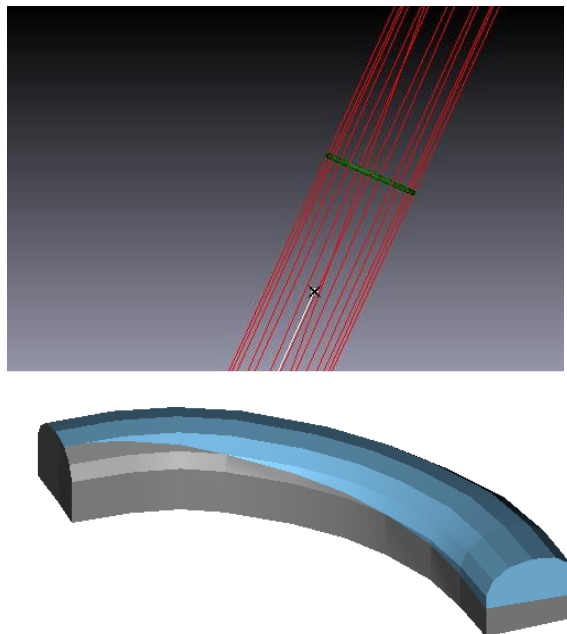


Рисунок 4.55 – Моделирование закладки и недозалива

закладки

Модель секции создаётся путём выбора участка выработки между перемычками. Есть возможность создания как проектных, так и фактических секций. При создании секции триангуляционные модели, созданные на этапе выбора секции, будут объединены в одну каркасную модель (рисунок 4.54).

Длина, площадь и объем секции рассчитываются автоматически.

Площадь секции вычисляется как площадь горизонтальной проекции ее триангуляционной модели.

Подсчет объемов закладки и недозалива (рисунок 4.55) осуществляется по моделям как проектных, так и фактических секций.

установить перемычку, ограничивающую секцию. Второй режим позволяет устанавливать перемычки на произвольных участках выработок. Для работы инструмента необходимо наличие триангуляционных моделей выработок. В режиме добавления перемычек автоматически включается измеритель расстояний, позволяющий более точно устанавливать перемычки (рисунок 4.53).

Перемычки представляют собой контуры, получаемые при пересечении выработки плоскостью, перпендикулярной ее оси, в месте установки перемычки.

Инструменты для создания секций

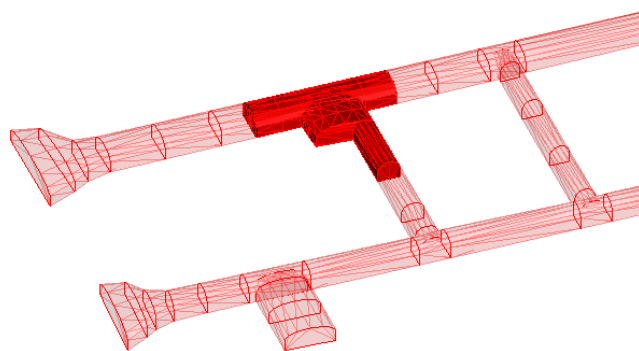


Рисунок 4.54 – Выбор секции

4.25 Мониторинг сейсмических событий

Модели природных и технологических объектов предоставляют цифровую основу для мониторинга техногенных процессов. Для реализации мониторинга необходимо иметь: датчики, регистрирующие состояние или параметры объекта контроля; средства передачи информации, получаемой с датчиков; средства приема, обработки и хранения информации; средства визуализации обработанных данных.

Сейсмический мониторинг основан на регистрации, фильтрации и анализе сейсмических колебаний в инфразвуковом диапазоне частот, вызванных разрушением ГП под действием повышенных напряжений. Мониторинг проводится с помощью сейсмодатчиков, установленных в различных частях массива ГП. На основании этих данных, а также координат сеймопавильонов и оценок скоростей распространения сейсмических волн вычисляются время начала события в очаге, координаты очага, длительность события, сейсмическая энергия в очаге.

Информация с датчиков передаётся на контроллер, связанный с сервером. Информация, поступившая на сервер, сохраняется в БД и может использоваться как для мониторинга путём периодического считывания последних данных и их графического отображения в среде GEOTECH-3D, так и для его ретроспективного просмотра с возможностью установления его временных границ и масштаба времени.

Динамические проявления горного давления и тектонических напряжений в массиве ГП являются серьезной проблемой для подземных рудников, работающих в сложных горно-геологических условиях. В последнее время это становится проблемой и для глубоких карьеров. Целью наблюдения за динамическими проявлениями (сейсмическими событиями) является получение оперативной информации о местах, размерах и интенсивности разрушении массива ГП. Для реализации этих функций на горных предприятиях создаются системы контроля, собирающие и анализирующие сейсмические данные. Для рудников ППГХО такую систему разработал ИГД ДВО РАН [214]. Для работы с такими данными, в GEOTECH-3D реализованы программные средства визуализации и первичного анализа сейсмических событий.

Информация о сейсмических событиях приходит в виде даты и времени события, его координатах и энергии. Отображается сейсмическое событие в форме сферы (рисунок 4.56), центр которой располагается в месте локализации события, а размеры и цвет зависят от его энергии. Для реализации этого алгоритма создаётся легенда, включающая в себя таблицу интервалов энергии событий и цвет, которым будут отображаться события

данного энергетического интервала. Для анализа сейсмических событий могут быть построены графики временного ряда и повторяемости событий.

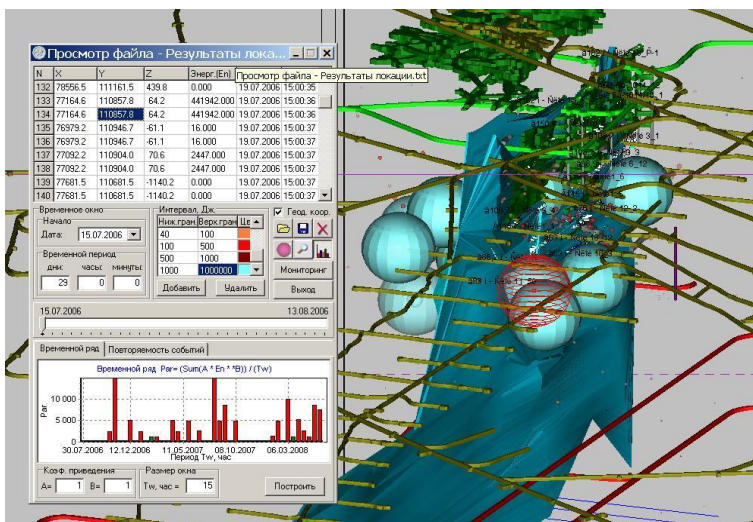


Рисунок 4.56 – Визуализация сейсмических событий

экране монитора;

- частота опроса – периодичность опроса БД или файла с данными сейсмических событий.

2. Ретроспективный просмотр результатов контроля

В режиме ретроспективного просмотра сейсмических событий используются следующие управляющие параметры:

- начало временного окна – дата и время, начиная с которого события отображаются на экране монитора;
- размер временного окна – количество дней, часов и минут, составляющих период, за который от начала временного окна и далее отображаются все попавшие в него события.

Сейсмические события отображаются в пространстве в виде сфер. Энергетическая составляющая может отображаться изменением радиуса сферы или изменением цветового заполнения ее поверхности. Пример пространственной карты зарегистрированных событий приведен на рисунке 4.57 с отображением трехмерной модели рудника.

Программные средства обеспечивают работу с сейсмическими данными в двух режимах:

1. Мониторинг результатов контроля

В режиме мониторинга используются следующие управляющие параметры:

- временной период – период от последнего события назад, в течение которого события отображаются на

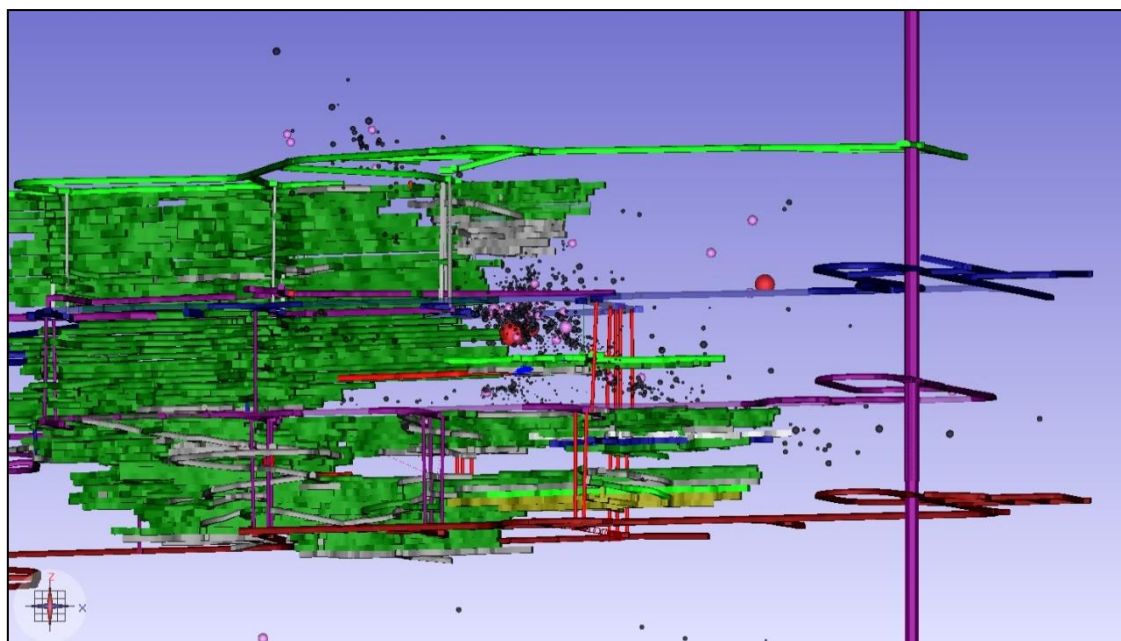


Рисунок 4.57 – Пример пространственной карты зарегистрированных событий

Библиотека `igdprognoz.dll` предназначена для совместной работы с программным комплексом `MINEFRAME` и представляет собой реализацию алгоритмов по обработке данных акустического и сейсмического мониторинга.

Исходные данные программный модуль получает из базы данных (`Prognoz_DB`), в которую информация о событиях поступает в автоматическом режиме. Во время работы библиотека подключается в базе данных `FIREBIRD` для выборки необходимых событий. Схема взаимодействия элементов геомеханического мониторинга и программных средств ГГИС `MINEFRAME` приведена на рисунке 4.58.

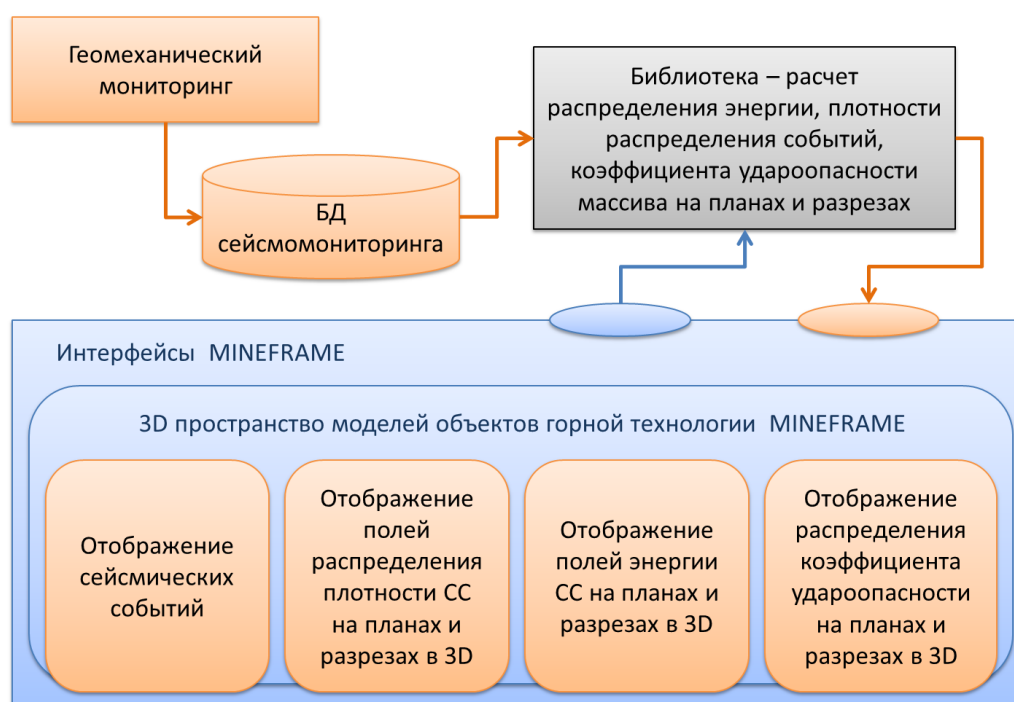


Рисунок 4.58 – Схема взаимодействия средств геомеханического мониторинга с ГГИС `MINEFRAME`

Инструмент визуализации, разработанный в составе системы MINEFRAME, позволяет получать характеристики сейсмических событий из базы данных и отображать их в виде плоскостей, имеющих градиентную заливку цветом, установленным по диапазону характеристик (энергия, плотность или коэффициент удароопасности).

Мониторинг СС, кроме информации об интенсивности и местах их возникновения, дает возможность с помощью специализированных алгоритмов выделить потенциально опасные для ведения горных работ участки месторождения. Необходимым условием принятия обоснованных инженерных решений, обеспечивающих безопасное ведение горных работ, является полнота и оперативность доступа к информации, характеризующей напряжённое состояние массива ГП. Реализация этого условия достигается, в частности, при отображении данных о СС (или результата интерпретации этих данных) в 3D моделируемом пространстве месторождения, содержащем модели выработок и других объектов горной технологии.

4.26 Визуализация результатов расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород

При разработке месторождений, опасных по горным ударам, эффективность и безопасность горных работ во многом зависит от своевременного регионального прогноза формирования зон концентрации напряжений, а, следовательно, и удароопасности. Такой прогноз применительно к конкретным горно-геологическим условиям позволяет еще на этапе проектирования оптимизировать конструктивные параметры систем разработки и порядок ведения горных работ, а на этапе планирования предусмотреть мероприятия, снижающие риск динамического проявления напряженно-деформированного состояния (НДС). Одним из эффективных методов прогноза полей напряжений является численное моделирование НДС массива ГП. Применение его совместно с натурными методами оценки напряженного состояния массива и прогноза удароопасности позволяет осуществлять геомеханически обоснованный выбор технических решений.

Для выполнения всего комплекса задач по обеспечению связей между отдельными программными приложениями, различными вариантами совмещения разнородных моделей и их визуализации создана автоматически пополняемая база данных расчетных вариантов НДС. База данных содержит: перечень разработанных геомеханических моделей, их геометрические параметры, вид граничных условий, перечень рассчитанных вариантов модели, координаты узлов сети конечных элементов, свойства учтенных типов пород, описание элементов модели (номера узлов, описывающие каждый элемент). По каждому варианту: данные по элементам с заданными в них типами породы и

полученными расчетными показателями тензора напряжений. Отображение результирующей информации о поле напряжений и деформаций реализовано как в векторном виде, так и в виде блочной модели. Кроме того, разработан модуль по оценке категории состояния участков выработок в зависимости от их направления и рассчитанных величин напряжений. В зависимости от величины полученной категории участок выработки будет окрашиваться соответствующим цветом. Схема взаимодействия компонентов представления результатов расчетов НДС представлена на рисунке 4.59.

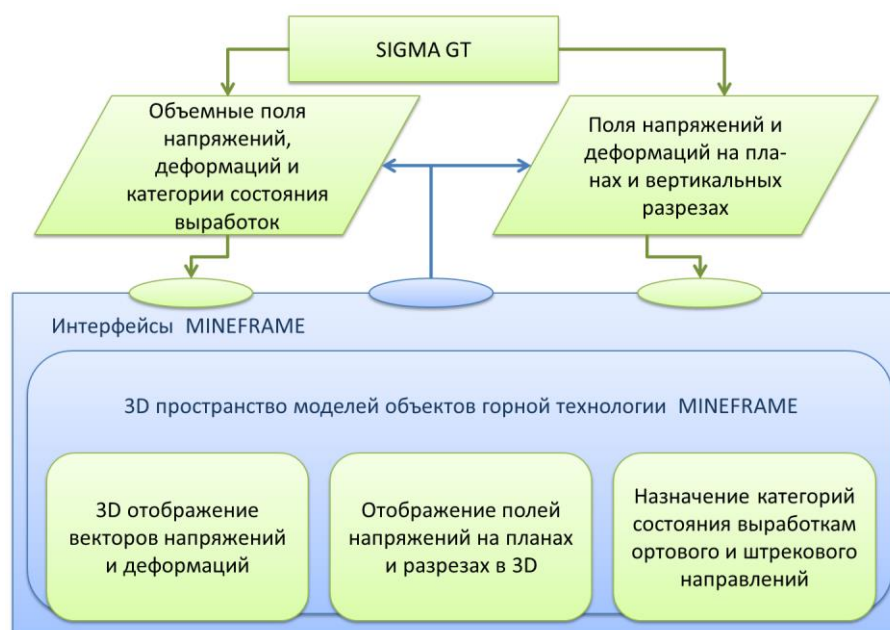


Рисунок 4.59 – Взаимодействие компонентов визуализации НДС

Для учета и анализа результатов численных расчётов НДС массива ГП в процессе выработки технологических решений создан инструмент визуализации результатов НДС в 3D модельном пространстве рудника. Реализация инструмента основана на взаимодействии двух программных комплексов - MINEFRAME и SIGMA GT [215] и включает несколько этапов:

- В среде графического редактора GEOTECH-3D, входящего в MINEFRAME, формируется система разрезов, пересекающая модели геологических тел и горных выработок.
- Контуры сечений объектов горной технологии переносятся в среду программного комплекса SIGMA GT, где в автоматическом режиме генерируется 3D сеточная область для численных расчётов поля напряжений и деформаций.
- После задания начальных и граничных условий производится вычисление НДС заданной области массива. Для упрощения процедуры задания граничных условий

используется режим работы с мелкомасштабными и крупномасштабными моделями расчёта [216, 217].

- Результаты расчёта поля напряжений и деформаций, привязанные к узлам сеточной области, загружаются в среду графического редактора GEOTECH-3D, где могут быть представлены в удобном для анализа виде: векторы главных компонент напряжения, плоскости ориентации растягивающих деформаций, изолинии напряжений для любой заданной плоскости разреза или их группы (рисунок 4.60).

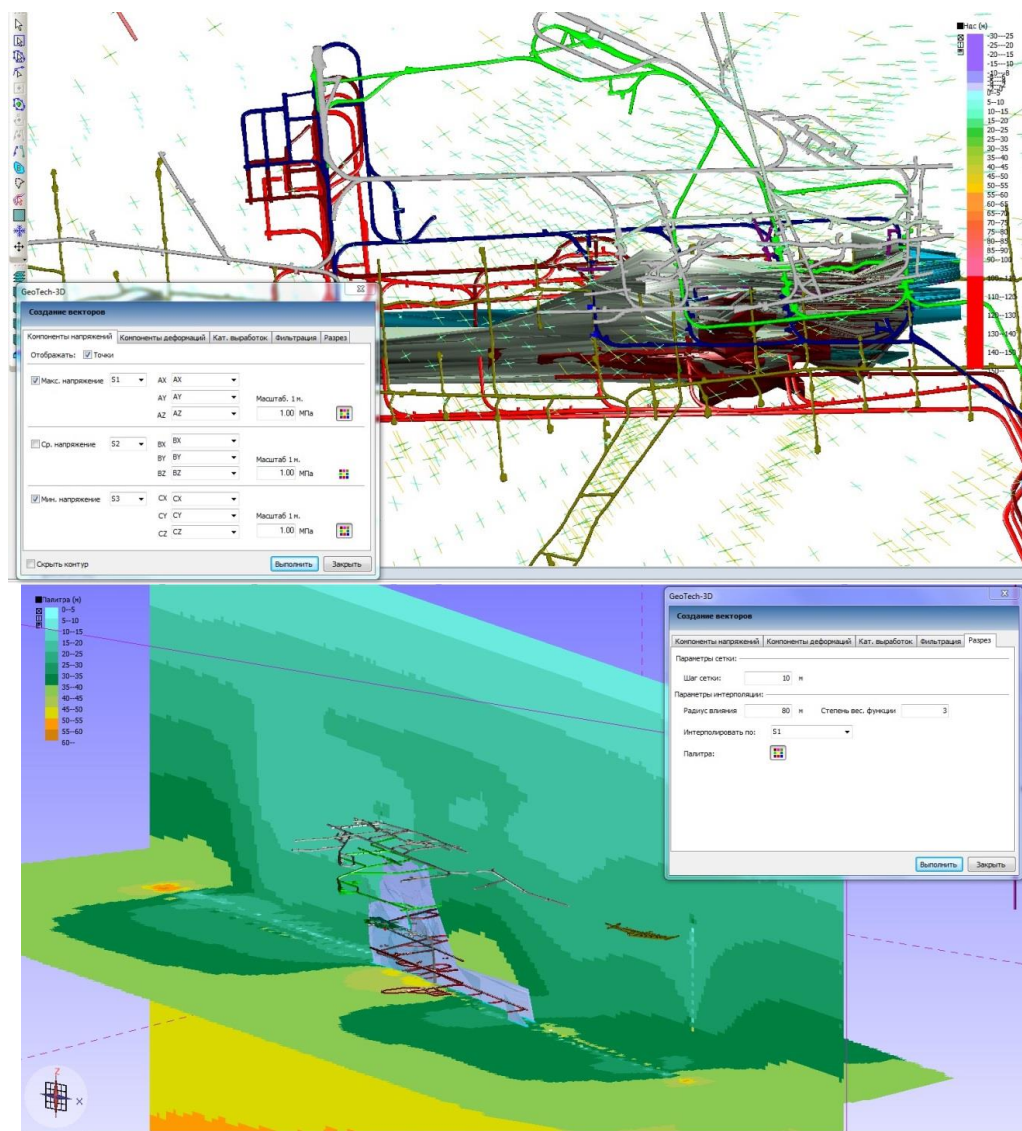


Рисунок 4.60 – Примеры визуализации результатов расчетов НДС:
вверху – векторное поле расчетных напряжений;
внизу – изолинии σ_{max} в двух взаимно перпендикулярных разрезах

Визуализация категорий состояния выработок

Важным результатом анализа НДС применительно к подземным горным работам является оценка категории выработки с точки зрения возможности её динамического разрушения. Наличие данных об упруго-прочностных характеристиках ГП и НДС массива позволяет автоматизировать процесс выделения участков выработок той или иной

категории опасности по возможностям динамического проявления напряжённого состояния.

Для отображения категорий состояния выработок предварительно должен быть загружен файл с данными о НДС горного массива, полученный из программы Sigma GT. Файл содержит координаты точек, значения напряжений и деформаций, а также поля *ort* и *shtr*, содержащие значения категорий состояния. Для отображения категорий используется инструмент *Создание векторов*. Он имеет отдельную вкладку для работы с категориями выработок (рисунок 4.61). Поля *Орт* и *Штрек* содержат список всех импортированных атрибутов. Необходимо выбрать те поля, которые содержат соответствующие значения.

Алгоритм расчета категории для каждой пары сечений выработки, определяет угол между отрезком, соединяющим центры рассматриваемых сечений, и осью, проходящей вдоль рудного тела. Для выработок, проходящих вдоль простирания рудного тела, значение категории берется из поля *Штрек*, а для выработок, проходящих вкрест простирания рудного тела, - из поля *Орт*. Значения категории состояния выработки берется из ближайшей точки ранее импортированного контура к отрезку, соединяющему центры рассматриваемых сечений. Участки выработок, отнесенные к различным категориям состояния, окрашиваются в соответствии с заранее заданной цветовой палитрой.

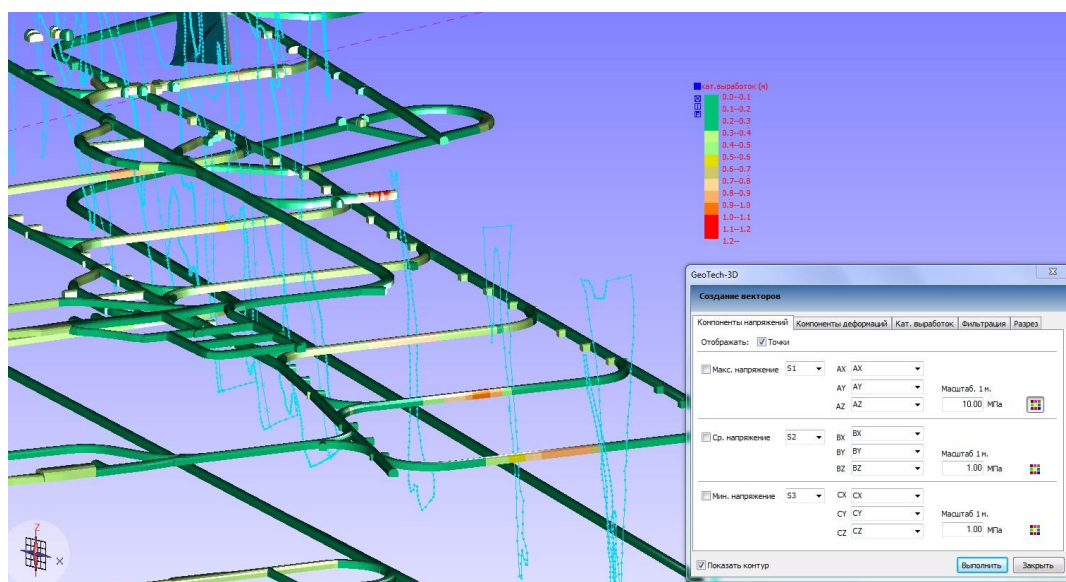


Рисунок 4.61 – Категории состояния выработок

Для импорта данных НДС из программного модуля SIGMA GT в MINEFRAME используется файл данных, содержащий информацию о каждом элементе модели НДС:

индекс точки центра элемента; координаты точки центра; компоненты главных напряжений; компоненты приведенных деформаций; значения углов, образуемых векторами напряжений и деформаций с координатными осями. Реализована возможность отображения данных расчета НДС в 3D пространстве и на разрезах (рисунок 4.60), как в виде векторного поля, так и в виде градиентной заливки по уровню действующих напряжений (деформаций).

4.27 Мониторинг снегонакопления в зонах лавинной опасности

Инструменты мониторинга снегонакопления в зонах лавинной опасности являются элементом компьютерной технологии инженерного обеспечения горных работ, проводимых в районах разработки нагорных месторождения [218]. Они позволяют выполнить цифровое моделирование рельефа гористой поверхности и снежного покрова на ней. Модель снегонакопления представляет собой контур, ограничивающий в плане область мониторинга процесса снегонакопления, внутри которого расположена ячеистая структура (рисунок 4.62). Высотные отметки узлов ячеек получены проецированием на каркасную модель поверхности.

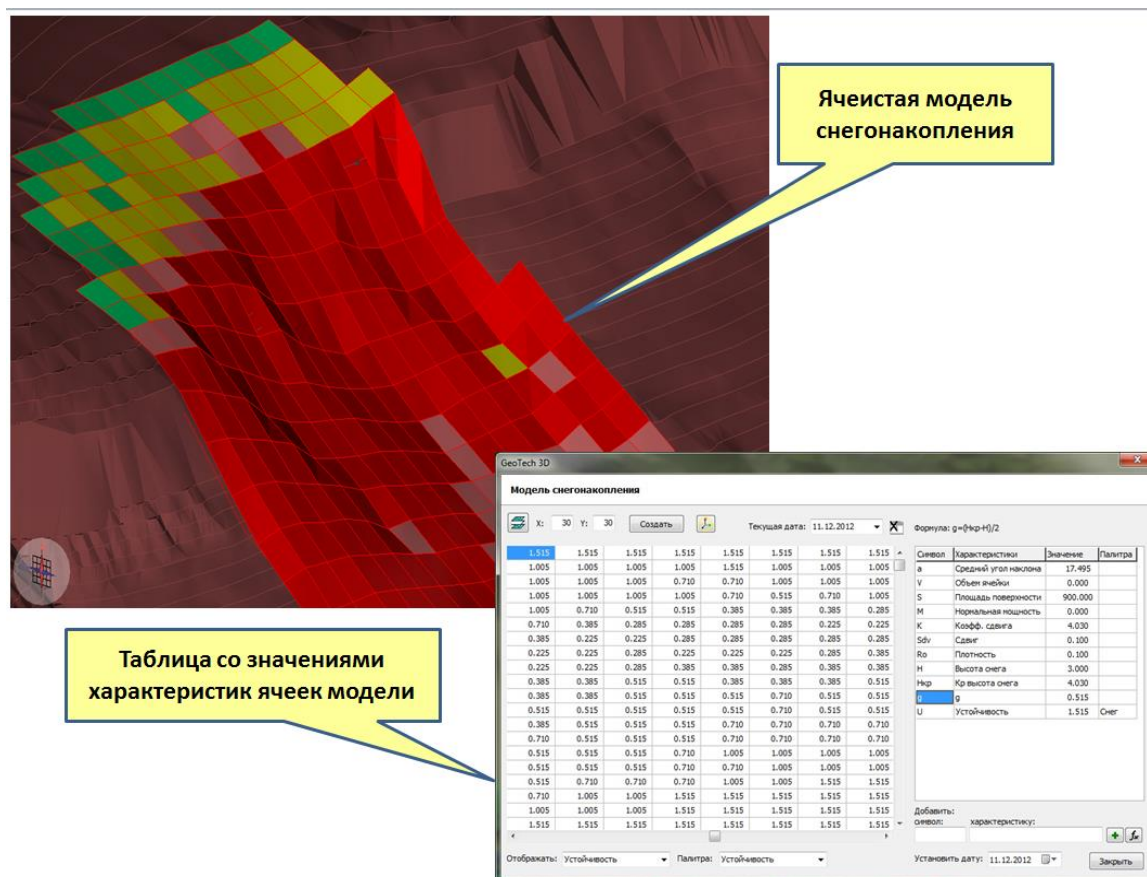


Рисунок 4.62 – Модель снегонакопления и диалоговое окно для работы ней

По мере поступления новых данных маркшейдерской съемки снежного покрова на контролируемом участке определяются параметры снежной толщи по всей площади лавиноопасного склона, что затем используется для определения зон лавинных очагов и объемов ожидаемых лавин. В качестве критерия для определения контура таких зон используется коэффициент устойчивости снега при сдвиговом механизме лавинообразования, который учитывает коэффициент внутреннего трения или трения снега о подстилающую поверхность.

Для расчета характеристик предназначен редактор формул, позволяющий рассчитывать значения либо по введенным формулам, либо изменением текущей формулы, если характеристика уже была ранее рассчитана. После расчета всех значений модель снегонакопления может быть раскрашена по заданной легенде.

Для учета изменений модели снегонакопления с течением времени используется привязка ее к дате. В этом случае модель остается одной и той же, а характеристики каждой ячейки будут разными для конкретной даты.

4.28 Подготовка горной графической документации

Инструменты генерации рабочих чертежей позволяют перейти от 3D моделей проектируемых объектов к их 2D образу с обеспечением точной привязки, выставлением размерных линий и описанием. При формировании чертежей используются средства построения разрезов и планов, автоматического вынесения сеток, оформления элементов чертежа в соответствии со стандартами горной графики. Необходимость использования этих инструментов диктуется тем, что необходимо обеспечить переход от 3D моделей, хранящихся в памяти компьютера, к техническим средствам (ГТО), реализующим проектные решения через интерпретацию чертежа человеком. В машиностроительных отраслях такой переход практически полностью замещен инструментами, формирующими команды на воспроизведение спроектированной модели детали станками с числовым программным управлением или роботизированными комплексами. В горной отрасли этот процесс только начинается.

Для подготовки и вывода графической информации различного рода в ГГИС MINEFRAME разработана подсистема печати, которая включает в себя набор специализированных инструментов (рисунок 4.63). К ним относятся: редактор палитр, редактор линий и штриховок, редактор символов и редактор классификатора (РК). Классификатор предназначен для создания и редактирования правил отображения различных графических элементов чертежа. Для упрощения вывода графической информации в системе предусмотрен набор средств, позволяющих формировать шаблоны

чертежей с несколькими настраиваемыми видовыми экранами и штампами, а также средства редактирования листов печати, получаемых на основе шаблонов. В настоящее время библиотеки символов, линий, штриховок и классификатор являются БД, содержащей значительное количество элементов, которая может использоваться для формирования необходимых чертежей в соответствии со стандартами горной графики.

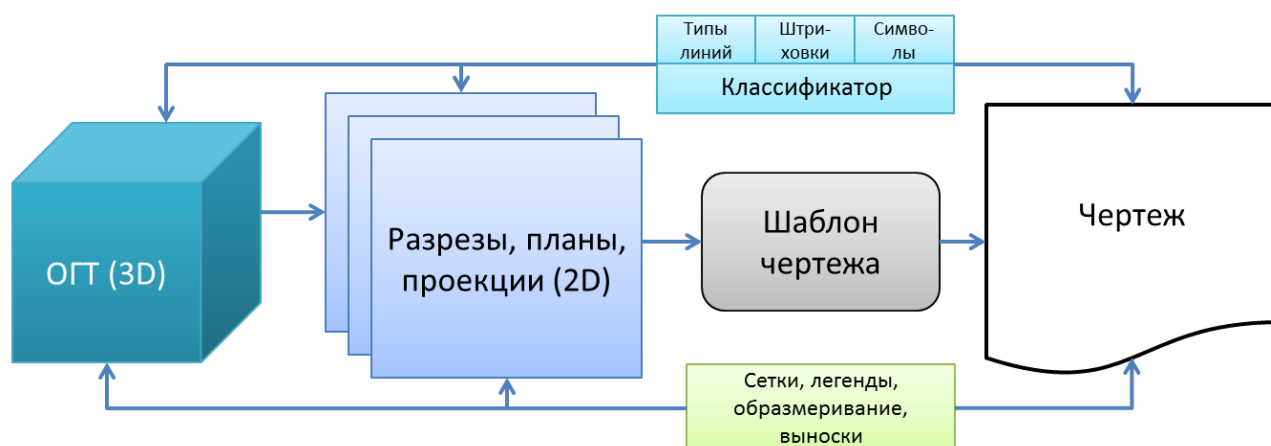


Рисунок 4.63 – Элементы и процесс создания графической документации

Для расширения функциональных возможностей системы MINEFRAME в области формирования горной графической документации были реализованы специализированные инструменты для создания, модификации и представления следующих видов примитивов: *прямоугольник, круг, эллипс, дуга, полилиния и выноски (для добавления меток-идентификаторов к чертежам)*.

Реализованы несколько специализированных редакторов, которые позволяют произвести оформление чертежей в соответствии со стандартами горного предприятия:

Редактор размерных стилей дает возможность добавлять поименованные совокупности (стили) значений всех переменных, определяющих вид размерных линий в пространстве моделей и на чертеже. Редактор размерных стилей позволяет выполнить следующие операции (рисунок 4.64):

- создать новый размерный стиль;
- изменить имеющийся размерный стиль;
- установить текущий стиль;
- воспользоваться предварительным просмотром размерного стиля;
- переименовать размерные стили;
- удалить размерный стиль.

штриховок. В настоящее время библиотеки символов, линий, штриховок и сам классификатор содержат сотни элементов и могут использоваться для формирования чертежей в стандартах горной графики.

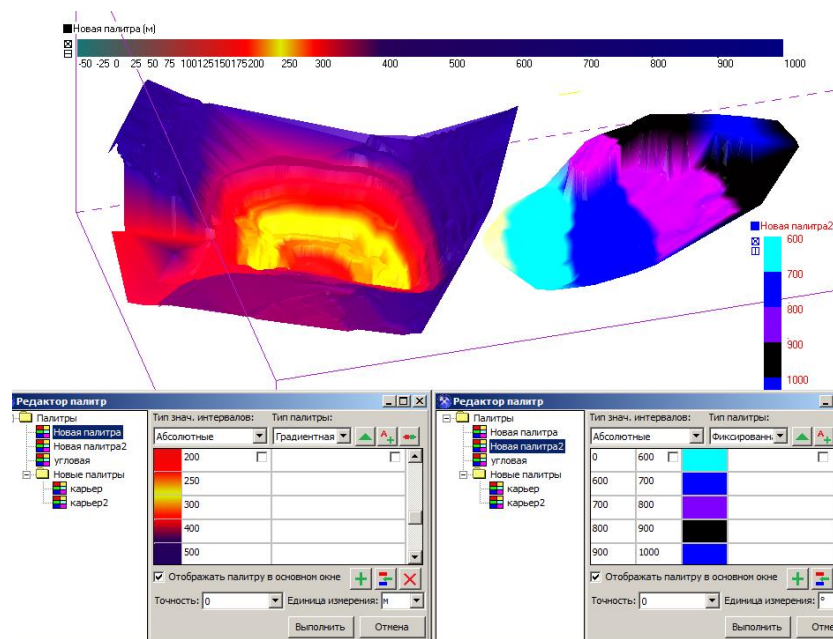


Рисунок 4.65 – Раскраска триангуляционной модели:
слева – использование градиентной палитры;
справа – фиксированной.

Классификатор имеет иерархическую структуру и содержит информацию о тематических объектах (рисунок 4.66). Тематический объект – это объект, отображаемый в модели соответствующим условным знаком и характеризующийся набором атрибутов (семантических характеристик).

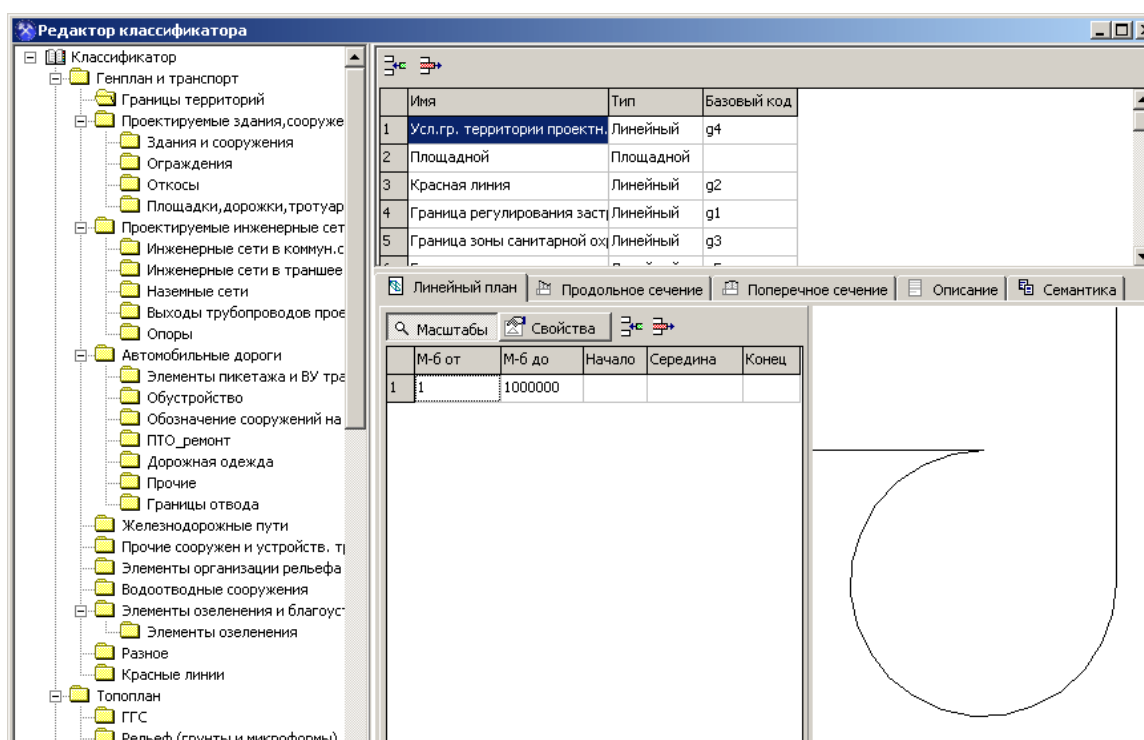


Рисунок 4.66 – Редактор классификатора

Редактор линий и штриховок – это инструмент, с помощью которого создаются и редактируются типы линий и штриховок. Типы линий могут применяться как при создании моделей объектов, так и при подготовке чертежей. Кроме того, типы линий используются как элементы условных знаков тематических объектов (площадных, линейных) в РК, а также для создания элементов геологической палитры.

Для формирования штампов разработан специализированный редактор, обеспечивающий быстрое создание штампов и их сохранение в БД. Инструмент создания штампа реализован в форме таблицы, размеры ячеек которого определяются положением границ, а вид (тип, толщина, цвет линии) настраивается отдельно для каждой ячейки (рисунок 4.67).

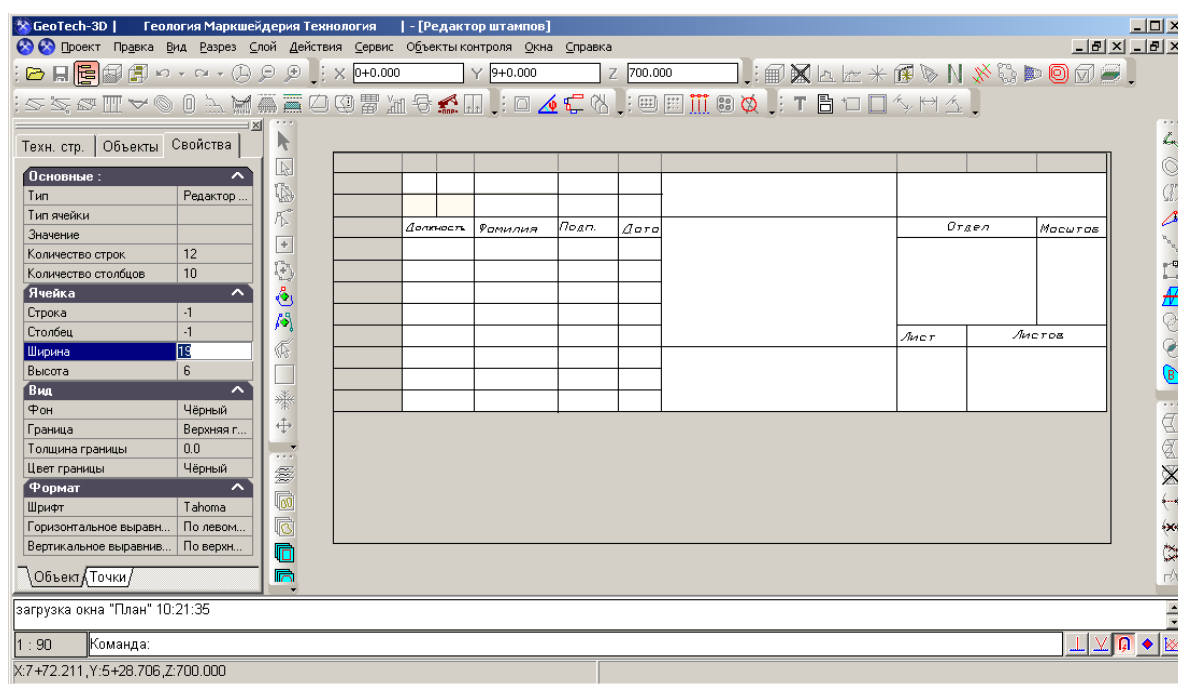


Рисунок 4.67 – Пример созданного штампа по стандарту ГОСТ 2.851-75

Формирование чертежей производится с использованием разрезов моделируемого пространства. На листе печати создаются так называемые «видовые» окна (рисунок 4.68), которые содержат области изображения, связанные с разрезами.

Помимо этого на лист печати можно добавлять различные объекты, такие как:

- Текст – параграф однострочного или многострочного текста, создающегося с помощью текстового редактора, где можно менять стиль текста (высоту, шрифт, цвет).
- Измерительные линии, состоящие из текстовой строки, которая указывает значение измерения, размерных линий и размерных стрелок.
- Графические примитивы – простые графические объекты (круг, прямоугольник, эллипс, дуга).

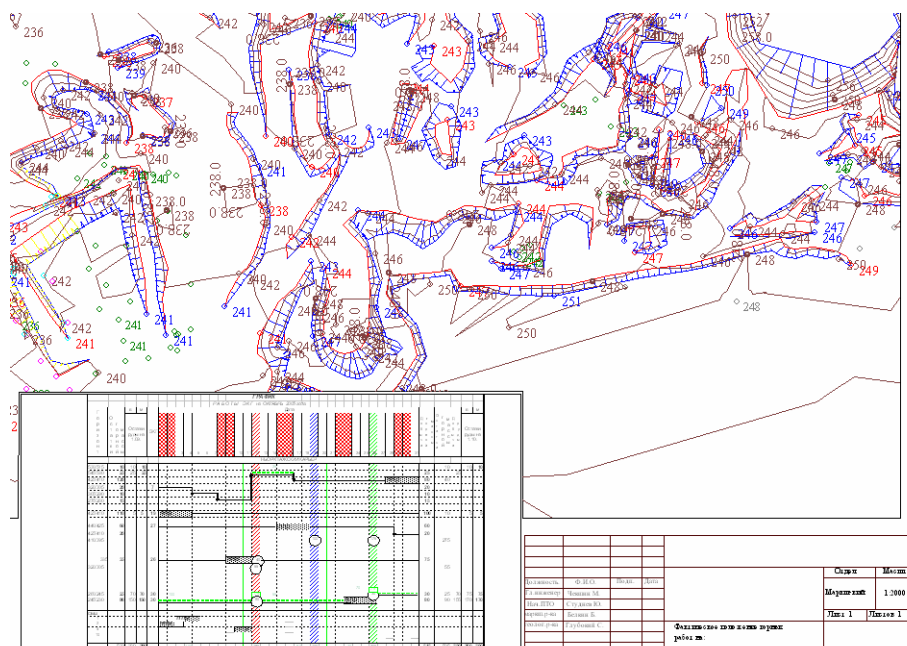


Рисунок 4.68 – Фрагмент чертежа, на котором расположен штамп и таблица MS Excel, как OLE объект

- OLE объекты – файлы других приложений Windows.

Можно устанавливать различные размеры листов печати по заранее созданным шаблонам, поддерживаемых установленными в системе принтерами и плоттерами, задавать направления чертежа, указывать количество копий.

Таким образом, встроенные в GEOTECH-3D средства подготовки чертежей позволяют, используя стандартные шаблоны в форме видовых окон (связанных с определёнными разрезами моделируемого пространства), штампов и таблиц (например, связанных с MS EXCEL), значительно ускорить выпуск чертежей типового содержания.

В качестве примера на рисунке 4.69 представлены чертежи, входящие в проект MB для ОГР.

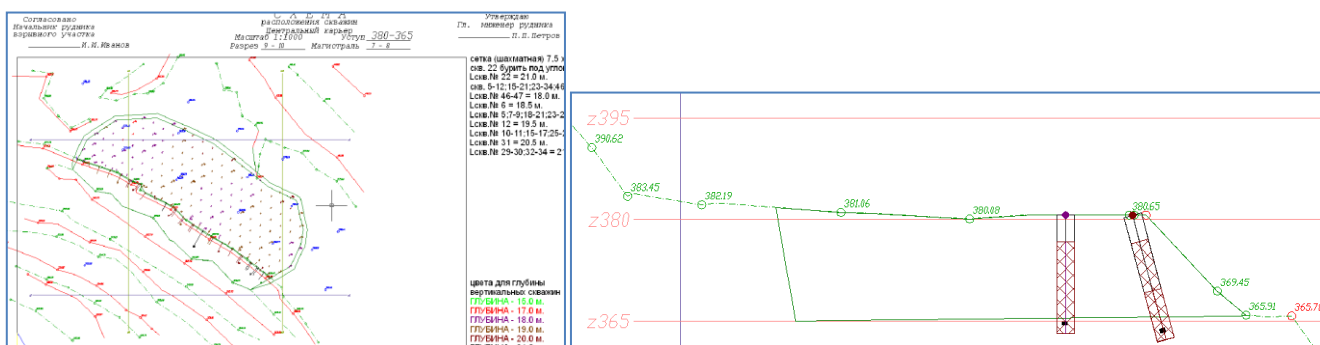


Рисунок 4.69 – Подготовка чертежей к проекту MB

Размещение разрезов на шаблонах листов печати

Это инструмент позволяет экспортировать на один шаблон печати серию разрезов. Задается список разрезов, которые будут экспортированы на шаблоны. Порядок экспорта разрезов определяется порядком нахождения разреза в списке. Выбранный разрез можно перемещать по списку вверх и вниз.

Можно разместить на текущем открытом шаблоне видовые экраны «табличным» методом: указанное количество видовых экранов по горизонтали и по вертикали (рисунок 4.70). Порядок переноса разрезов определяется списком сечений. Другой способ позволяет указать видовые экраны уже размещенные на шаблоне листа печати и порядок экспорта разрезов в них. В списке видовых экранов отмечаются те, в которые будут экспортированы сечения. Аналогично списку сечений, список видовых экранов определяет порядок. Если видовых экранов на шаблоне меньше, чем разрезов, то будет создаваться еще один экземпляр листа печати, а оставшиеся разрезы будут размещаться

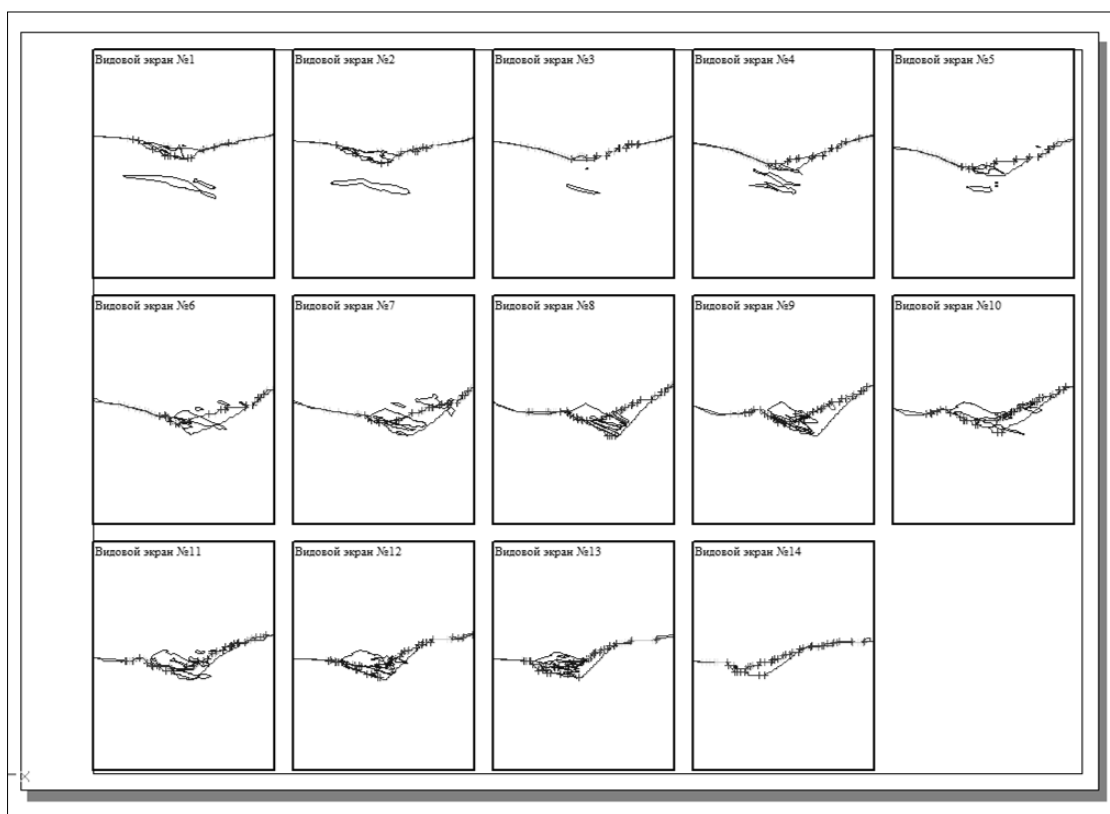


Рисунок 4.70 – Пример экспорта разрезов на шаблон на нем аналогичным образом.

4.29 Импорт-экспорт данных (графика, 3D объекты, числовые данные)

Средства импорта и экспорта данных являются вспомогательными для ГГИС, однако их наличие и развитость определяют возможность коммуникации разработанных

инструментов с программным окружением: средствами построения отчетов, офисными приложениями, программами САПР, ГИС и пр.

Экспорт в DXF, AutoCAD

Полученные тем или иным способом разрезы и планы с представленными на них контурами моделей объектов, проекциями маркшейдерских точек и геологических проб, могут использоваться для экспорта в любой конструкторский редактор, поддерживающий формат *.dxf. Так как основная цель такого экспорта заключается в снижении затрат времени на создание чертежей, то сама процедура экспорта включает:

1. Формирование «легенды» для различных групп и типов моделей объектов. Для создания и сохранения «легенды» используются настройки, обеспечивающие:

а) Выбор направления экспорта, где можно установить либо формирование файла формата *.dxf, либо экспорт прямо в среду AutoCAD. Если AutoCAD не загружен, то его запуск осуществляется автоматически.

б) Выбор масштаба отображения экспортируемой области.

в) Тип координат изображения (видовые, локальные, геодезические) и дополнительные операции при экспорте (поворот изображения на 90° , превращение 3D изображения в плоское).

г) Выбор способа отрисовки координатных сеток с настройкой шрифтов.

д) Установку для различных типов моделей объектов и их групп типа и толщины линий, формы точки, высоты шрифта (если он необходимо), название слоя.

2. Обеспечение интерфейса для выделения экспортируемой области изображения. Экспорт можно осуществить только тогда, когда в окне разреза или плана была выделена прямоугольная область.

При формировании «легенды» учитываются принятые на предприятиях стандарты горной графики, поэтому экспортируемый графический материал требует лишь незначительной доработки для получения чертежа требуемого качества. Кроме этого, при экспорте существует возможность передачи в графический редактор шаблона штампа, который вместе с легендой может быть сохранен в настройках.

Опции экспорта позволяют экспортировать одним блоком чертеж или шаблон. Также можно настроить масштаб, параметры вывода сетки, высоту текста табличных надписей, выбрать координаты, в которых будет производиться экспорт: видовые, локальные или геодезические. Предусмотрена возможность экспорта чертежа на какой-либо заранее созданный шаблон-штамп, для этого можно выбрать файл (DWG или DXF), который будет являться таким шаблоном.

Экспорт в KDR-файл

Инструмент используется для экспорта объектов в KDR-файл. Для осуществления экспорта необходимо выбрать требуемый ОГТ и указать в какой системе координат сохранять данные.

KDR-файл – это текстовый файл, в котором контуры представляют собой наборы точек (одна строка – одна точка), ограниченные строками с названием контура (элемента объекта) и знаком *. Названия контуров в файле будут соответствовать названиям элементов, к которым принадлежали контуры в модели объекта.

Экспорт в GTM-файл

GTM-файл – это файл модели ОГТ GEOTECH-3D, который может использоваться для переноса моделей объектов из одной БД в другую. В таком формате могут быть экспортированы любые модели ОГТ. Объект сохраняется в этом формате со всем его содержимым (сечения, контуры, элементы, каркасные и БМ). Файл этого формата является бинарным и сжатым. Открыть файлы этого формата можно только в GEOTECH-3D.

Экспорт в TXT файл

Инструмент применяется для экспорта триангуляционных и БМ ОГТ в TXT файл. Для триангуляционной модели можно выбрать способ записи в файл точек треугольника: их индексы или координаты. В зависимости от указанных параметров в файл записываются координаты всех точек указанного элемента объекта, а затем номера точек треугольников. Для БМ можно указать, какие параметры необходимо экспортировать: координаты центра блока, координаты диагонали блока или индекс блока. В файл будут записаны размеры каждого блока по осям X, Y и Z, координаты блока, значения по атрибутам в каждом блоке.

Экспорт в JSON файл

Инструмент используется для экспорта ОГТ в файл формата JSON. Файл в формате JSON предназначен для отображения 3D моделей ОГТ в окне интернет браузера с помощью технологии WebGL. С помощью этого файла браузер отображает 2 вида 3D моделей объекта - триангуляционную и векторную. JSON (англ. JavaScript Object Notation) - текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript и обычно используемый именно с этим языком. Формат считается языко-независимым и может использоваться практически с любым языком программирования. JSON строится на двух структурах:

1. Набор пар имя/значение. В различных языках это реализовано как объект, запись, структура, словарь, хэш-таблица, список с ключом или ассоциативный массив.

2. Пронумерованный набор значений. Во многих языках это реализовано как массив, вектор, список или последовательность.

Это универсальные структуры данных. Практически все современные языки программирования поддерживают их в той или иной форме.

Импорт из DXF файла

Инструмент используется для импорта графических данных из DXF файлов. Перед импортированием необходимо выбрать модель объекта, на которой будут размещены импортируемые объекты. Импортировать данные из DXF файла можно в двух режимах – как контуры объекта и как подложку для моделирования подземных выработок с маркшейдерских планшетов. При импорте можно выбрать тип использованных в оригинальном чертеже координат - геодезические или рудничные. Необходимо настроить взаимозаменяемость координатных осей чертежа в DXF файле и в области моделирования GEOTECH-3D. Таким образом, можно импортировать и плоские чертежи и 3D объекты.

При импорте одновременно нескольких файлов необходимо указать вариант их размещения (в один или в разные объекты). При выполнении импорта слои AutoCAD, найденные в файле, будут интерпретированы как элементы модели объекта. Если импортируемые данные выходят за границы региона моделирования, то появится диалоговое окно настройки размещения импортируемого объекта - можно центрировать объект по региону моделирования, сместить на заданное значение по каждой координате или оставить координаты прежними.

Импорт из KDR-файла

Инструмент используется для импорта графических данных из текстовых KDR-файлов. Перед импортированием необходимо выбрать модель ОГТ.

По найденным в файле названиям контуров будут сформированы элементы модели ОГТ. Также можно указать режим создания новых сечений модели: создание новых сечений; использование тех сечений, которые уже имеются на модели объектов; все контуры принадлежат одному (текущему) сечению. Есть возможность выбрать тип использованных в файле координат, геодезические или рудничные, также можно поменять оси X и Y.

Импорт из GTM-файла

Инструмент используется для импорта объектов GEOTECH-3D из GTM-файлов. Объект добавляется в ту же группу, из которой был экспортирован. Если этой группы в открытом проекте нет, то он будет добавлен в первую группу того же типа, что и группа из которой был экспортирован.

Импорт из БД

Инструмент используется для импорта объектов GEOTECH-3D из БД ОГТ в текущий проект рабочей БД. В диалоговом окне необходимо указать БД, из которой будет производиться импорт. Имеется возможность импорта всего проекта, выбранных групп и отдельных объектов.

Импорт контуров из MS Excel и текстовых файлов

Импорт производится в выбранную модель ОГТ, настройки импорта включают выбор разделителя дробной части, разделителя столбцов, определение столбцов X, Y, Z, выбор полей для импорта, задание типа полей (число, дата текст).

Импорт БМ

Инструмент используется для импорта БМ из текстовых файлов. Если перед импортированием была выбрана модель объекта, БМ будет создана на текущем элементе данного объекта. Если модель не была выбрана, будет создан новый объект. При выполнении импорта необходимо произвести настройки импорта - выбрать тип координаты в файле; выбрать компоненты, которые будут импортированы в БМ.

Выводы

Разработанные средства компьютерного моделирования, проектирования и планирования горных работ ГГИС MINEFRAME обеспечивают возможность решения задач геотехнологии при разработке месторождений твердых ПИ в автоматизированном режиме, при этом на каждом этапе работы возможна корректировка геотехнологических моделей, их пополнение и уточнение с учетом появившейся дополнительной информации. Инструменты системы позволяют реализовать современные методические подходы к автоматизированному проектированию, планированию и инженерному сопровождению горных работ.

Проверка программных средств, реализующих компьютерную технологию проектирования и планирования горных работ, в процессе их внедрения на горных предприятиях, при разработке регламентов на отработку запасов, как месторождений, так и отдельных очистных блоков, показала, что наличие специализированных и общесистемных инструментов и автоматизированных решений приводит к их ускорению, повышению качества, точности и обоснованности принимаемых решений. При этом наличие в рамках единой информационной системы средств моделирования объектов горной технологии, БД технологического оборудования, программных средств визуализации результатов расчёта НДС и мониторинга микросейсмической активности массива, средств автоматизированной инженерной поддержки технологических процессов

и технико-экономической оценки вариантов технологических решений создают условия для повышения качества инженерных работ и сокращения времени на их выполнение.

На базе графической платформы разработаны программные средства геологического моделирования, маркшейдерского обеспечения, проектирования и планирования открытых и подземных горных работ, мониторинга природных и техногенных процессов, в основе которых лежит использование 3D-моделей, средств интерактивной графики, инструментов построения сложных конструкций с помощью параметрического моделирования и группировки, алгоритмов оптимизации и средств автоматизированной подготовки технологической документации.

5. Область применения ГГИС и особенности реализации

5.1 Требования к реализации компонентов ГГИС, обеспечивающие внедрение на производстве

В современном горном производстве информационная составляющая является наиболее динамично развивающимся элементом горной технологии, от состояния которой на горнодобывающем предприятии уже в ближайшем будущем будет зависеть уровень автоматизации и организации технологических процессов. Отсутствие на предприятии полноценной ГГИС не позволяет в полной мере использовать возможности современной горной техники. Это тем более актуально для предприятий, обрабатывающих месторождения глубокими карьерами и подземными рудниками, где, кроме проблем оптимизации планирования выемки и транспортирования горной массы, необходимо решать проблемы вентиляции и проветривания [219], устойчивости бортов карьеров и подземных выработок в сложных горно-геологических и геомеханических условиях [220, 221].

Нахождение оптимальной границы перехода с открытого на подземный способ разработки является не менее сложной задачей, так как требует детальной увязки в пространстве и во времени элементов технологии более сложного способа разработки - комбинированного. Найти оптимальное решение этой задачи без трехмерного моделирования объектов горной технологии и создания экономико-математической модели её вариантов не представляется возможным.

При этом переход на любую новую технологию, в том числе и автоматизированного инженерного обеспечения горных работ, как правило, не бывает простым, так как требует пересмотра отработанных приемов работы и взаимодействия отдельных специалистов и служб. Кроме того, что переход на новую компьютерную технологию нарушает годами отлаженный процесс, он еще и требует больших финансовых затрат на приобретение вычислительной техники и ПО, а также обучение персонала. Необходимо иметь ввиду, что выбор той или иной технологии (а по сути ПО для ее реализации) может надолго привязать предприятие к поставщикам ПО и к тем решениям, которые в нем заложены. Следует учитывать, что, как правило, не бывает похожих друг на друга горных предприятий, следовательно, решение, подходящее для одного предприятия, может потребовать доработки ПО для другого предприятия.

Несмотря на отличия в организационных структурах, типах полезных ископаемых, условиях их залеганий, общим для всех горных предприятий является то, что работа ведется в трехмерном пространстве недр, отсюда первое требование, которому должна удовлетворять система, - это работа с 3D моделями ОГТ. Следует отметить, что практически все, представленные на рынке ПО системы, таким требованиям удовлетворяют, однако способы и полнота реализации функций формирования и управления моделями в них существенно различается. Работа с трехмерными моделями предполагает наличие инструментальных средств не только по их созданию, но также анализу и представлению, в первую очередь, за счет формирования различных типов разрезов, проекций, планов. Применительно ко всем видам горных работ (открытым и подземным) на разрезы должны выноситься рудничные (шахтные) и геодезические координатные сетки, а интерфейсные средства ПО должны позволять легко переходить от одной системы координат к другой. Для подземных горных работ дополнительным условием является необходимость выноса на плоскость разреза проекций ближайших моделей объектов. Разрез по модели может быть получен, если у нее имеется триангуляционная модель. При отображении на разрезе сопряжений каркасных моделей (например, выработок) возникает наложение их контуров, что должно автоматически

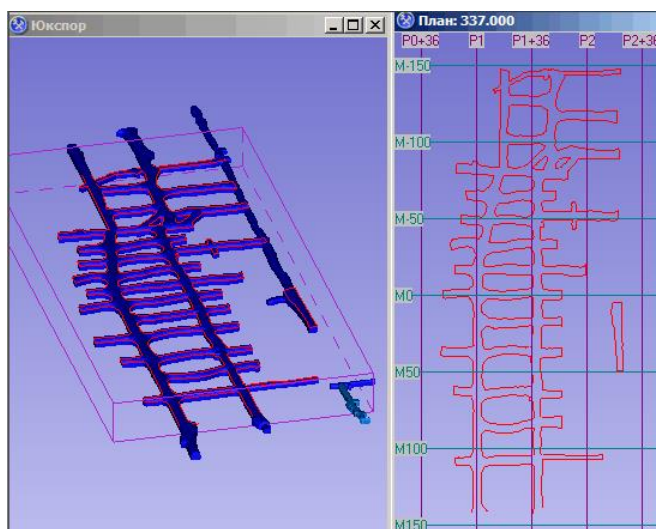


Рисунок 5.1 - Формирование разрезов

исправляться (рисунок 5.1) для исключения дополнительных операций по ручной корректировке. Сами модели объектов горной технологии могут иметь очень сложную форму, поэтому их модели должны формироваться из набора простых путем группировки в общую конструкцию. Каждая отдельная модель в общем виде включает в себя списки точек, объединенных в полилинии, списки треугольников,

формирующих триангуляционную поверхность объекта, и набор миниблоков, составляющих блочную конструкцию модели. Даже достаточно неполное перечисление состава модели говорит о ее сложности, что предполагает использование тех или иных способов управления ее составными элементами. Большинство представленных на рынке горных систем (в основном иностранного происхождения) строят свое управление на работе с элементами модели (например: точки контура сечения выработки, треугольники

каркасной модели поверхности выработки), как отдельными, достаточно самостоятельными структурами (часто – просто файлами), требующими индивидуального обращения в случае необходимости совершения с ними определенных действий. Применительно к подземным горным работам, где число моделируемых объектов (выработок) может превышать десятки тысяч, а пользователями системы являются рядовые горные инженеры, способ управления, а вернее его простота или сложность, становятся важным фактором, влияющим на производительности труда. В системе MINEFRAME подобная работа реализована следующим образом. Все, что относится к модели объекта, входит в состав его единой структуры. Запись в базу данных и чтение из нее осуществляется единым упакованным потоком данных, что, ускоряет процесс загрузки и сохранения моделей, существенно снижая трафик обмена данными. Для управления моделями используется *Инспектор объектов*, который при работе с выбранной моделью предоставляет доступ ко всем ее свойствам, включая способ отображения каждого из входящих в ее состав элемента. Для упрощения управления все объекты помещаются в группы и подгруппы, формирующие древовидную структуру и позволяющие осуществлять загрузку, выгрузку и установку способа отображения моделей, как отдельных объектов, так и их групп. Как правило, специалист работает с ограниченной областью моделируемого пространства и ему проще работать только с теми объектами, которые в этой области находятся (например, технологический блок, секция, панель). Для реализации этой возможности «инспектор объектов» представляет всю моделируемую область как технологическую структуру, разбитую на определенные элементы-подобласти. Выбор того или иного элемента сопровождается наложением пространственного фильтра на БД с выбором из нее только тех объектов, которые входят в элемент структуры.

Вторым требованием к системе является неразрывность технологии работы с моделями объектов при решении геологических, маркшейдерских и технологических задач. Это означает соблюдение условия, по которому модель объекта не должна менять своего формата при ее использовании различными службами. Наиболее простым способом достижения этого условия является применение единой графической платформы для решения всех горно-геологических задач. В MINEFRAME в качестве такой платформы использован многооконный графический редактор GEOTECH-3D. Другим условием, обеспечивающим неразрывность технологии, является работа с БД коллективного пользования в информационной сети горного предприятия. Выполнение этого условия позволяет поддерживать БД в актуальном состоянии и снизить вероятность использования устаревшей информации, ее дублирования и случайной потери. Но работа

с БД коллективного пользования, а она становится основным источником данных по ведению горных работ на предприятии, выдвигает ряд дополнительных требований, которые необходимо выполнять для сохранения данных:

- ограничение круга специалистов, имеющих доступ к БД (достигается формированием списка пользователей и вводом процедуры аутентификации);
- разграничение уровня доступа специалистов различного профиля к моделям объектов, хранящимся в БД;
- блокировка функций редактирования тех моделей, которые в данный момент редактируются другими специалистами;
- ведение журнала изменений моделей объектов с возможностью восстановления удаленных или измененных объектов.

В MINEFRAME реализованы все перечисленные условия, при этом: разграничение уровня доступа достигается отсутствием возможности сохранения в БД измененных объектов, если сделавший эти изменения специалист не имеет на это прав; блокировка функций редактирования обеспечивается внесением в БД признака редактирования объекта конкретным специалистом; автоматическое ведение журнала изменений моделей объектов позволяет не только восстановить неправомерно удаленные или измененные объекты, но и установить, кто и когда это сделал.

Третьим требованием к системе является наличие в ней средств формирования горной графики. Традиционно в России ведение горных работ сопровождается подготовкой большого количества рабочих чертежей – разрезов, планов, профилей, карт и другой технологической документации. Ее формирование отнимает много время, а принятые стандарты горной графики требуют для ее выполнения достаточно высокой квалификации. Данное требование реализуется одним из двух способов:

- включением в состав горной автоматизированной системы программных средств, обеспечивающих вывод на печать графической информации;
- экспортом подготовленной для вывода на печать графической информации в один из специализированных конструкторских редакторов (например, AutoCAD).

На печать выводится текстовая и графическая информация, располагающаяся на планах и разрезах. При ее формировании используются заданные пользователем настройки, обеспечивающие отображение моделей объектов заданными типами линий, значков, типов и размеров шрифтов.

Выполнение перечисленных требований обеспечивает создание информационной технологии с формированием единого геоинформационного пространства горного

предприятия и условий для комплексного решения геологических, маркшейдерских и технологических задач.

5.2 Особенности использования ГГИС на различных стадиях освоения месторождений твердых полезных ископаемых

Освоение минерально-сырьевых ресурсов связано с решением комплекса технологических и социально-экономических задач, в основе которых лежит знание о потребностях в ресурсах данного вида, условиях их извлечения и переработки. Применительно к твердым полезным ископаемым исключительно важную роль играет данные о рельефе местности, геологическом строении месторождения, местоположении и характеристиках объектов инфраструктуры, оказывающих определяющее влияние на экономические показатели освоения ресурсов. В качестве источников данных может выступать геодезическая, геологическая и технологическая документация, отражающая все этапы освоения месторождения: поиск, разведку и оценку; проектирование; эксплуатацию; консервацию; проведение мероприятий по восстановлению нарушенных земель. Принимая во внимание, что к получению информации на разных этапах освоения месторождения причастны различные организации (геологоразведочные, научные, проектные, производственные), данные, как правило, хранятся в разрозненном несистематизированном виде с отличающимися способами хранения (на бумажных или электронных носителях) и в различных форматах, исходя из предпочтений специалистов и информационной политики организаций. Все это приводит к неэффективному использованию данных и в конечном итоге к снижению уровня информационного обеспечения организационных и технологических решений при освоении месторождений.

Решением указанной проблемы, по нашему мнению, является использование ГГИС, предоставляющей доступ к разнородным данным, характерным для всех этапов освоения месторождений. С учетом быстрого развития вычислительной техники и ПО это представляется не только возможным, но и необходимым условием эффективного освоения минеральных ресурсов.

Изучение и разработка месторождений полезных ископаемых характеризуется, как правило, достаточно длительным периодом времени, начиная от разведки месторождения и заканчивая ликвидацией эксплуатирующего его горного предприятия. В течение этого периода можно выделить несколько основных стадий, связанных с характером решаемых в их рамках задач: *изучение* месторождения, *проектирование* и *функционирование* горнодобывающего предприятия, его *ликвидацию*. В силу специфики задач, решаемых на каждой стадии, их выполнение осуществляется разными организациями или разными

службами, использующими свои методы работы с горно-геологической информацией, лежащей в основе инженерного обеспечения геологоразведочных и горных работ. За этот период времени могут существенно измениться экономические условия функционирования предприятия и горно-геологические условия ведения горных работ, что, наряду с постоянным совершенствованием технологии, приводит к необходимости периодического пересмотра проектных решений.

В жизненном цикле горного предприятия средства ГГИС применяются на всех этапах. На рисунке 5.2 представлены различия между объектами (моделями) в этапах жизненного цикла машиностроения *сырье-обработка-изделие* [222, 223] (рисунок 5.2.а) и

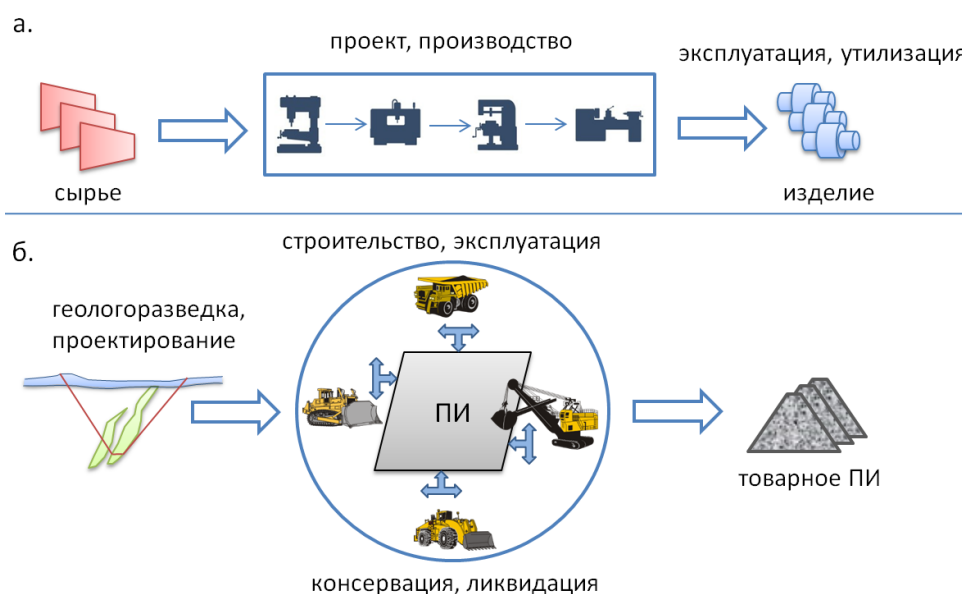


Рисунок 5.2 - Этапы и объекты жизненного цикла продукта машиностроения (а) и горного предприятия (б)

в горном деле – *ПИ в недрах-добыча-товарное ПИ* (рисунок 5.2.б).

Можно провести аналогию между гражданским/ промышленным строительством и горным предприятием – и то и другое являются сложными техническими сооружениями, их строительство и эксплуатация занимают длительное время, они изменяют ландшафт. Но и здесь имеется существенная разница – объекты строительства практически не изменяются на стадии эксплуатации, собственно процессы строительства и эксплуатации радикально отличаются друг от друга, в отличие от горного предприятия, где эксплуатация фактически ведется теми же технологическими процессами, и можно сказать, что строительство продолжается на протяжении всего жизненного цикла горнодобывающего предприятия. Другим отличием от машиностроения и строительства является то, что горное производство имеет дело с геопространственными данными, которые непрерывно изменяются в течение всего жизненного цикла (иногда это десятки

лет), органически обладая, таким образом, четвертым измерением – временем. Это, в свою очередь, приводит к тому, что модели, представляющие такие объекты горного предприятия, как горные выработки, отвалы пустых пород и хранилища отходов обогащения должны создаваться в 4D пространстве.

В этом контексте можно отметить несколько особенностей жизненного цикла горного предприятия, как объекта проектируемого и эксплуатируемого на всех этапах жизненного цикла с помощью средств ГГИС:

- Применение средств ГГИС может начаться уже на этапе геологоразведки для проектирования разведочных работ, моделирования произведенного опробования, определения закономерностей распределения ПИ в недрах, его геометризации и создания моделей геологических, стратиграфических и литологических разностей.

- Исходным для проектирования являются данные геологических, геофизических, геодезических изысканий в виде определенных, учтенных и утвержденных государственными органами запасов ПИ, представленных в виде моделей месторождений, топографических поверхностей, закономерностей распределения полезных и вредных компонентов в недрах.

- На этапе проектирования определяется не только конечный вид карьера или подземного рудника, как совокупность горных выработок, но и календарная последовательность их проведения и погашения, последовательность отработки запасов, производительность и скорость развития горных работ в пространстве. Должны быть учтены особенности залегания ПИ, геомеханические, гидрогеологические и экологические факторы. Все это требует предварительного моделирования и вариантного подхода к обоснованию проектных решений на основе экономического сравнения.

- Строительство и эксплуатация горных предприятий зачастую ведется схожими технологиями, а инженерное обеспечение этих этапов производится одними и теми же средствами ГГИС. Так производится проектирование проходки горных выработок и отработки выемочных единиц, проектирование массовых взрывов, транспортных коммуникаций. При составлении плана горных работ используются модели геологической среды, текущего положения горных работ, решений из проекта предприятия. План горных работ становится руководящим документом для оперативного управления горными работами посредством автоматизированных систем управления технологическими процессами. Средства автоматизированного геомеханического, гидрогеологического мониторинга, наблюдения за состоянием атмосферы карьеров и подземных рудников непосредственно влияют на ведение горных работ, являясь одним из инструментов обеспечения инженерного сопровождения технологического цикла горного предприятия.

- Автоматизированные системы управления технологическими процессами должны на основе плана горных работ не только выдавать поток ПИ заданного качества и объема, но и контролировать изменение пространственного положения единиц горно-транспортного оборудования в меняющейся во времени геометрической конфигурации выработанного пространства.

- Приняв свой законченный вид (в связи с исчерпанием запроектированного к отработке ПИ или изменением экономических условий) горное предприятие практически сразу прекращает свой жизненный цикл на этапе ликвидации, либо подвергается процедуре реконструкции, которая в той или иной степени повторяет обозначенные выше этапы.

- На стадии геологоразведки и утверждения запасов ПИ происходит формирование геологической модели, на стадии проектирования появляются модели проектных горных выработок, на стадии строительства и эксплуатации происходит изменение геологических моделей вследствие изменения их формы по мере извлечения горных пород из недр, уточнения параметров залегания и закономерностей распределения качественных характеристик в ходе постоянной доразведки. Модели проектных горных выработок становятся фактическими по мере реализации проектных решений, а контроль качества реализации требует автоматизированных технологий сбора данных и обработки данных (маркшейдерская съемка и компьютерное моделирование). В результате ведения открытых горных работ, а в некоторых случаях и подземных, происходит изменение рельефа, что также предполагает использование методов сбора и обработки геодезических данных.

Компьютерная технология проектирования и планирования горных работ, учитывающая эти особенности, включает несколько основных функциональных блоков, последовательно ее реализующих:

1. Моделирование геологических объектов. Для решения задач, связанных с моделированием пространственного распределения полезного ископаемого, в MINEFRAME существует набор инструментов, обеспечивающий векторное, триангуляционное и блочное моделирование геологических объектов, включая пласты и тектонические нарушения. Для заполнения блочной модели используется типичный для ГГИС набор инструментов геостатистического исследования данных опробования и их интерполяции с использованием метода обратных расстояний и кригинга.

2. Моделирование технологических объектов. Инструменты моделирования технологических объектов специализированы на создании горных выработок и конструктивных элементов, состоящих из типовых сечений, повторяющихся во множестве

объектов. Для ускорения работы с такого типа объектами используются: библиотеки типовых сечений; инструменты формирования моделей выработок с заданными параметрами сечений, уклонами продольного профиля, радиусами закруглений и параметрами сопряжения с другими выработками; методы построения сложных конструктивных элементов на основе группировки из более простых; инструменты дублирования и параметрического задания размеров. Выработки открытых горных работ формируются с помощью инструментов построения эквидистантного контура, траншей и насыпей, нескольких видов съездов.

3. Моделирование и оценка геомеханических условий. Существующая тенденция перехода горных работ на всё большую глубину выдвигает серьёзные требования к обеспечению их геомеханической безопасности. При проектировании подземных рудников и карьеров основными источниками информации о напряженно-деформированном состоянии (НДС) горнотехнической системы и связанной с этим опасностью динамических проявлений НДС являются численные расчёты (в двухмерной и трёхмерной постановке), а при среднесрочном и краткосрочном планировании – сочетание методов расчёта НДС и инструментов мониторинга микросейсмических событий в массиве, связанных с его разрушением. При решении задач проектирования и особенно планирования горных работ важны: возможность представления результатов оценки НДС и его проявлений в среде моделирования объектов горной технологии; оперативность и простота получения результатов оценки НДС.

4. Моделирование технологических процессов (основных и вспомогательных). Наличие моделей горных выработок и выемочных единиц позволяет оценить общий объём горнопроходческих и очистных работ, но не позволяет оптимальным образом увязать в пространстве и времени последовательность реализации заданных в моделях проектных решений. Подбор оптимального состава комплексной механизации в БД ГТО производится по критериям: функциональное назначение, тип привода ходовой части, преодолеваемый уклон, технико-экономические показатели и т.д. Такой подход позволяет более достоверно оценить возможности создаваемых технологических комплексов, определить время и стоимость выполнения технологических операций при планировании проходки горных работ.

5. Автоматизированная технико-экономическая оценка горных работ. Комплекс программных средств для автоматизации процессов текущего и перспективного планирования горных работ обеспечивает разбивку на участки, прирезки, блоки, секции, отрабатываемые в определённый период времени с оценкой объёма извлекаемой горной массы, количества и качества руды. Результаты отображаются на календарном графике

работ, что позволяет рациональным образом задать время реализации этапов (с учётом возможностей технологических комплексов), распределить оборудование и проанализировать на моделях последовательность формирования запроектированного выработанного пространства. Варианты планов, также как и проектных решений, сохраняются в БД, что облегчает процедуры анализа и выбора наиболее эффективных сценариев развития горных работ.

Описанная выше компьютерная технология реализует системный подход к решению задач проектирования и планирования горных работ, обеспечивающий согласование входных и выходных данных для каждого из функциональных блоков, что позволяет реализовать процесс поиска рациональных технологических решений с учетом существенных обратных связей между ними (рисунок 5.3).

Существующая в настоящее время практика эксплуатации месторождений ПИ все чаще предусматривает использование компьютерных технологий инженерного обеспечения горных работ для комплексного решения геологических, маркшейдерских и технологических задач, но, как правило, не использует всех возможностей компьютерных технологий для решения задач всех стадий освоения месторождений ПИ на единой информационной основе. Объясняется это, в первую очередь, отсутствием в работе организаций и предприятий, осуществляющих геологическую разведку, проектирование горных предприятий и их эксплуатацию, единых стандартов работы с горно-геологической информацией, чему в немалой степени способствует многообразие программных продуктов (в том числе в рамках одного предприятия), используемых для решения задач горной технологии. Стремление специалистов по информационным технологиям быстро сформировать для конкретного предприятия компьютерную технологию инженерного обеспечения горных работ зачастую выливается в использование для этих целей программных продуктов различных производителей, отличающихся интерфейсом, форматами данных и системами управления базами данных (БД). Как правило, это приводит к появлению геоинформационной системы, элементы которой в значительной степени дублируют друг друга, а её эксплуатация требует от инженерно-технического

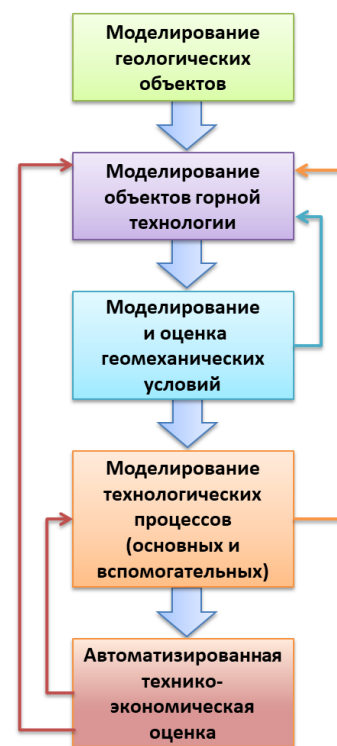


Рис. 5.3 – Функциональные блоки компьютерной технологии проектирования и планирования горных работ

персонала специальных знаний и навыков, что снижает технологичность работы с информацией.

Обеспечить технологичность работы с горно-геологической информацией, увязать между собой все стадии освоения месторождения и их геоинформационного обеспечения можно за счёт использования компьютерной системы, позволяющей решать основные задачи инженерного обеспечения геологоразведочных и горных работ на основе единой линейки программных продуктов. Сложность создания такой системы, а на её основе и компьютерной технологии, связана с тем, что для решения даже близких по характеру задач (например, геологическая разведка на стадии изучения месторождения и доразведка на стадии его эксплуатации) требуются инструменты различной функциональности, учитывающие как особенности выполняемой на каждой стадии работы, так и подготовленность специалистов к использованию современных программных средств.

Перечень задач (рисунок 5.4), решаемых в процессе инженерного обеспечения геологоразведочных и горных работ на разных стадиях освоения месторождения, можно рассмотреть на примере открытых горных работ. Схема не претендует на полноту и однозначную трактовку размещения тех или иных её элементов. Более того, некоторые задачи решаются не только на той стадии, к которой они отнесены, но и на других, уточняя решения предыдущих стадий. Например, решение задач, связанных с генерацией



Рисунок 5.4 – Задачи, решаемые на различных стадиях освоения месторождения с использованием единой геологической и технологической БД

чертежей, осуществляется на всех стадиях, однако, традиционно отнесено к стадии проектирования.

Важным условием формирования компьютерной технологии является использование единых БД, которые содержат информацию, собираемую и генерируемую на разных стадиях - от геологической разведки месторождения, предпроектных исследований, проектирования разработки и до оперативного управления процессами горного производства.

Стадия изучения месторождения

Освоение месторождения начинается с его геологической разведки. Информация, собранная в результате геологоразведочных работ, служит основой для формирования геологической БД, которая пополняется на стадии эксплуатации месторождения. Данные опробования, являющиеся основой геологической модели месторождения, необходимы для интерпретации элементов его залегания, моделирования рудных тел и вмещающих пород, выделения подсчётных блоков, выявления особенностей распределения полезных и вредных компонентов в границах месторождения, формирования блочной модели качества. Для работы с данными опробования в составе системы MINEFRAME имеется специализированный редактор GEOTOOLS [224], содержащий в себе инструменты первичной обработки данных и их интерпретации, включая формирование сортовых и рудных интервалов по заданным кондициям.

Для представления данных опробования в виде трёхмерных цифровых моделей используется редактор горно-геологических объектов GEOTECH-3D [193], являющийся графической платформой для решения всего комплекса задач всех трёх стадий освоения месторождений. Для реализации процедуры построения векторных моделей рудных тел используются: средства объектной привязки точек контуров сечений к моделям проб и рудных интервалов; параметры ограничения области видимости вблизи редактируемых разрезов; возможности формирования общих границ геологических тел, входящих в состав одной модели. Для построения триангуляционных моделей применяются инструменты локализации участков её поверхности. На стадии изучения месторождения векторные модели, как правило, представлены вертикальными разрезами, а локализация отдельных участков поверхности при построении каркасной модели осуществляется путём введения линейной границы между точками контуров на соседних разрезах. Для получения каркасной модели более сложной формы может использоваться локализация участков на основе нелинейной границы между точками контуров, что предполагает применение для триангуляции поверхности методов билинейной интерполяции. Следует отметить, что усложнение модели приводит к увеличению времени построения её

триангуляционной поверхности, поэтому актуальным становится наличие инструментов частичной модификации каркасной модели без её полного перестроения. В GEOTECH-3D это реализовано путём сохранения в структуре каркасной модели наряду с треугольниками также и границ локализованных участков поверхности. Каркасная модель, построенная с использованием перечисленных методов, будет востребована на всех стадиях эксплуатации месторождения, уточняясь по мере поступления новых данных.

Наиболее удобной формой моделирования изменчивости содержания компонентов ПИ в границах рудных тел является блочная конструкция. Существуют проверенные многолетней практикой рекомендации по выбору оптимальных параметров блочных моделей [150] и интерполяции данных опробования. Исходя из необходимости решения задач оценки содержания компонентов ПИ на разных стадиях освоения месторождения, в GEOTECH-3D создан набор инструментов, обеспечивающий подобные расчёты применительно к рудным телам, геологическим блокам и выемочным единицам. Для этих целей реализованы методы: метро-процентов, обратных расстояний, кригинг. Реализация последнего метода является методически и инструментально наиболее сложной, поэтому чаще всего используется на стадиях изучения месторождения и проектирования горного предприятия. Использованию процедуры кригинга предшествуют геостатистические исследования, которые представлены набором интерактивно управляемых инструментов (рисунок 5.5), обеспечивающих подбор вариограмм (одноструктурных и двухструктурных) и через это установление математической зависимости влияния соседних проб на исследуемую точку с учётом анизотропии этого влияния.

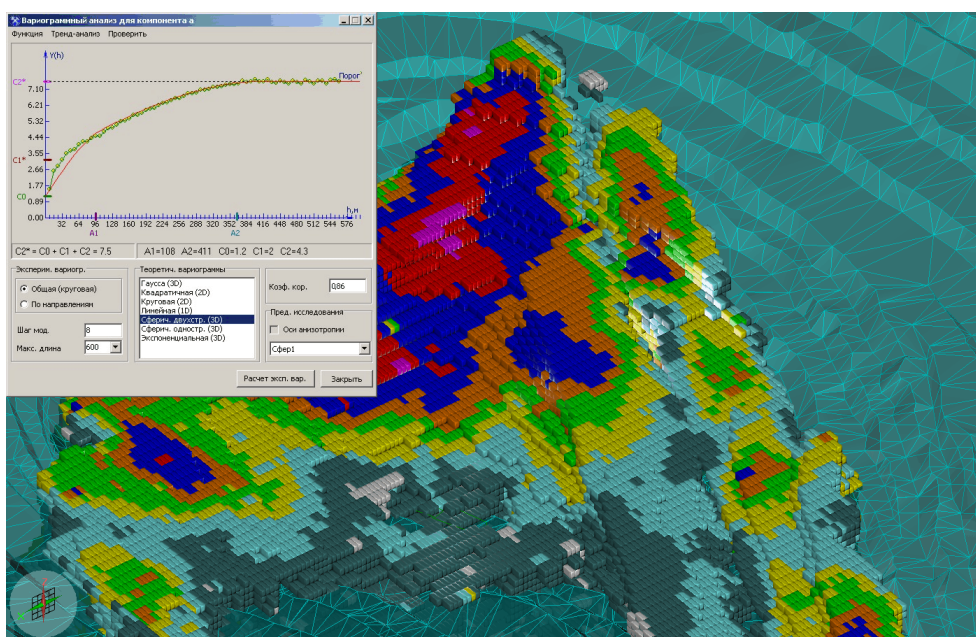


Рисунок 5.5 – Блочная модель рудного тела (в границах карьера и), полученная в результате геостатистического исследования и применения процедуры кригинга

Полученные с использованием перечисленных выше инструментов каркасные и блочные модели могут быть проверены путем построения характерных разрезов с выносом на эти разрезы близлежащих проб, что позволяет визуально оценить результаты блочного моделирования.

Оптимизация бортового содержания ПИ, определение производственной мощности и границ открытой разработки являются тесно связанными задачами, определяющими количество и качество отрабатываемых запасов, производительность и продолжительность функционирования горного предприятия. Для решения этих задач используются блочные модели рудных тел, на основе которых разработаны инструменты оптимизации границ карьера по методу профессора Коробова С.Д. Исходными данными для оптимизации, наряду с блочными моделями, несущими информацию о качественных характеристиках ПИ, являются показатели экономической ценности извлекаемого ПИ, зависящие от природных и технологических факторов [225].

Важной исследовательской работой является горно-геометрический анализ, включающий в себя оптимизацию направления развития горных работ, обоснование режима горных работ и календарного плана. Математическое обеспечение дает инструменты для поиска оптимального решения этих задач с максимизацией экономических результатов открытой разработки. Для этого необходимы модель месторождения, модель топографической поверхности района ведения горных работ, модель конечных контуров карьера, модель рабочей зоны. С использованием этих моделей и применением специальных алгоритмов решаются задачи обоснования кондиций на ПИ, расчета технологических потерь и разубоживания.

Одним из основных параметров карьера, оказывающим определяющее влияние на его глубину, является угол наклона борта карьера. При его определении необходимо учитывать геолого-структурное строение месторождения, включающее в себя информацию об упруго-прочностных характеристиках пород, местоположении разломов, ослаблений и ориентации систем трещин. Достигается это созданием геолого-структурной модели, в основе которой лежит разбиение месторождения на однородные по характеристикам геолого-структурные блоки. Исходя из вариантов конечного контура карьера, методом последовательного приближения с использованием разработанной в Горном институте КНЦ РАН методики [226] определяются оптимальные углы наклона борта карьера для различных геолого-структурных блоков месторождения.

Существующая тенденция увеличения глубины карьеров и подземных рудников выдвигает повышенные требования к геомеханической оценке состояния массива вокруг карьерной выемки и комплекса подземных выработок. Для расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) массива и прогноза возможных динамических явлений вблизи открытых и подземных выработок формируется геомеханическая модель. Результаты численных расчётов НДС, выполненных с помощью программного комплекса SIGMA-3D (рисунок 5.6), выносятся на модель месторождения, что позволяет уже на стадии изучения месторождения принимать обоснованные технологические решения.

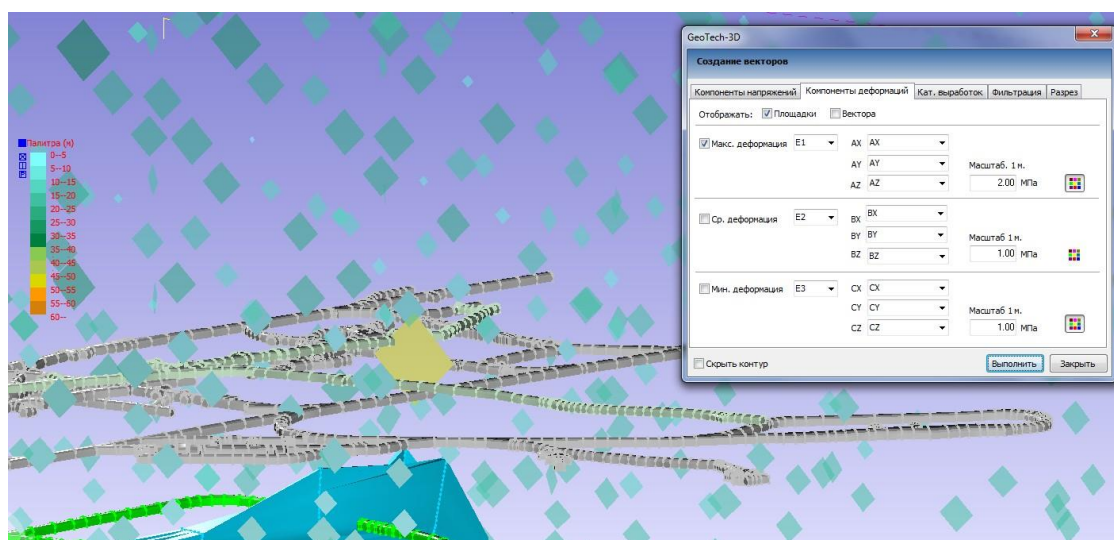


Рисунок 5.6 – Отображение максимальной компоненты деформаций в 3D пространстве подземного рудника

Таким образом, созданные на стадии изучения месторождения цифровые модели служат основой для проведения работ следующей стадии.

Стадия проектирования горнодобывающего предприятия

Результатом выполнения проектных работ является создание моделей объектов горной технологии, отражающих этапы развития горных работ, и выпуск технической документации, обеспечивающей их реализацию. Технологические решения базируются на цифровых моделях, полученных на стадии изучения месторождения. На стадии проектирования некоторые задачи повторяют стадию изучения, но решаются с большей детализацией на основании справочной нормативно-сметной документации. БД при этом наполняется моделями карьера и объектов инфраструктуры, обеспечивающих функционирование горнодобывающего предприятия (рисунок 5.7).

Для создания моделей проектируемых объектов используются инструменты геометрического моделирования, обеспечивающие формирование конструктивных элементов бортов карьера, траншей, насыпей, отвалов, рудных складов, объектов промплощадки. С их помощью решаются такие задачи, как: проектирование бортов

карьеров с параметрами заданной конструкции; формирование схемы вскрытия и транспортных коммуникаций; определение объемов добываемого ПИ, отработываемых и отсыпаемых в отвалы вскрышных пород. Модели объектов визуализируются в трехмерном пространстве, а инструменты построения разрезов упрощают контроль над технологическими решениями и обеспечивают быстрое формирование рабочих чертежей. На основе повариантного моделирования осуществляется обоснование производственной

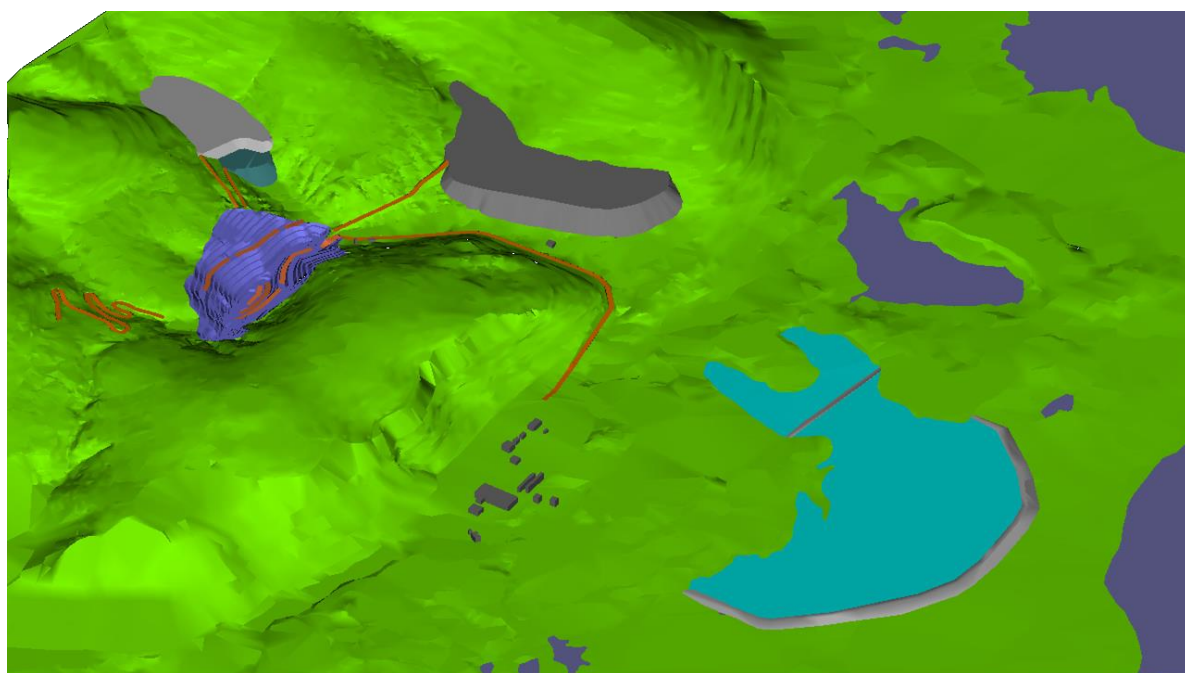


Рисунок 5.7 – Моделирование топоповерхности, карьера, отвалов и объектов инфраструктуры

мощности карьера и календарного плана, проектирование вскрытия и отвалообразования.

Инструменты генерации рабочих чертежей в соответствии со стандартами горной графики позволяют перейти от трехмерных цифровых моделей объектов горной технологии к их планам и разрезам.

Процесс проектирования можно рассмотреть на примере общего алгоритма решения основных задач горной части проекта карьера. «В его основе лежит многошаговый процесс поиска совокупности оптимальных решений отдельных задач с учетом их взаимодействия посредством механизма обратных связей с поэтапным приближением к итоговому решению» [241], (рисунок 5.8).



Рисунок 5.8 – Алгоритм решения основных задач горной части проекта карьера

Рассмотрим некоторые задачи входящие в эту схему с точки зрения использования моделей объектов горной технологии и инструментов ГГИС MINEFRAME.

Задача № 1 требует подготовки блочной геологической модели месторождения, модель должна включать оценку содержаний полезных/вредных компонентов. Для создания такой модели необходимо использование инструментов векторного, триангуляционного и блочного моделирования, интерполяционных алгоритмов основанных на геостатистических исследованиях и кригинге, или более простых методах дистанционного взвешивания (ближайших соседей, обратные степенные расстояния).

Задача № 2 решается с использованием инструментов расчета экономической модели месторождения, здесь происходит преобразование геологических данных (содержаний, физико-механических свойств пород), горно-геологических условий разработки, экономических условий рынка добываемого сырья в стоимостную оценку каждого блока блочной модели. Экономическая модель поступает на вход процедуры оптимизации границ карьеров, также здесь задаются предельные углы наклона конечного борта. Полученные в результате оптимизации границы, в виде погоризонтных контуров, необходимо преобразовать в линии бровок карьера и систему внутрикарьерных дорог с помощью инструментов редактирования векторных моделей, построения эквидистантных контуров и съездов. В результате будет получен вариант конечных или этапных контуров карьера.

Задача № 3 является подзадачей для многих других процессов и обеспечивает расчет объемных и качественных показателей ПИ и объемов вскрышных пород с использованием триангуляционных и блочных моделей объектов геологической среды и триангуляционной модели карьера. Расчет ведется для двух положений земной поверхности – это могут быть первоначальная топографическая поверхность на момент начала горных работ и положение карьера, или два положения карьера – для различных этапов разработки. Для расчета могут быть использованы методы палетки, разрезов и подсчета по блочной модели.

Задачи № 4 и 5 решаются посредством анализа изменения объемных показателей рассматриваемых вариантов углов рабочего борта, заложения траншей и порядка разработки месторождения, выбора оптимальных направления углубки и развития горных работ в контуре карьера. Расчеты объёмов, качества ПИ, коэффициентов вскрыши, показателей потерь и разубоживания, присущих каждому варианту производятся с помощью средств решения задачи № 3.

Подобным образом с помощью вариантного подхода могут быть решены и задачи № 6, 7, 8, 12, 14. Для задачи № 12 необходим анализ моделей топографической поверхности окружающей карьер для выбора места размещения отвалов. При анализе вариантов развития отвалов, подбора высоты ярусов также используются методы расчета объемов между двумя моделями поверхности – дневной поверхности и отвала, либо различными положениями отвалов. Инструменты построения насыпей и ярусов отвалов позволяют конструировать необходимые формы отвалов, в том числе и нагорных.

Решение задач обоснования структуры комплексной механизации (№ 9, 10) связано с анализом горно-технических условий разработки месторождения. Здесь модели геологической среды являются источником сведений о физико-механических свойствах пород, их распределении по глубине и в пространстве конечного борта карьера. Для расчета транспорта необходима модель транспортных коммуникаций, характеризующая каждый участок (длина, уклон, тип покрытия). Данные о горно-транспортном оборудовании хранятся в БД MINEGEAR, что позволяет подбирать оборудование по производительности, геометрическим параметрам, эксплуатационным характеристикам.

Задача № 11 решается с использованием модели карьера и окружающего его рельефа. Определение зон выброса вредных веществ из чаши карьера, определения влияния взрывных работ осуществляется с помощью соответствующих модулей ГГИС или стороннего ПО, использующего методы вычислительной гидродинамики для расчета площадей и прогноза интенсивности загрязнения.

Задача № 13 решается с помощью средств генерации горной графической документации. Для ее создания необходимы модели карьеров на момент сдачи в эксплуатацию, конец разработки и принятые расчетные годы. Программные средства включают такие инструменты, как классификатор типов графических объектов, шаблоны чертежей, средства импорта и экспорта графики.

Задача № 15 является, по сути, совокупной экономической оценкой принятых решений вышеупомянутых задач. Конкурентная сравнительная экономическая оценка вариантов решений приводит к наилучшим решениям отдельных задач и проекта в целом – задача №16.

Стадия функционирования горнодобывающего предприятия

Функционирование горнодобывающего предприятия связано с реализацией проектных решений, представленных соответствующими моделями объектов горной технологии. Эти же решения являются основой для планирования, где важными элементами инженерного обеспечения горных работ является деятельность маркшейдерской и геологической служб, обеспечивающих технологов информацией о горно-геологической обстановке.

Основными задачами маркшейдерской службы являются пространственная привязка объектов горной технологии и контроль точности реализации проектных решений. Эта работа осуществляется с использованием моделей проектных и фактических объектов путём решения стандартных маркшейдерских задач. Задачи решаются на основе каталога (моделей) маркшейдерских точек, а результат визуализируется в трёхмерном пространстве, что облегчает контроль над результатами расчётов. С использованием цифровых моделей естественных и технологических поверхностей достаточно быстро решаются такие трудоемкие задачи, как подсчеты площадей, определение объемов ПИ и вскрышных пород между последовательными положениями карьеров, отвалов, рудных складов.

Основными задачами геологической службы является: пополнение БД опробования данными эксплуатационной разведки, корректировка моделей рудных тел, определение качественных характеристик вовлеченных в отработку блоков и уступов. Для получения детальной картины распределения ПИ в границах выемочных единиц (рисунок 5.9) могут привлекаться данные опробования, полученные при бурении взрывных скважин. Использование уточненных моделей объектов геологической среды позволяет делать более точный прогноз геометрии рудных тел и качества ПИ, подлежащего выемке.

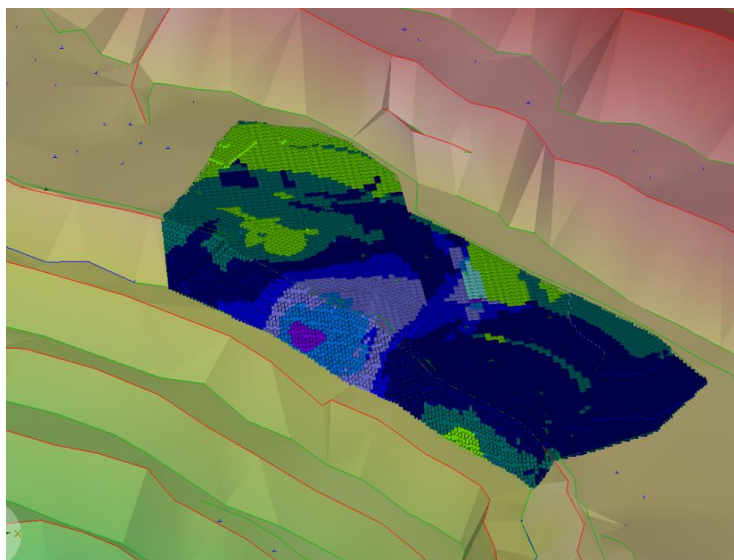


Рисунок 5.9 – Распределения содержания P_2O_5 в границах взрывного блока

Планирование задаёт последовательность реализации проектных решений на основе уточнённых моделей горно-геологической обстановки. Для решения задач планирования предназначены инструменты моделирования выемочных единиц и вариантной оценки их объёмных и качественных показателей. В моделях выемочных единиц содержится информация об объеме и

содержании ПИ с разбивкой на разновидности горных пород, представленных моделями геологических объектов.

По мере уменьшения срока планирования повышается его детальность. Так в режиме месячного планирования формируется график расстановки оборудования, что реализуется с помощью инструментов, обеспечивающих работу с БД горного оборудования и информацией о размещении экскаваторов и буровых станков по горизонтам карьера. В графике отображаются данные: о состоянии оборудования (работа, ремонт, перегон и пр.); объемах горной массы и руды, добытых конкретным экскаватором с каждого горизонта; метраже скважин пробуренных буровым станком.

Инструменты сменно-суточного планирования помогают обеспечить оптимальную нагрузку на добычной забой при соблюдении плановых качественных характеристик суммарного грузопотока. Для автоматизации решения такого рода задач используются модели выемочных единиц и экскаваторных заходов [227].

Для управления горными работами необходима оперативная и достоверная информация о технологических и техногенных процессах. Для получения этой информации используются системы мониторинга. В MINEFRAME реализована работа с двумя видами мониторинга: карьерного транспорта и сейсмических событий. Применительно к решению задач горной технологии мониторинг карьерного транспорта, используемый совместно с инструментами сменно-суточного планирования, позволяет выйти на решение задачи оперативного управления объёмными и качественными показателями перемещаемой горной массы. Мониторинг сейсмических событий (СС), дающий информацию о месте и степени разрушения массива горных пород, позволяет

путём применение алгоритмов обработки СС выделить потенциально опасные зоны для ведения горных работ [228].

Ведение открытых и подземных горных работ, как правило, связано с использованием массовых взрывов, которые являются одним из самых сложных, трудоёмких и ответственных технологических процессов. Для автоматизации процесса проектирования МВ с использованием моделей геологических и технологических объектов разработаны инструменты: формирования взрывного блока или секции; задания конструкции скважинных зарядов; размещения скважинных зарядов в границах взрывного блока; формирования схемы коммутации и комплекта технологической документации; формирования границы отбойки (рисунок 5.10).

Проблемы, связанные с внедрением компьютерных технологий

Приведённое выше краткое описание методов компьютерного решения горно-геологических задач на разных стадиях освоения месторождения показывает насколько

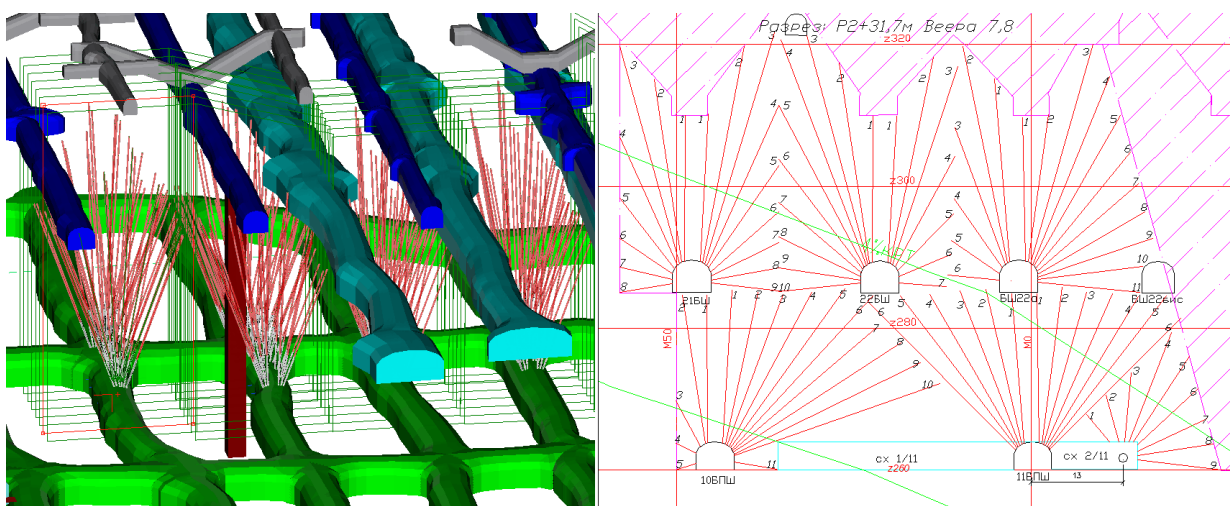


Рисунок 5.10 – Проектирование подземных МВ на основе моделирования объектов горной технологии и автоматизированного формирования технологической важно использование единой информационной основы для обеспечения технологичности работы с цифровой информацией. Уходящая в прошлое практика использования в качестве информационной основы бумажных носителей не была так требовательна к стандартизации информации в силу необходимости её постоянного копирования при передаче организациям и службам, осуществляющим инженерное обеспечение геологоразведочных и горных работ.

Отсутствие единых стандартов на хранение и обмен информацией в компьютерных технологиях приводит к многочисленным конвертациям данных, к их дублированию, возможным потерям или искажениям. Подходы, основанные на современных технологиях доступа к единой БД, в том числе и посредством глобальных сетей, должны помочь

преодолению этих препятствий и послужить интегрирующей силой, ведущей к повышению эффективности проведения совместных работ.

Известную сложность представляет многообразие и многочисленность организаций, начиная с геологоразведочных партий, исследовательских и проектных институтов, до инженерно-технических служб самого горного предприятия, которые взаимодействуют на разных стадиях жизненного цикла горного предприятия. Эти организации удалены друг от друга территориально, принадлежат разным ведомствам, и зачастую работы их разделены значительными временными периодами. Подходы, основанные на современных технологиях доступа к единой базе данных посредством глобальных сетей, должны помочь преодолению этих препятствий и послужить интегрирующей силой, ведущей к повышению эффективности проведения совместных работ.

Весьма важным является и отставание нормативной базы, регламентирующей работу инженерных подразделений горных предприятий. Как минимум, это выливается в необходимость вести документацию и в бумажном и в электронном виде, как максимум – в ручной проверке автоматизированных методов расчетов, что приводит к дополнительной работе и к отрицательному отношению к компьютерным методам обработки информации, как приводящим лишь к дополнительным потерям рабочего времени. Следует отметить, что контролирующие органы, как правило, не располагают соответствующими программными продуктами, позволяющими им работать в едином с предприятиями формате данных.

5.3 Особенности внедрения ГГИС на горном предприятии

Техническое предложение поставщика ГГИС должно быть комплексным, раскрывающим уникальность и надежность предлагаемых решений и включать описание:

- подхода к организации проекта внедрения ГГИС, сроков внедрения, оценки стоимости,
- предлагаемой платформы (платформ),
- предлагаемого набора модулей и лицензий (включая варианты лицензирования),
- предлагаемого состава и метрик технической поддержки,
- планируемой целевой инфраструктуры.

Процесс внедрения ГГИС на горном предприятии можно разделить на несколько этапов, от их состава и объемов работ зависят сроки выполнения проекта и оказания услуг по настройке, адаптации и сопровождению ПО – таблица 5.1.

Таблица 5.1 – Этапы внедрения ГГИС

№	Наименование этапа	Перечень работ по этапу	Отчетные документы этапа
1	2	3	4
1	Организация проекта	1. Знакомство с горным предприятием, изучения технологического процесса. 2. Создания группы внедрения из специалистов горного предприятия. 3. Разработка регламента взаимодействия группы внедрения заказчика и группой внедрения исполнителя. 4. Организация рабочего пространства на территории заказчика.	Протокол и акт сдачи-приемки работ
2	Обследование (уточнение функциональных и технических требований к ГГИС)	1. Оформление, согласование и утверждение технического задания на ГГИС и, при необходимости, технических заданий на части ГГИС. 2. Выделение перечня функциональных подсистем, отдельных функций или задач. 3. Составление временного регламента реализации функциональных требований для поэтапного активирования работ. 4. Составление требований к качеству реализации каждого функционального требования, к форме представления выходной информации, характеристики необходимой точности и времени выполнения. 5. Условие и ограничения, при которых соблюдаются требования надёжности и доступности	Проект укрупненного технического решения ГГИС и акт сдачи-приемки работ
3	Проектирование/разработка архитектуры и технического проекта ГГИС	1. Разработка проектных решений по системе и её частям, функционально-алгоритмической структуре системы, по функциям персонала и организационной структуре, по структуре технических средств, по алгоритмам решения задач и применяемым языкам, по организации и ведению информационной базы, системе классификации и кодирования информации, по программному обеспечению, технической поддержке. 2. Разработка заданий на проектирование в смежных частях проекта ГГИС. Разработка, оформление, согласование и утверждение заданий на проектирование в смежных частях	Технический проект ГГИС. Методика предварительных испытаний. Методика приемных испытаний. Акт сдачи-приемки работ.

		проекта объекта автоматизации. 3. Разработка методики испытаний (предварительных, приемных).	
4	Разработка и внедрение ГГИС в пилотном подразделении: 4.1. Создание единой цифровой геолого-маркшейдерской модели и хранилища данных 4.2. Разработка, адаптация и внедрение ГГИС в соответствии с ТЗ на пилотном подразделении	1. Разработка программ и программных средств системы, выбор, адаптация и (или) привязка приобретаемых программных средств, разработка программной документации в соответствии с перечнем функциональных подсистем, отдельных функций или задач. 2. Создание единой цифровой геолого-маркшейдерской модели для пилотного подразделения. 3. Обеспечение подразделений Заказчика инструктивно-методическими материалами; внедрение классификаторов информации. 4. Комплектация ГГИС поставляемыми программными и техническими средствами, программно-техническими комплексами, информационными изделиями. 5. Испытание смонтированных технических средств; сдача технических средств для проведения пусконаладочных работ. 6. Подготовка персонала - обучение персонала и проверка его способности обеспечить функционирование ГГИС. 7. Устранения замечаний.	Акты на «функциональные подсистемы, отдельных функций или задач, вводимых в действие согласно очереди ввода». Акт о создании единой цифровой геолого-маркшейдерской модели. Акт о поставке аппаратного оборудования. Акт о вводе в эксплуатацию аппаратной части ГГИС. Акт о подготовке персонала в пределах одного рудника, шахты, разреза. Акт сдачи-приемки работ.
5	Тиражирование/внедрение ГГИС на остальных подразделениях	1. Создание единой цифровой геолого-маркшейдерской модели на оставшихся подразделениях. 2. Испытания ГГИС на работоспособность и соответствие техническому заданию в соответствии с программой и методикой предварительных испытаний. 3. Устранение неисправностей и внесение изменений в документацию на ГГИС, в том числе эксплуатационную в соответствии с протоколом испытаний. 4. Подготовка персонала - обучение персонала и проверка его способности обеспечить функционирование ГГИС.	Акт о приёмке ГГИС в опытную эксплуатацию. Акт сдачи-приемки работ.
6	Опытная эксплуатация на остальных подразделениях	1. Эксплуатация системы в производственных условиях. 3. Доработка (при необходимости) программного обеспечения ГГИС и исправление ошибок.	Перечни замечаний по работе системы, выявленные в процессе опытной эксплуатации - готовит

		4.Дополнительная наладка (при необходимости) технических средств ГГИС.	заказчик. Акты об устранении замечаний. Акт о завершении опытной эксплуатации.
7	Стабилизация	1. Испытания системы в соответствии с методикой приёмочных испытаний. 2. Анализ результатов испытания ГГИС и устранение недостатков, выявленных при испытаниях.	Протоколы результатов проведенных испытаний. Акты об устранении недостатков. Акт о приемке ГГИС в постоянную эксплуатацию.
8	Техническая поддержка	Работы по технической поддержке и сопровождению согласно ТЗ.	Акты сдачи-приемки работ.

Можно выделить следующие задачи проекта внедрения ГГИС:

- Модификация существующего ПО (геология, маркшейдерия, проектирование и планирование горных работ, мониторинг природных и техногенных процессов);
- Модификация и разработка средств работы с БД и электронного архива;
- Доработка средств безопасности, аудита и разграничения прав доступа;
- Разработка средств интеграции с используемыми бизнес-приложениями.

В современных условиях преимущества трехмерного подхода к решению задач горной технологии получают все большее понимание. Поэтому необходимо выделить группу задач по переходу от традиционного плоскостного представления горно-геологической информации к трехмерному:

- Переход от плоских карт, планов, разрезов и схем к 3D моделям объектов горной технологии;
- Анализ и визуализация 3D моделей;
- Реализация автоматических и автоматизированных инструментов, оптимизирующих решение технологических задач на основе 3D моделирования;
- Реализация 3D заданий на бурение, взрывание, проходку, очистные, закладочные и др. виды работ;
- Генерация карт, разрезов, проекций из совокупности 3D моделей для подготовки горной графики;
- 3D+ моделирование – введение шкал (измерений) времени, ресурсов, затрат, доходов, становящимися дополнительными измерениями.

Успешность внедрения ГГИС на предприятии не должна зависеть от наличия технологических энтузиастов. Необходимо формировать группу внедрения, состоящую из мотивированных сотрудников предприятия, на которых возлагаются следующие задачи:

- Взаимодействие с исполнителем – поставщиком ГГИС;
- Проверка ПО на соответствие ТЗ;
- Реализация пилотного проекта;
- Контроль исполнения проекта внедрения по этапам;
- Импорт исторических цифровых данных;
- Оцифровка и ввод в БД исторических документов на твердых носителях;
- Обучение и консультирование конечных пользователей.

ГГИС должна формировать отчетность соответствующую основным технологическим процессам ведения горных работ, в соответствии с основными требованиями к отчетности:

- Отчетность должна формироваться на единых данных геологических, маркшейдерских, технологических служб;
- Отчетность и расчеты, регламентируемые государственными организациями, должны соответствовать требованиям нормативных документов;
- Необходим конструктор табличных отчетов с возможностью добавления различных показателей, столбцов; фильтрации и выборки данных;
- Возможность формирования графиков средствами ГГИС;
- Возможность экспорта отчетных материалов в приложения MS Office или другие распространённые форматы;
- ГГИС должна уметь строить горно-геологические разрезы по произвольным линиям;
- Возможность делать выборки по ОГТ или значениям их параметров;
- Возможность формировать отчеты по планам, паспортам, проектам;
- Возможность формирования отчетности по комплексам оборудования основных технологических процессов;
- Возможность формирования отчетов по сравнению плановых и фактических технологических показателей;
- Формирование основных таблиц и расчетов для подсчета запасов;
- Формирование отчетности по рудопотокам, усреднению качества ПИ.

Таким образом, основными особенностями освоения ГГИС на горных предприятиях являются сложный, многоэтапный план внедрения, необходимость наличия

группы внедрения, и комплекс мер по переходу от традиционного плоскостного представления геологической и технологической документации к трёхмерному моделированию и формированию на этой основе текстовой и графической документации.

5.4 Автоматизированные рабочие места ГГИС

Организация и функционал рабочих мест системы должен обеспечивать автоматизацию процесса инженерного обеспечения при ведении открытых и подземных горных работ. ГГИС обеспечивает комплексное решение горно-геологических задач, позволяет формировать единое информационное пространство, обеспечивает создание и хранение моделей объектов горной технологии посредством единообразных программных средств для работы с моделями ОГТ. Внедрение системы в инженерную практику горного предприятия подразумевает приобретение ПО, его настройку и адаптацию для всех разновидностей рабочих мест, обеспечивает переход предприятия на компьютерную технологию инженерного обеспечения горных работ.

Рабочие места MINEFRAME функционируют как в локальном, так и в сетевом, многопользовательском вариантах. Настройка на тот или иной вариант функционирования осуществляется с помощью программы GEOUSERS. Функциональное наполнение каждого рабочего места строится на ограниченном подмножестве инструментов системы и определяется БД рабочих мест, которая, в свою очередь, связана с электронными ключами MINEFRAME. Некоторые функции имеются во всех рабочих местах.

Автоматизированное рабочее место геолога предназначено для автоматизации основных операций, выполняемых геологической службой горнодобывающего предприятия (геологическое опробование, моделирование рудных тел и т. д.). Отличительной чертой является наличие редактора GEOTOOLS для ведения базы данных скважинного, бороздового и шламового геологического опробования. Многооконный интерфейс позволяет гибко настраивать редактор на конкретный вид работы, а наличие редактируемого списка, характерных для месторождения типов пород и диапазона возможных содержаний компонентов полезного ископаемого, ускоряет процесс ввода данных с автоматизированным контролем ошибок. Реализованы инструменты геостатистического исследования, включая первоначальный анализ геологических данных: расчет гистограммы распределений значений геологического опробования по классам, построение графика накопленных частот, подбор законов распределения данных и определение основных статистических параметров.

Также имеется возможность анализа и корректировки «ураганных» значений. Основным инструментом является вариограммный анализ, включающий в себя расчет омни-полувариограммы, подбор теоретической модели (эффект самородков, линейной, квадратичной, сферической, круговой, экспоненциальной и гауссовой), проведение тренд-анализа данных, расчет вариограмм по направлениям с выявлением осей анизотропии и выполнение перекрестной проверки полученных результатов. Методы пространственной интерполяции данных представлены обычным кригингом и методом обратных квадратичных расстояний.

Автоматизированное рабочее место Маркшейдера предназначено для автоматизации основных операций, выполняемых маркшейдерской службой горнодобывающего предприятия. Особенностью рабочего места маркшейдера является наличие модуля Маркшейдерского редактора, который предназначен для ведения БД (каталога) точек съемочного маркшейдерского обоснования, обработки результатов тахеометрической и теодолитной съемки, определения координат точки методом прямой и обратной засечки, расчета и уравнивания теодолитных ходов. Редактор реализован как инструмент GEOTECH-3D, что позволяет визуализировать, как сами маркшейдерские точки, так и результаты геометрических построений на их основе. Каждая маркшейдерская точка содержит поля с идентифицирующей ее информацией. Маркшейдерские точки могут быть представлены в виде журнала и отображены в моделируемом пространстве.

Рабочее место технолога строится на работе с БД моделей объектов горной технологии и моделей конструктивных элементов и узлов в среде GEOTECH-3D. Для удобства работы с моделями горных объектов месторождение может «разбиваться» на элементы системы разработки (горизонты, блоки и т.д.), совокупность которых представляет технологическую структуру месторождения. Управление этой структурой осуществляется через «дерево» - иерархический список элементов системы разработки, а вызов соответствующего элемента приводит к формированию «дерева» объектов, которые размещаются в заданных технологических границах.

Рабочее место технолога ОГР предназначено для автоматизации основных операций, выполняемых техническими отделами горнодобывающего предприятия при планировании, проектировании и оптимизации открытых горных работ и проектировании массовых взрывов.

Автоматизированные методы планирования составляют комплекс инструментов, которые позволяют выстроить последовательность планирующих операций от горно-геометрического анализа до квартального и месячного планирования горных работ,

оперативного управления качеством рудопотоков. Они учитывают объемное распределение полезного ископаемого, его качество и сортность, виды вскрышных пород, позволяют более точно и быстро проводить горно-геометрический анализ, получать рациональные направления развития и планы горных работ.

Рабочее место технолога ПГР предназначено для автоматизации основных операций, выполняемых техническими отделами горнодобывающего предприятия при проектировании и планировании подземных горных работ, проектировании массовых взрывов, мониторинге сейсмических событий.

Основной функционал рабочих мест показан в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Состав инструментов рабочих мест MINEFRAME

№	Инструмент	Геол.	Маркш.	Технолог ОГР	Технолог ПГР	Адм.
1	Создание и редактирование трехмерных векторных, каркасных и блочных моделей объектов горной технологии. Группировка объектов.	•	•	•	•	
2	Операции с точками, отрезками, контурами.	•	•	•	•	
3	Построение эквидистантных контуров.	•	•	•	•	
4	Построение проекций контуров (с произвольным углом наклона проецирования) на каркасные модели и плоскости.	•	•	•	•	
5	Интерполяция высотных отметок контуров.	•	•	•	•	
6	Пересечения и объединения контуров.	•	•	•	•	
7	Автоматизированный поиск и исправление ошибок при ручном вводе и импорте векторных моделей.	•	•	•	•	
8	Создание сеточных моделей.	•		•	•	
9	Проверка корректности построения каркасных моделей. Проверка каркасных моделей на пересечение.	•	•	•	•	
10	Объединение и переблокировка блочных моделей.	•		•	•	
11	Работа с блочной моделью как с таблицей, вычисление характеристик, фильтрация блоков по пространственным и качественным условиям, по вхождению/не вхождению в пространственные объекты.	•		•	•	
12	Загрузка моделей из базы данных с возможностью фильтрации объектов по технологическим областям (крылья, горизонты, блоки, подэтажи и т.д.).	•	•	•	•	
13	Визуализация моделей объектов в виде	•	•	•	•	

	векторных и твердотельных изображений. Придание моделям различной степени прозрачности.					
14	Формирование разрезов. Разрезы могут иметь любую ориентацию и создаваться в интерактивном режиме по одной, двум и трем точкам, по профилям и разведочным линиям. На плоскости разрезов может накладываться геодезическая и рудничная координатные сетки.	•	•	•	•	
15	Сохранение видов и разрезов, управление ими через менеджер объектов.	•	•	•	•	
16	Импорт и экспорт моделей из файлов формата TXT, KDR, DXF, GTM, а также из других баз данных системы.	•	•	•	•	
17	Редакторы типов линий и штриховок, шаблонов чертежей, штампов, символов.	•	•	•	•	
18	Редактор координатных сеток.	•	•	•	•	
19	Построение примитивов: прямоугольник, круг, эллипс, дуга, полилиния, метка.	•	•	•	•	
20	Инструменты измерений: выровненное, линейное, угловое.	•	•	•	•	
21	Подготовка и вывод на печать графической информации как с помощью собственных средств, так и экспортом данных в AUTOCAD. Использование типовых шаблонов экспорта.	•	•	•	•	
22	Импорт данных из файлов в форматах TXT, KDR, GTM.	•	•	•	•	
23	Файлы формата DXF версий AutoCAD 2004.	•	•	•	•	
24	Загрузка черно-белых и цветных растровых файлов формата BMP, JPG.	•	•	•	•	
25	Загрузка растровых файлов, подготовленных в Transform (файлы формата *.TIE).	•	•	•	•	
26	Ввод данных опробования месторождения (скважинное, бороздовое, шламовое).	•				
27	Импорт данных опробования из файлов формата TXT, XLS, баз данных MS Access.	•				
28	Экспорт данных по опробованию в файлы формата TXT, XLS.	•				
29	Выделение кондиционных интервалов и сортов ПИ.	•				
30	Представление данных опробования в	•				

	форме «Журнала опробования», «Диаграммы содержаний» и «Кондиционных интервалов», «Сортов ПИ», геологической колонки.					
31	Сортировка и поиск данных (скважин, выработок, проб).	•				
32	Сравнение и слияние баз данных опробования.	•				
33	Автоматический поиск и индикация ошибок ввода данных опробования.	•				
34	Формирование отчетной документации с экспортом файлов формата TXT, MS EXCEL.	•				
35	Загрузка данных опробования с выбором необходимых компонентов, фильтрацией по профилям, блокам, типам данных разведки, по геологическим объектам (телам) (загрузка опробования внутри/вне тел).	•				
36	Пополнение базы данных опробования с использованием моделей горных выработок. Ввод координат устьев скважин по маркшейдерской съемке.	•				
37	Визуализация моделей проб с использованием цветовой легенды для отображения содержания нескольких компонентов полезного ископаемого, рудных интервалов, характеристик и типов пород, в виде отрезков и гистограммы содержания текущего компонента.	•				
38	Визуализация в прозрачном режиме, с регулировкой прозрачности отображения, проб, не попадающих в геологические тела.	•				
39	Отображения траекторий скважин и их устьев, наименований скважин/выработок, номеров проб, значений содержаний или других характеристик проб и их наборов.	•				
40	Формирование моделей разведочных линий с построением соответствующих разрезов.	•				
41	Построение модели пласта по выделенным кондиционным интервалам полезного ископаемого, по литологическим типам пород.	•				
42	Построение изолиний мощности полезного ископаемого.	•				
43	Формирование блочной модели геологического тела с возможностью	•				

	субблокирования.					
44	Подсчет запасов методом разрезов.	•				
45	Расчет содержаний компонентов полезного ископаемого методом обратных расстояний.	•				
46	Расчет содержаний компонентов полезного ископаемого методом ближайшей пробы.	•				
47	Выделение категорий запасов по шаблону CRIRSCO.	•				
48	Подсчет объемных и качественных показателей выемочных единиц по блочным моделям рудных тел и с помощью метода метро-процентов. Вычисление объемов, относящихся к различным геологическим телам и пустым породам.	•				
49	Формирование геологических разрезов с отображением на них блочной структуры тел.	•				
50	Сохранение видов и разрезов, управление ими через менеджер объектов.	•				
51	Расчет статистических параметров опробования.	•				
52	Поиск ураганных проб и корректировка их влияния на подсчет запасов.	•				
53	Построение гистограмм распределения содержаний компонентов полезного ископаемого по классам.	•				
54	Построение экспериментальных и подбор теоретических вариограмм, выявление пространственной анизотропии данных и размеров зон влияния проб, проведение тренд-анализа.	•				
55	Проверка модели пространственного распределения содержаний с помощью процедуры перекрестной проверки.	•				
56	Расчет содержаний компонентов полезного ископаемого с применением процедуры кригинга.	•				
57	Ведение базы данных точек маркшейдерского обоснования.		•			
58	Визуализация точек маркшейдерского обоснования в трехмерном пространстве, на планах и вертикальных разрезах.		•			
59	Определение координат точки методом прямой и обратной засечек с оценкой точности и визуализацией результатов		•			

	расчета.					
60	Расчет и уравнивание теодолитного хода с формированием журнала и схемы хода, решение прямой и обратной геодезической задачи.		•			
61	Расчет и уравнивание нивелирных ходов.		•			
62	Обработка результатов тахеометрической съемки. Корректировка на ее основе моделей естественных и технологических поверхностей, включая карьеры и штабели горной массы.		•			
63	Построение подземных выработок по тахеометрической съемке.		•			
64	Формирование пикетажа и вывод его на печать.		•			
65	Построение профилей по линии с выводом результатов профилирования на печать.		•			
66	Построение профилей подземных выработок с выводом результатов профилирования на печать.		•			
67	Определение объемов полезного ископаемого и вскрышных пород между двумя положениями карьера методом объемной палетки и методом разрезов.		•			
68	Расчет объёма за календарный период с возможностью выбора выработки за указанный календарный период.		•			
69	Построение модели выработанного пространства при ведении открытых и подземных горных работ.		•			
70	Импорт данных, полученных с электронных тахеометров, в форматах — Nikon (RAW), Leica (GRE), Topcon (GTS7), Trimble (Rec500), YOM3 (3Ta5), Geodimetr (JOB, GDT), Sokkia (SDR).		•			
71	Импорт точек из текстовых файлов в произвольных форматах, настраиваемых пользователем.		•			
72	Интерактивное создание моделей подземных горных выработок на основе векторизованных маркшейдерских планшетов.		•			
73	Моделирование проходки подземных горных выработок на основе данных маркшейдерской съемки.		•			
74	Построение моделей подземных горных выработок по тахеометрической съемке.		•			
75	Визуализация результатов проходки		•			

	горных выработок за заданный период.					
76	Корректировка формы сечений подземных горных выработок, присвоение признака того или иного типа крепления.		•			
77	Инструменты автоматизированного инженерного обеспечения закладочных работ.		•		•	
78	Импорт точек из текстовых файлов в произвольных форматах, настраиваемых пользователем.		•			
79	Построение борта карьера с вписыванием системы транспортных коммуникаций.			•		
80	Конструирование траншей, полутраншей и насыпей с подсчетом объемов вынимаемой и насыпаемой горной массы.			•		
81	Планирование ОГР методом вертикальных сечений для различных условий и систем разработки.			•		
82	Построение моделей выемочных единиц (прирезок) с расчетом их объемных и качественных показателей.			•		
83	Построение изолиний остаточной мощности рудного тела или пласта.			•		
84	Построение бергштрихов и изолиний равных высотных отметок поверхности.			•		
85	Подсчет объема и содержания полезного ископаемого в прирезках, блоках и по горизонтам.			•		
86	Визуализация результатов сейсмомониторинга.		•	•		
87	Текущее и оперативное планирование с визуализацией результатов планирования.			•		
88	Построение графика работы горного оборудования.			•		
89	Определение направления углубки карьера.			•		
90	Выделение запасов ПИ по категориям.			•		
91	Набор объемов по шаблону рабочей зоны и получение положения карьера на конец планируемого периода.			•		
92	Расчет экономической блочной модели.			•		
93	Оптимизация границ карьеров.			•		
94	Построение моделей взрывных блоков.			•		
95	Автоматизированное размещение скважин первого, контурных и предконтурных рядов.			•		
96	Автоматизированное размещение			•		

	скважин в границах взрывного блока.					
97	Автоматизированная нумерация и перенумерация скважин.			•		
98	Формирование шаблонов конструкций зарядов по длинам или номерам скважин.			•	•	
99	Размещение скважин вдоль произвольно заданного отрезка или контура.			•		
100	Автоматическое построение измерительных линий на разрезах по блоку.			•		
101	Формирование проекта на бурение (ОГР).			•		
102	Корректировка моделей взрывных скважин по данным фактического бурения (ОГР).			•		
103	Моделирование границы отбойки (ОГР)			•		
104	Автоматизированное формирование схемы коммутации и зарядной карты (ОГР).			•		
105	Подготовка технологической документации проекта массового взрыва (ОГР).			•		
106	Подсчет объема и содержания полезного ископаемого в прирезках, блоках и по горизонтам.			•	•	
107	Параметрическое проектирование подземных горных выработок с сечениями заданной формы.				•	
108	Моделирование выемочных единиц с расчетом их объемных и качественных показателей.				•	
109	Текущее и оперативное планирование с визуализацией результатов планирования.				•	
110	Расчет объёма за календарный период с возможностью выбирать выработки за указанный календарный период.				•	
111	Инструмент «Создание автоуклона» для формирования подземных спиральных транспортных выработок.				•	
112	Инструмент планирования проходки подземных выработок с расчетом объемов, интерактивным заданием последовательности проходки.				•	
113	Построение моделей взрывных блоков (ПГР).				•	
114	Автоматизированное размещение вееров скважин и их редактирование.				•	
115	Автоматизированная нумерация скважин и вееров скважин.				•	
116	Формирование проекта на бурение				•	

	(ПГР).					
117	Создание моделей взрывных скважин по данным фактического бурения.				•	
118	Моделирование границы отбойки (ПГР)				•	
119	Подготовка технологической документации проекта массового взрыва (ПГР).				•	
120	Управление режимом доступа к базам данных коллективного использования. Формирование списка пользователей, задание прав на редактирование моделей объектов.					•
121	Архивация и восстановление баз данных.					•
122	Модификация структуры баз данных.					•
123	Ведение журнала работы пользователей с фиксацией изменения моделей объектов, их восстановления в случае несанкционированного удаления или изменения.					•

Выводы

Особенности компьютерного решения горно-геологических задач на разных стадиях освоения месторождения и этапах жизненного цикла горного предприятия показывают насколько важно использование единой информационной основы для обеспечения технологичности работы с цифровой информацией. Известную сложность представляет многообразие и многочисленность организаций, начиная с геологоразведочных партий, исследовательских и проектных институтов, до инженерно-технических служб горного предприятия, которые взаимодействуют на разных стадиях жизненного цикла горного предприятия. Подходы, реализованные в ГГИС MINEFRAME, основанные на современных технологиях создания единого геоинформационного пространства моделей ГТО, способствуют преодолению этих препятствий, и могут служить интегрирующей силой, ведущей к повышению эффективности проведения работ геологоразведки, проектирования и эксплуатации горных предприятий.

Внедрение ГГИС является комплексным мероприятием, затрагивающим значительный участок организационной структуры горных предприятий. Предлагаемые автоматизированные инструменты должны обеспечивать надежность предлагаемых решений. Процесс внедрения ГГИС на горном предприятии разделяется на несколько этапов, от их состава и объемов работ зависят сроки выполнения проекта и оказания услуг по настройке, адаптации и сопровождению ПО.

Автоматизированные рабочие места ГГИС должны обеспечивать необходимый набор инструментов для решения задач геологических и маркшейдерских отделов, при планировании и проектировании горных работ. Обязательным условием является их работа в едином геоинформационном пространстве совокупности ОГТ, с разделением прав доступа и контролем действий пользователей.

Сравнительный анализ развития систем автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом его объектов в области машиностроения, строительства и горного дела показал, с одной стороны, существенное отличие объектов проектирования и планирования горного производства от аналогичных в области машиностроения и строительства. С другой стороны, тенденция развития ПО, перечень и способы решения задач в рассматриваемых отраслях промышленности показывают близость используемых подходов и средств решения задач информационного обеспечения современного автоматизированного производства. Наблюдающееся отставание в развитии и использовании систем автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом на горнодобывающих предприятиях является объективным следствием использования менее стандартизованных и унифицированных подходов в решении задач инженерного обеспечения горных работ, что постепенно должно быть преодолено и приближено к практике работы передовых машиностроительных производств и строительных технологий.

6. Опыт использования ГГИС MINEFRAME

Опыт развития и использования на горных предприятиях программных средств, предназначенных для автоматизации решения геологических, маркшейдерских и технологических задач имеет сравнительно небольшую историю. За этот период (около сорока лет) произошла серьезная эволюция в понимании возможности компьютерных технологий и их места на современном горном производстве. Не касаясь вопросов автоматизации управления материальными и финансовыми ресурсами, для чего предназначены системы класса ERP, остановимся на том, что составляет специфику горного предприятия и является объектом применения компьютерных технологий. Речь идет об информации, описывающей месторождение полезных ископаемых и технологию его отработки. Любое технологическое решение должно приниматься на основе всестороннего анализа уникальных вероятностных горно-геологических условий, присущих каждому горному предприятию. При этом степень неопределенности в их оценке снижается с увеличением объема используемой информации, а, следовательно, не существует другой разумной альтернативы переходу на использование информационных технологий в задачах оценки запасов, проектирования, планирования и управления горными работами.

При общей тенденции все большего использования компьютерных технологий в решении горно-геологических задач существует два основных способа их реализации. Первый основан на использовании узкоспециализированных программных продуктов различных производителей, изначально не увязанных в единую систему, второй – на ориентации на программные продукты одного производителя, представляющих собой единый программный комплекс, решающий обширный круг задач. Оба подхода имеют множество вариантов реализации. При этом уходит в прошлое практика создания автоматизированных систем силами самих горных предприятий. Не вдаваясь в детальный анализ достоинств и недостатков этих подходов, хотелось бы отметить следующее: основными пользователями таких программных продуктов являются инженерно-технические работники горных предприятий и проектных организаций. В условиях рыночной экономики от них и других требуется высокая производительность труда и эффективность принимаемых решений. Достичь этого можно только за счет системного подхода к организации автоматизированных рабочих мест специалистов (в первую очередь геологов, маркшейдеров и технологов), обеспечивающих инженерное сопровождение горных работ. На практике это означает:

- снятие информационных барьеров между отдельными службами, что достигается переходом на работу с единой базой данных горно-геологической информации и работу в вычислительной сети предприятия;
- использование специализированных программных средств, предназначенных для решения различных горно-геологических задач на основе единых цифровых моделей объектов горной технологии;
- применение современных, доступных средств формирования рабочих чертежей и технологической документации, таких, например, как AutoCAD, MSExcel, MSWord и др.

Примеры реализации такого подхода можно наблюдать на предприятиях внедривших ГГИС MINEFRAME, среди них – ОАО «Оренбургские минералы» (г. Ясный), ОАО «Боксит Тимана» (г. Ухта), ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (г. Краснокаменск), ОАО «Горнозаводскцемент» - (г. Горнозаводск), ОАО «Верхнебаканский цементный завод» (г. Новороссийск), ОАО «СЗФК» (г. Кировск), рудники АК Алроса, также имеются примеры внедрения в НИИ горного профиля, ВУЗах и консалтинговых бюро. Для горных предприятий был проведен значительный объем работ по составлению проектов внедрения, обследованию рабочих мест, адаптации и сопровождению программного обеспечения, разработки специальных модулей, обучению инженерного персонала.

6.1 Внедрение на горных предприятиях

ОАО «Боксит Тимана»

Вежаю-Ворыквинское месторождение бокситов расположено на территории Княжпогостского района в северо-западной части Республики Коми, в 160 км к северо-западу от г. Ухта. Бокситы Вежаю-Ворыквинского месторождения приурочены к верхней части коры выветривания девонского возраста, имеющей площадное развитие по метаморфическим породам рифейской свиты: доломитам, доломитизированным известнякам с подчиненными прослоями мергелей и хлорит-серицит глинистых сланцев [77, 229].

База данных моделей объектов горной технологии расположена на центральном сервере. В главном офисе предприятия организовано 6 рабочих мест MINEFRAME (рисунок 6.1): 2 места маркшейдера, 2 – геолога, 1 – технолога открытых горных работ, 1 – технолога БВР. На промплощадке рудника установлено по одному рабочему месту геолога и маркшейдера.

интервалы. Для построения модели рудного тела, используется ранее созданная БД опробования с рассчитанными кондиционными интервалами. По построенным моделям создаются блочные модели, проводится расчет качественных показателей, ведется подсчет запасов, которые используются при планировании горных работ.

Производственно-технический отдел оценивает текущее состояние горных работ, полноту выемки полезного ископаемого. Выбираются места для заложения новых блоков на плановый период, моделируются блоки, как для производства вскрышных работ, так и для добычных (по бокситу). После создания блоков с помощью инструментов проектирования БВР размещаются взрывные скважины с учетом физико-механических

свойств горных пород, с указанием глубин скважин и их нумерацией. Также моделируются съезды, места заложения основных транспортных магистралей (рис. 6.2). При подготовке планов развития горных работ на следующий месяц (год) после проектирования блоков производится перестроение бортов карьера на конец планируемого периода с учетом выемки этих блоков (рис. 6.3).

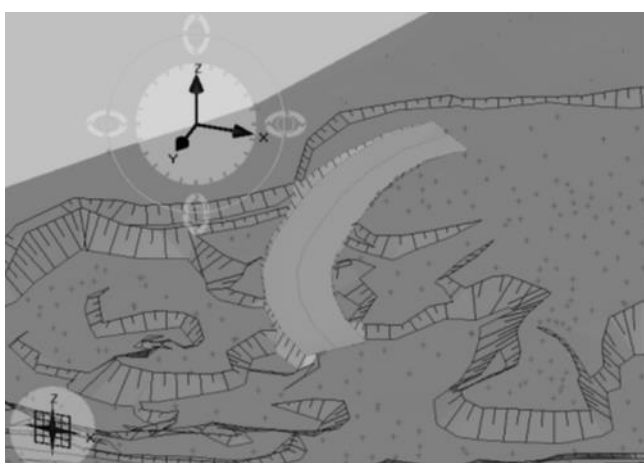


Рисунок 6.2 – Построение съезда

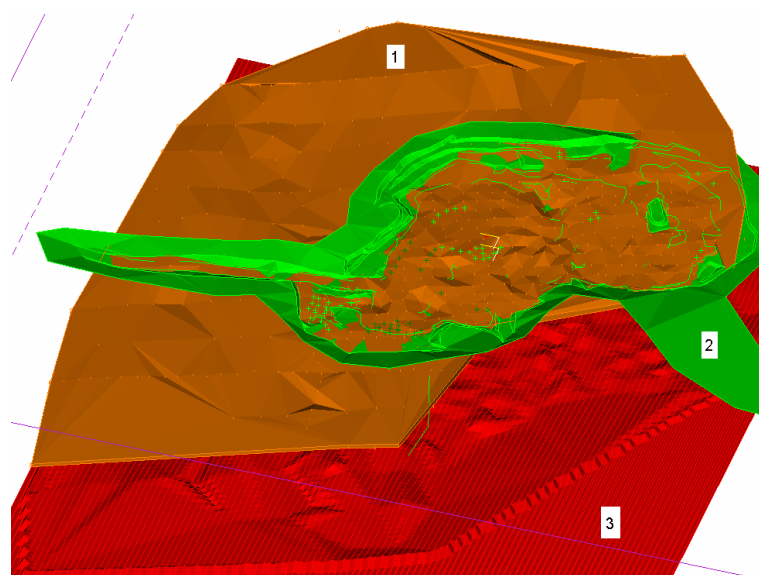


Рисунок 6.3 – Модели горно-геологических объектов рудника ОАО «Боксит Тимана». 1 – модель пласта Вежаю-Ворыквинского месторождения; 2 – текущее положение карьера; 3 – модель вертикальной мощности пласта

ОАО «Оренбургские минералы»

Киембаевское месторождение хризотил-асбеста, которое разрабатывает комбинат «Оренбургские минералы», находится в Ясненском районе Оренбургской области. Месторождение приурочено к скальному, трещиноватому комплексу пород. Оно разрабатывается открытым способом, горизонтальными слоями высотой 15 метров с применением буро-взрывных работ.

Базы данных MINEFRAME располагаются в центральном офисе предприятия, все специалисты (2 рабочих места геолога; 2 рабочих места маркшейдера и 3 рабочих места технолога), работают в многопользовательском режиме с разграничением полномочий доступа к данным. В БД было введено более трех тысяч скважин и почти семнадцать тысяч проб. Эти данные постоянно пополняются. По данным опробования были построены модели 6-ти рудных тел (залежей). Выявлены закономерности изменчивости распределения полезных ископаемых (рисунок 6.4). Построение цифровых моделей рудного тела и карьера упрощает процесс планирования горных работ, позволяя оценить количество и качество добываемой руды при различных вариантах ведения горных работ [230].

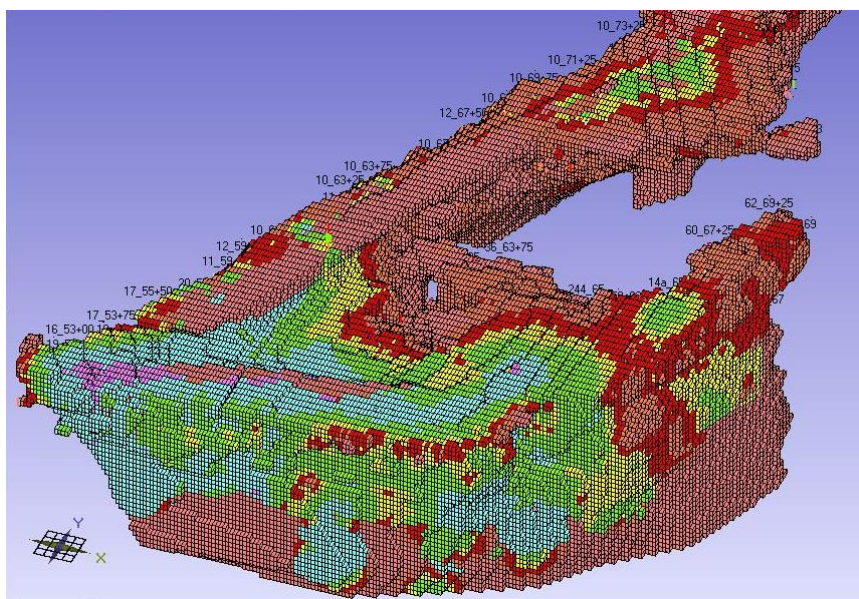
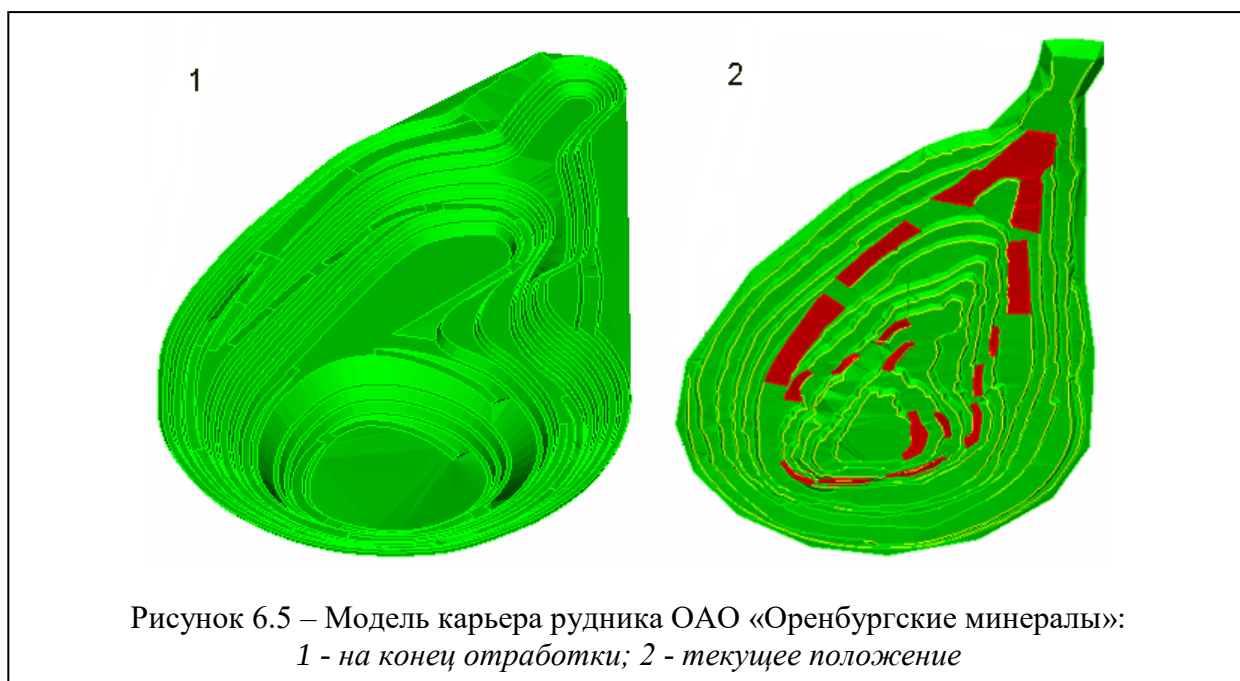


Рисунок 6.4 – Пространственная модель изменчивости содержания по компоненту α

графических материалов.

Маркшейдерская служба ведет съёмку и вынос скважин БВР и отметок площадок для построения блоков массовых взрывов. Производит построение фактического положения на модели карьера, расчет объёмов добычи, отрисовку

При планировании горных работ производится построение моделей прирезок, расчёт качества в прирезках и шихты в целом, по месяцу, поквартально и на год. Делается расчет количества и качества руды в отдельных зонах карьера, целиком по карьере с разными его временными положениями, с учетом положения по проекту на конец отработки (рисунок 6.5). В процессе планирования идет построение всей графики, необходимой для ведения горных работ. Также технический отдел ведет автоматизированное составление паспортов на бурение блоков и проведение взрывных работ.



ОАО «СЗФК»

Месторождение апатито-нефелиновых руд «Олений ручей» расположено на территории Кировского района Мурманской области на расстоянии 22 км на восток от города Кировска в пределах юго-восточной части Хибинского щелочного массива.

В Геологической базе данных (БД) хранятся данные по опробованию скважин. Данные по опробованию в виде связанных списков скважин, проб, компонентов полезного ископаемого и замеров инклинометрии используются для формирования моделей геологических проб и решения на их основе задач по созданию моделей рудных тел (пластов), геостатистическому исследованию месторождений, подсчёту запасов и т.д.

Для каждой скважины в базу данных были введены все опробованные интервалы, а также неопробованные породные интервалы. Для каждого интервала были введены следующие данные: номер пробы (интервала), расстояние от устья скважины начала и конца пробы, выход керна по интервалу, содержание по P_2O_5 , Al_2O_3 кислотнорастворимый и общий. Данные замеров искривления ствола скважины были внесены по замерам

инклинометрии. Всего введены данные опробования и замеров инклинометрии по 298 скважинам района месторождения.

Общее количество введённых проб – 11975. Выделено и внесено в базу данных свыше тридцати типов описаний пород (рисунок 6.6).

Геологический редактор: Олений ручей - [Скважины]

Работа с БД Настройка Инструменты ?





1000

20

4%

Скважина	Разведка	Профиль	Глубина	Геод. X	Геод. Y
1349			453.50	32672.700	57
1350			526.70	32425.400	57
1351			514.60	32518.400	57
1352			553.00	32358.600	57
1353			333.00	34010.000	58
1354			474.10	33116.500	57
1355			386.80	33062.800	58
1356			423.90	33168.000	58
1357			412.90	33270.800	58

Глубина	Угол	Азимут
0.00	0.00	73.00
25.00	1.00	73.00
50.00	4.00	73.00
75.00	6.00	78.00
100.00	8.00	86.00

Журнал	Диаграммы содержаний	Рудные интервалы	По горизонтам	Колонка				
№ Пробы	От	До	Длина пробы	Выход керна	Типы пород	P205	Al2O3кр	Al2O3общ
50326	699.50	705.00	5.50	0.00	апатито-неф	0.32	17.78	15.72
50327	705.00	708.50	3.50	0.00	апатито-неф	21.06	8.84	8.01
50328	708.50	711.50	3.00	0.00	апатито-неф	28.73	5.77	5.41
50329	711.50	714.50	3.00	0.00	уртит	30.17	5.13	4.77
50331	714.50	717.50	3.00	0.00	уртит	29.76	5.19	4.67
50332	717.50	720.50	3.00	0.00	уртит	29.85	4.74	4.62
50333	720.50	724.40	3.90	0.00	апатито-неф	26.10	6.79	6.59
50334	724.40	729.50	5.10	0.00	апатито-неф	0.94	17.96	11.29
50335	729.50	734.40	4.90	0.00	апатито-неф	0.33	19.44	12.33
50336	734.40	739.20	4.80	0.00	апатито-неф	0.35	18.67	11.61
50337	739.20	740.50	1.30	0.00	апатито-неф	2.73	15.10	13.48
50338	740.50	744.60	4.10	0.00	апатито-неф	0.35	17.27	13.82
50339	744.60	747.80	3.20	0.00	апатито-неф	0.52	24.30	21.97

Рисунок 6.6 – Фрагмент БД скважинного опробования

В среде программы GEOTECH-3D была произведена визуализация данных скважинного опробования, построение моделей геологических тел, расчёт объёмов и показателей качества и предварительного геостатистического анализа (рисунок 6.7).

Оцифрованные разрезы в виде файлов контактов подсчётных геологических блоков

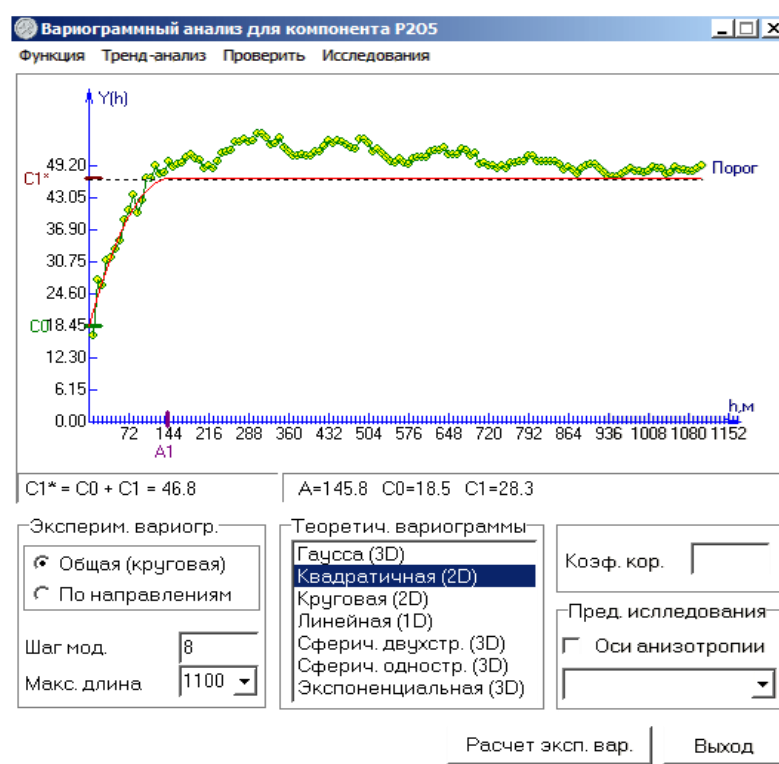


Рисунок 6.7 – Вариограммный анализ

были импортированы из файлов, предоставленных институтом Гипроруда. Также были импортированы файлы погоризонтных контактов.

Для моделирования топографической поверхности была отсканирована и оцифрована карта района в масштабе 1:5000. Были оцифрованы изолинии высот местности кратные 10 м. Отдельными объектами были выделены наиболее значимые озера. Модель топоповерхности была привязана в пространстве моделирования, также была построена её каркасная модель.

В соответствии с предварительными условиями оценки в геологической базе данных для каждой скважины были выделены рудные интервалы со следующими кондиционными условиями: бортовое содержание – 4% P_2O_5 ; минимальная мощность рудного тела по рудным пересечениям – 8 м; максимальная мощность пустых прослоев – 10 м.

Также были выделены следующие значимые для дальнейшей оценки месторождения и построения схем вскрытия элементы геологической среды: слой моренных отложений и рудные тела. Для этих геологических тел произведена пространственная увязка в соответствии с прослеженными контактами кондиционных пересечений по скважинам и логикой залегания тел на каждом разрезе. Была проведена привязка размещения контактов к выделенным кондиционным интервалам. Построены триангуляционные твёрдотельные модели геологических тел (рисунок 6.8).

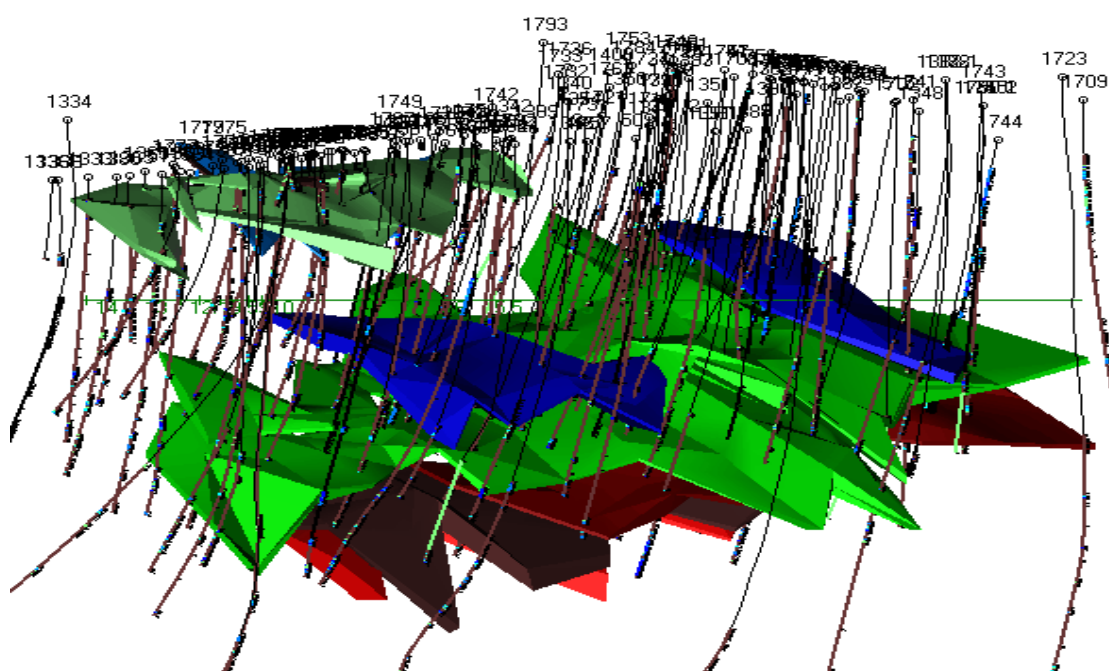


Рисунок 6.8 – Вид с северо-востока на каркасные модели рудных тел (Слева сверху – верхний ярус, предназначенный для открытой разработки)

Блочные модели построены с размером блоков 10х10х10 м, содержание в блочной модели рассчитано с помощью метода интерполяции с использованием метода наименьших квадратичных расстояний (рис. 6.9).

В 2016 г. была проведена работа по обновлению геологических моделей с учетом новых данных, полученных в результате доразведки. В базу данных опробования была загружена геологическая информация по более чем 400 скважинам и 15 выработкам. В качестве графической основы для моделирования были загружены 57 геологических

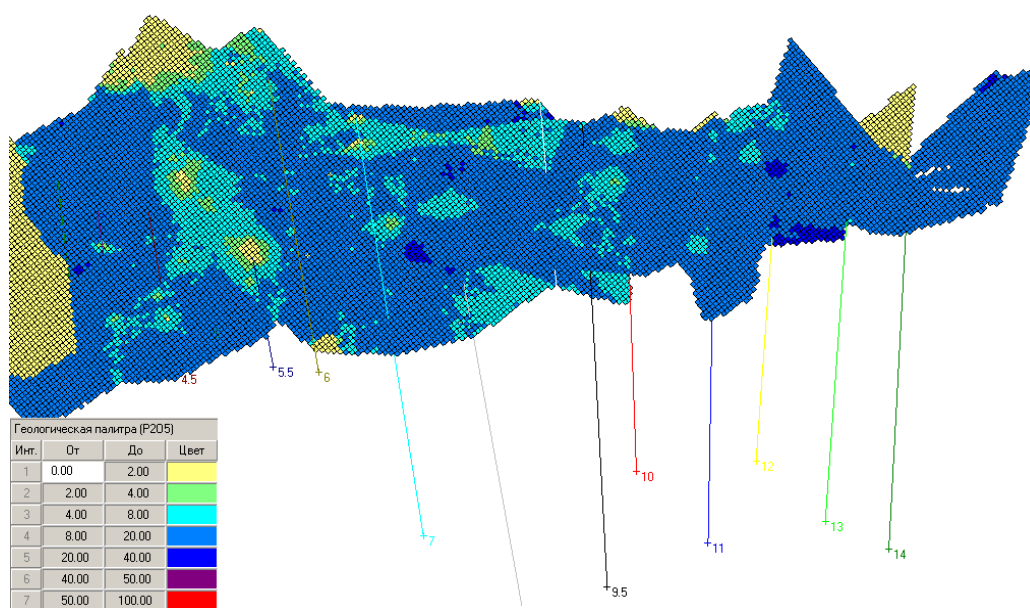


Рисунок 6.9 – Блочная модель рудных тел профилей.

Была актуализирована база данных геологического опробования и скорректирована цифровая модель верхнего и нижнего яруса месторождения. По новым данным был проведен геостатистический анализ и рассчитаны качественные характеристики рудных тел. В результате созданы каркасные и блочные модели 30-ти подсчетных блоков 7-ми рудных тел верхнего яруса месторождения и 3-х подсчетных блоков рудных тел 2.1, 2.2, 2.3, а так же 3-х локальных тел и 5-ти линз нижнего яруса.

В процессе корректировки моделей выявлены значительные отличия залегания вновь смоделированных рудных тел от тех, что были созданы ранее.

6.2 Региональные горно-технологические модели

Освоение и эксплуатация месторождений полезных ископаемых связана с решением комплекса технологических и экономических задач, в основе которых лежит

информация о геологическом строении месторождения, рельефе местности, геомеханическом состоянии массива, пространственном положении горных выработок, природных и инфраструктурных объектах, используемых и подверженных изменению в процессе ведения масштабных строительных и горных работ. В качестве источников такой информации может выступать геодезическая (маркшейдерская), геологическая и технологическая документация, отражающие все этапы жизненного цикла месторождения: поиск, разведка и оценка; разработка проекта отработки; эксплуатация; консервация; проведение мероприятий по восстановлению нарушенных земель. Принимая во внимание тот факт, что к получению информации на разных этапах освоения и эксплуатации месторождения причастны различные организации (геологоразведочные, научные, проектные, производственные), данные, как правило, хранятся в разрозненном несистематизированном виде с отличающимися способами хранения (на бумажных или электронных носителях) и в различных форматах, исходя из предпочтений специалистов и информационной политики организаций. Все это приводит к неэффективному использованию информации и, в конечном итоге, к снижению уровня информационного обеспечения организационных и технологических решений при освоении и эксплуатации месторождений.

Решением указанной проблемы является создание цифровых моделей объектов горной технологии и связанных с ними баз данных (БД) уже на этапе освоения месторождения, поддержание их в актуальном состоянии на протяжении всего периода эксплуатации. В полной мере реализовать такой режим формирования БД можно при условии использования единого формата данных и централизованного способа их хранения. При этом наилучшим способом поддержания единого формата данных является работа всех пользователей с программными продуктами, обеспечивающими решение всего комплекса горно-геологических и горно-технологических задач на основе единой структуры цифровых моделей, что наиболее полно реализуется при использовании единой программной платформы. В этом случае многократно снижается вероятность ошибок, возникающих при конвертации данных, уменьшаются размеры БД, снижается трафик, упрощается сам процесс управления данными. Современная тенденция развития программного обеспечения в области геотехнологии показывает именно это направление.

6.2.1 Модель Хибинского горнорудного района

Для реализации идеи создания подобной БД в качестве объекта исследований выбран Хибинский горнорудный район с комплексом крупнейших в мире апатит-нефелиновых месторождений. Систематическое изучение Хибинского массива началось

под руководством академика А. Е. Ферсмана в 1921 г. и продолжается в настоящее время [231]. Это привело к накоплению значительного объема информации, имеющей пространственную привязку, но не имеющей адекватного представления в виде трехмерных цифровых моделей, удобных для анализа и использования в практической деятельности (планирование геологоразведки, проектирование горных предприятий и объектов промышленной инфраструктуры, мониторинг техногенных и технологических процессов, оценка отрицательного воздействия на окружающую среду и т.д.).

Создание комплекса цифровых моделей Хибинского горнорудного района (ЦМХГР) интересно еще и своим масштабом, так как в границы моделирования входят 7 эксплуатируемых месторождений, находящихся на разных стадиях разработки с использованием открытых и подземных горных работ. Работы осуществляются 6-ю рудниками с развитой наземной и подземной инфраструктурой (4 входят в состав ОАО «Апатит» [232], 2 – в ЗАО СЗФК [233]).

Одна из основных целей при создании ЦМХГР заключалась в проверке возможности объединения в рамках одной большой модели геологической, геодезической (маркшейдерской), технологической и геомеханической информации, представленной разнородными и удаленными друг от друга объектами: рельеф, геологические пробы, геологические тела, геологические нарушения, открытые и подземные горные выработки, конструктивные элементы и узлы систем разработки, отвалы пустых пород, рудные склады, хвостохранилища, объекты гражданской и промышленной инфраструктуры, поля напряжений.

Создание ЦМХГР включало в себя решение ряда задач, в целом отражающих особенности информационного обеспечения этапов освоения и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых.

Моделирование рельефа и геологического строения массива

В качестве базовой топографической основы ЦМХГР была использована карта «Хибины и Ловозерские тундры» в масштабе 1:100000 (рисунок 6.10). После сканирования, корректировки и геодезической привязки растрового изображения к области моделирования средствами ГГИС MINEFRAME выполнена векторизация изолиний равных высотных отметок. Полученная таким образом векторная модель топоповерхности Хибинского массива составила основу трехмерной базовой модели рельефа.

С помощью процедуры триангуляции получена каркасная модель рельефа, обеспечивающая реалистичное представление поверхности района Хибин.

Модели основных разновидностей горных пород и тектонических нарушений созданы на основе карты-схемы геологического строения Хибинского массива [197]. Совмещенная модель рельефа поверхности и геологического строения массива

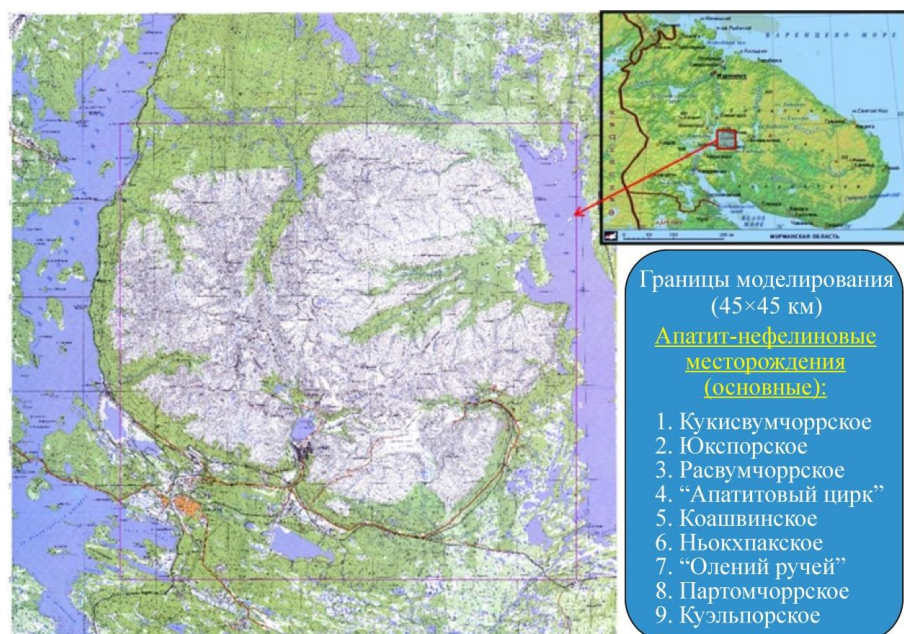


Рисунок 6.10 – Район моделирования и список месторождений в составе модели представлена на рисунке 6.11.

Базовые модели рельефа и геологического строения массива дают общее представление о районе и условиях ведения горных работ. Особенностью Хибинского массива являются высокие тектонические напряжения, которые необходимо учитывать

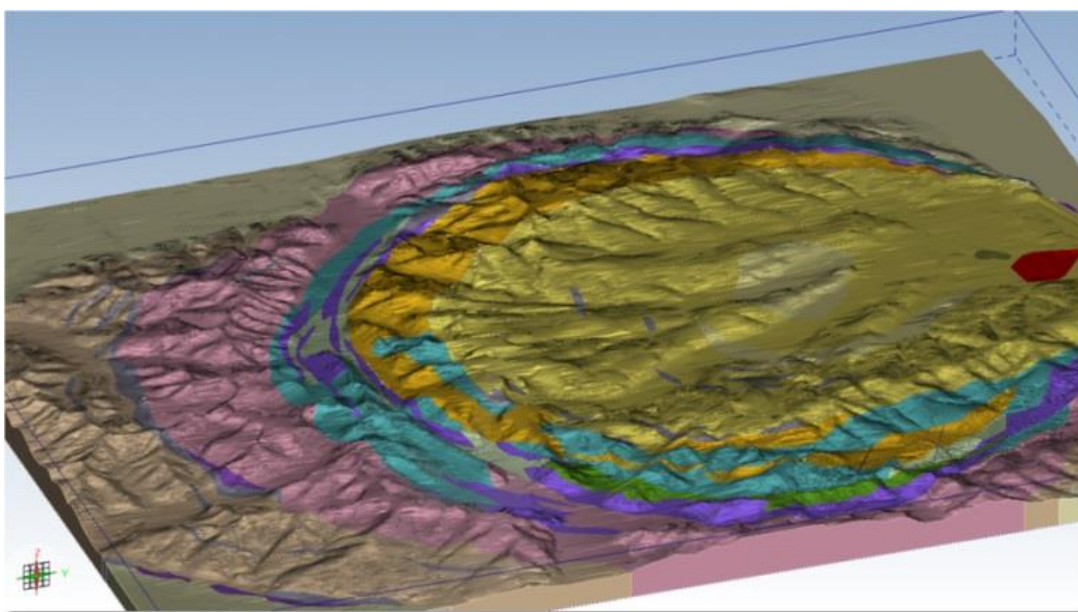


Рисунок 6.11 – Совмещенная модель рельефа поверхности и геологического строения Хибинского массива

при эксплуатации месторождений. Для прогнозной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) массива на базе модели рельефа и геологического строения создана геомеханическая модель горнорудного района [234], позволяющая с помощью программного продукта SIGMA GT [235] и метода последовательного изменения масштаба моделирования получать значения НДС в любой интересующей области массива (рисунок 6.12).

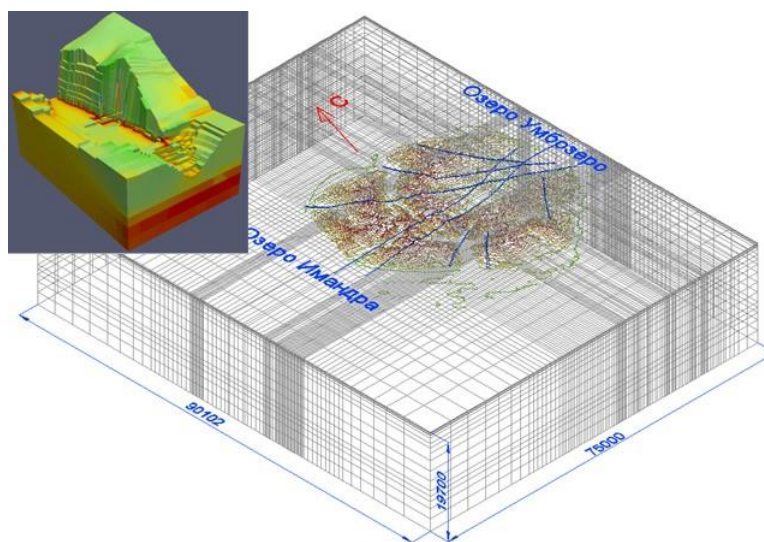


Рисунок 6.12 – Сеточная модель Хибинского массива и вариант представления результатов расчета НДС в локальной области

Моделирование объектов инфраструктуры

В ЦМХГР включены основные объекты гражданской и промышленной инфраструктуры: города Кировск, Объединенного Кировского рудника, Расвумчоррского рудника, Центрального рудника, Восточного рудника, рудника «Олений ручей», апатит-нефелиновых фабрик № 2 и № 3, а также ряд других более мелких объектов. Источниками данных для построения моделей объектов инфраструктуры являлись планы, карты и спутниковые снимки.

Локальная детализация информации

Объектом моделирования стал значительный по размерам район Кольского полуострова, который в широтном измерении составляет $\sim 0.4^\circ$. При таких размерах моделируемой области высокая детализация данных приводит к серьезному увеличению потребных вычислительных ресурсов, что снижает эффективность работы с информацией. Следует также отметить, что высокая точность и детальность необходима в местах проектирования горных работ или их ведения, и не столь важна для мест, где такие работы не проводятся. В связи с этим были выделены области, где требовалось использование моделей с высокой точностью привязки и степенью детализации. Как

правило, это участки расположения месторождений и концентрации горных работ. На таких участках базовые модели, менее точные, замещались на детальные, более точные.

Результат такого способа формирования ЦМХГР можно проиллюстрировать на примерах участков Хибинского массива, связанных с функционированием двух рудников:

- Объединенного Кировского, существующего более 80 лет и отрабатывающего два месторождения (основной способ обработки – подземный);
- «Олений ручей», ведущим на первом этапе – открытые горные работы, на втором – подземные).

Объединенный Кировский рудник (АО «Апатит»)

Рудник является одним из крупнейших в Европе и осуществляет добычу руды на Кукисвумчоррском и Юкспорском месторождениях. Месторождения расположены в Центральной части Хибин и являются основой сырьевой базы АО «Апатит». Специалистами рудника с помощью программных средств системы MINEFRAME созданы модели геологоразведочной и маркшейдерской сети, рудных тел, горных выработок, конструктивных элементов и узлов системы разработки, отвалов, рельефа поверхности в границах горного отвода. Степень детализации моделей позволяет решать на их основе геологические, маркшейдерские и технологические задачи. Перенос моделей объектов горной технологии из БД Кировского рудника в БД Хибинского горнорудного района осуществлялся путем копирования данных. Так как координаты моделей имеют привязку к глобальным геодезическим координатам, перемещение моделей в новую, отличающуюся размерами и ориентацией в пространстве область моделирования не вызывает изменения их истинных координат.

С использованием механизма экспорта в БД Хибинского горнорудного района помещены все значимые модели, характеризующие текущее состояние горных работ (рис. 6.13). Как видно из рисунка, подземный рудник содержит большое количество моделей, отражающих как фактическое состояние горных работ, так и проектные решения. Для работы с ними используется трехуровневая система управления, реализующая свои функции посредством инспектора объектов. В качестве инструментов управления задействованы:

- технологическая структура рудника (проекта), каждый элемент которой (горизонт, блок и т.д.) связан с пространственным фильтром, управляющим загрузкой моделей из БД;
- «дерево» объектов, содержащее группы и подгруппы моделей, связанных между собой по каким-либо признакам;

- таблица свойств модели и ее составных элементов, содержащая параметры и характеристики модели.

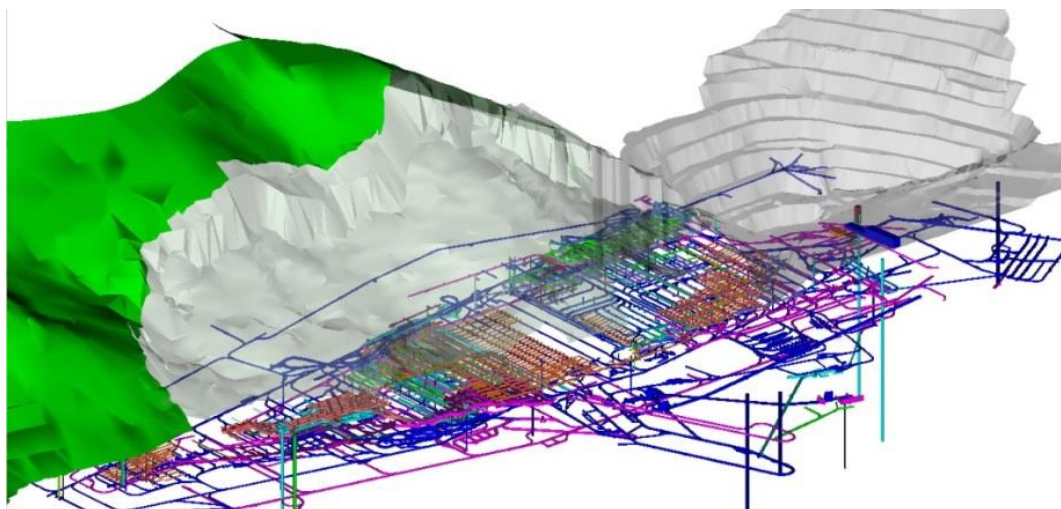


Рисунок 6.13 – Детализация объектов объединенного Кировского рудника в границах модели Хибинского горнорудного района

Рудник «Олений ручей» (ЗАО «СЗФК»)

Рудник расположен в восточной части Хибин и базируется на месторождении «Олений ручей». Месторождение имеет достаточно сложное строение и включает в себя два яруса рудных тел: верхний и нижний, запроектированные к отработке соответственно открытым и подземным способами. Геология месторождения представлена данными геологического опробования геологоразведочных скважин и моделями рудных тел в границах балансовых и забалансовых запасов. Модели рудника «Олений ручей» представлены как проектными объектами (карьер, выработки подземного рудника, здания и сооружения промышленной площадки) (рисунок 6.14), так и моделями их фактического состояния.

Использование ЦМХГР и ее поддержание в актуальном состоянии

Как уже указывалось, основное назначение ЦМХГР — это хранение информации, связанной с геологической разведкой месторождений и их эксплуатацией. При этом способ хранения (электронные БД) и форма представления (трехмерные цифровые модели) обеспечивают быстрый доступ к информации, наглядный способ работы с ней и возможность автоматизации процедур обработки и анализа данных. Основными потребителями такого рода информации являются или могут являться:

- проектные организации, заинтересованные в сокращении времени поиска исходной информации и преобразовании ее в удобную для работы форму;

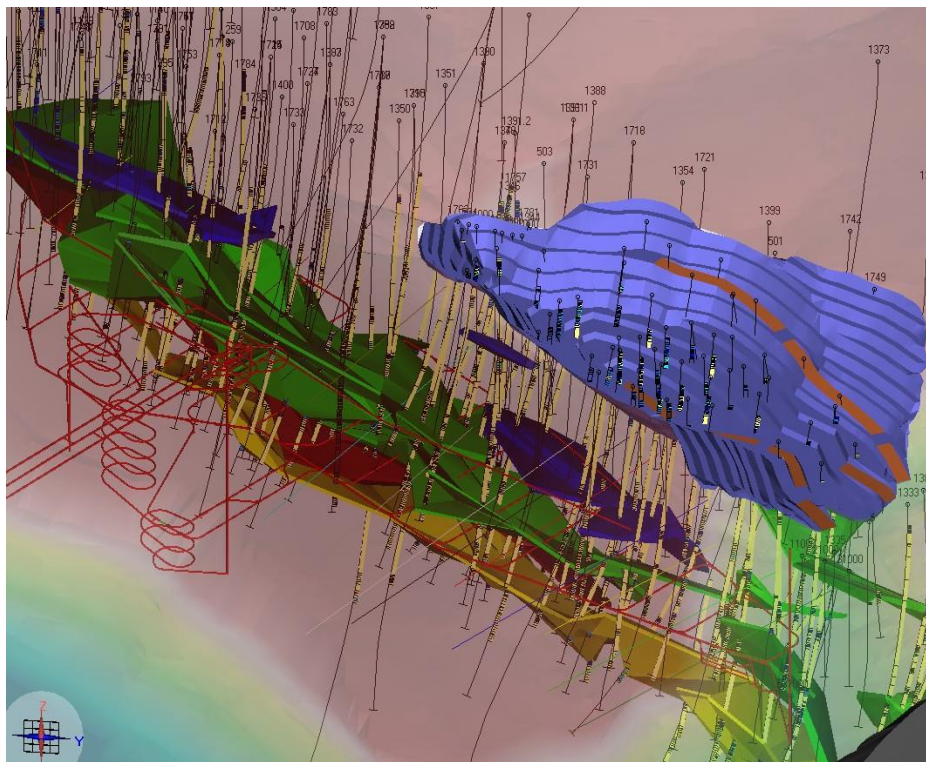


Рисунок 6.14 – Детализация объектов, представленных проектными моделями рудника Олений ручей

- геологоразведочные организации, которым для планирования работ и анализа результатов изысканий требуются данные о геологическом строении массива, рельефе местности, результатах предыдущих геологоразведочных работ;
- горнодобывающие компании, эксплуатирующие несколько близко расположенных месторождений;
- региональные управления по недропользованию, реализующие свои функции на основе информации о месторождениях полезных ископаемых;
- научные организации, ведущие исследования в области геологии и геотехнологии данного района;
- органы технического надзора, службы горноспасателей и МЧС, заинтересованные в доступе к трехмерным моделям потенциально опасных объектов.

Этот список говорит о потенциальной востребованности моделей подобного рода, но при этом возникает ряд вопросов, связанных:

- с механизмом поддержания моделей в актуальном состоянии;
- с обеспечением режима контролируемого доступа к информации.

Все эти вопросы, так или иначе, связаны с выбором организации, обеспечивающей функционирование модели. Применительно к ЦМХГР поддержанием ее в актуальном

состоянии занимается Горный институт КНЦ РАН, для чего в качестве инструментов используются программные средства системы ГГИС MINEFRAME, обеспечивающие:

- 1) экспорт и импорт моделей объектов между БД ЦМХГР и рудников с помощью механизма прямого обмена данными между таблицами БД;
- 2) использование файла обменного формата, содержащего полную информацию по модели объекта;
- 3) формирование списка пользователей и определение уровня доступа к моделям конкретного проекта из БД.

6.2.2 Модель Стрельцовского рудного поля

Если работа по моделированию Хибинского массива преследовала цели исследования возможности создания комплекса сложных, комбинированных моделей природного и техногенного происхождения на относительно больших территориях, то моделирование Стрельцовского рудного поля было необходимо, прежде всего, как дополнительное средство для обеспечения безопасности ведения горных работ на рудниках ПАО «ППГХО».

При разработке месторождений, опасных по горным ударам, к которым отнесены и рудники ПАО «ППГХО» [236], эффективность и безопасность горных работ во многом зависит от своевременного регионального прогноза формирования зон концентрации напряжений, а, следовательно, и удароопасности. Такой прогноз применительно к конкретным горно-геологическим условиям позволяет еще на этапе проектирования оптимизировать конструктивные параметры систем разработки и порядок ведения горных работ, а на этапе планирования предусмотреть мероприятия, снижающие риск динамического проявления напряжённо-деформированного состояния (НДС). Одним из эффективных методов прогноза полей напряжений является численное моделирование НДС массива ГП. Применение его совместно с натурными методами оценки напряжённого состояния массива и прогноза удароопасности позволяет осуществлять геомеханически обоснованный выбор технических решений.

Рассматриваемый регион характеризуется холмистым рельефом, насыщен промышленными и технологическими объектами: ТЭЦ, гидрометаллургический и сернокислотный заводы, промышленные площадки рудников, железнодорожные и автомобильные дороги, подземные горные выработки, карьеры, отвалы и хвостохранилища. Масштабные горные работы привели к перераспределению действующих в массиве тектонических напряжений, что выразилось в повышении

сейсмической активности вмещающего массива горных пород и возникновении техногенных землетрясений.

Системная оценка горнотехнического комплекса, связанного с масштабными горными работами, требует точного пространственного представления местоположения и геометрии наземных и подземных (природных и рукотворных) объектов, входящих в состав этого комплекса. Всего в состав Стрельцовского рудного поля входит 13 месторождений урана. Большинство месторождений сложено силикатными рудами, для которых отработана методика переработки – кислотное выщелачивание. Исключением является Аргунское месторождение, руды которого находятся в доломитах, и для которого будет применено содовое выщелачивание. 10 месторождений находятся в эксплуатации, 3 месторождения планируются к отработке.

Основная геологоразведка месторождений закончена в 1993 году, утверждены ТЭО кондиций, запасы поставлены на баланс. В настоящий момент на предприятии ведется подземная опережающая разведка флангов и глубоких горизонтов месторождений скважинами длиной до 1 км, это позволяет ежегодно приращивать до 700 тонн запасов урана.

Таким образом, основной целью моделирования, являлось создание геоинформационной системы для оценки геомеханических условий отработки удароопасных месторождений Стрельцовского рудного поля. Работа включала в себя создание горно-технологической и геомеханических моделей месторождений, как основы геоинформационной системы, и разработку программных средств анализа результатов численного расчёта НДС и мониторинговой информации, как инструмента оценки состояния массива.

Основной идеей работы стало объединение в рамках одной системы всей значимой геологической, технологической и геомеханической информации, характеризующей условия ведения горных работ. Подобный подход по использованию трёхмерных цифровых моделей, несущих информацию о пространственно распределённых объектах и событиях, обеспечивает наиболее полное представление о состоянии массива и является основой, как для планирования горных работ, так и для разработки профилактических мероприятий.

В качестве пилотного объекта, на примере которого осуществлялась разработка программных средств и отработка методических подходов по оценки состояния массива, был принят рудник «Глубокий», отрабатывающий месторождение «Антей». На практике применяется преимущественно метод отработки горизонтальными слоями с твердеющей закладкой. Применение этого метода отработки обусловлено крайне изменчивой

морфологией рудных тел и необходимостью применения селективной отработки руд. Исходными данными для моделирования служат:

- Модели горных выработок, построенные с использованием информации, полученной в результате маркшейдерских съемок;
- Данные маркшейдерских замеров перемычек и закладочных секций;
- Каркасные и блочные модели рудных тел;
- Нормативные документы.

Исходные данные, получаемые от различных служб, а также решаемые ими задачи приведены на рисунке 6.15.

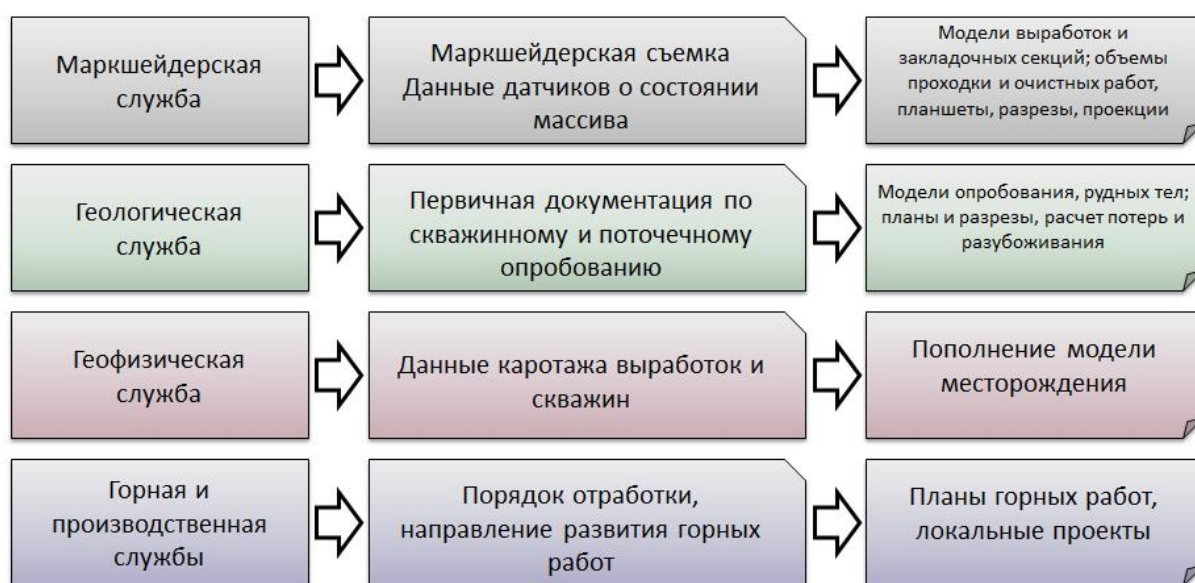


Рисунок 6.15 – Исходные данные для горнотехнического моделирования

Горно-технологическая модель представляет собой набор трехмерных цифровых моделей геологических и технологических объектов, несущих информацию об их геометрии и свойствах. Работа с моделями объектов горной технологии, как правило, осуществляется средствами ГГИС, реализующей инструменты хранения и обработки пространственно распределённой информации, её визуализации и редактирования.

Для создания горно-технологической модели месторождения были использованы данные, полученные специалистами ИГД ДВО РАН, ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН, ИЗК СО РАН. Активное участие в формировании моделей объектов горной технологии приняли работники управления и рудников ОАО «ППГХО».

Исходными данными для выполнения работы послужили:

- цифровые модели горных выработок (ГоИ КНЦ РАН, ОАО «ППГХО»);
- электронные копии маркшейдерских планшето;в;
- геологические разрезы и цифровые модели рудных тел;

- нормативные документы Ростехнадзора и стандарты предприятия [189,];
- информация о физических свойствах, структурной нарушенности и напряжённо-деформированном состоянии массива ГП;
- планы горных работ;
- данные об упруго-прочностных характеристиках вмещающего массива и рудных тел;
- данные высокоточных измерений деформационных характеристик массива горных пород (ИГД ДВО РАН);
- модели основных разломных зон и сейсмотектонических деформаций поверхности (ИГЕМ РАН) [238, 239];
- модели напряженно-деформированного состояния массивов пород (ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН, ИЗК СО РАН).

Область горно-технологической модели в плане была ограничена Стрельцовским рудным полем. В пределах области моделирования располагаются: промышленные сооружения, горные выработки; эксплуатируемые и планируемые к разработке месторождения; элементы разломной тектоники.

В ходе выполнения работ по созданию горно-технологической модели была сформирована база данных (БД) трехмерных цифровых моделей:

- геологической среды, включающей рудные тела разрабатываемых месторождений;
- рельефа поверхности с выделением мест ведения открытых горных работ;
- подземных горных выработок и сооружений;
- основных объектов наземной инфраструктуры;
- основных разломных зон.

Цифровые модели объектов горной технологии создали основу геоинформационной системы и использовались в дальнейшем для формирования геомеханической модели месторождения.

Все реальные объекты Стрельцовского рудного поля и их цифровые модели условно можно разделить на три группы: природные (сформированы в результате природных процессов), техногенные (сформированы в результате деятельности человека до момента начала изучения и эксплуатации месторождения) и технологические (сформированы в процессе изучения и эксплуатации месторождения). С точки зрения горной технологии не так важно, каким образом и в какой период было сформировано месторождение, поэтому объекты первой и второй группы удобнее объединить в одну.

Исходя из этого разделения, модели первой группы несут информацию о структуре месторождения, а объекты второй – о технологии его эксплуатации.

Месторождение «Антей» непосредственно приурочено к интенсивно тектонически нарушенному пересечению разломов субширотного и меридионального простирания с широким развитием разрывных нарушений. Максимальная нарушенность отмечается в южной части месторождения на пересечении разломов четырех направлений. В целом район характеризуется развитием самых разнообразных и сложных форм разрывных нарушений и типов блоковых структур.

Было выполнено трехмерное моделирование разломов. Последовательность операций моделирования включала:

1. Импорт файлов формата *.dxf в GEOTECH-3D с учетом геодезической привязки разломов;
2. Корректировку контуров разломов (разнос по высотным отметкам, создание плавных контуров вертикальных границ разломов);
3. Создание триангуляционной модели.

В результате были получены трехмерные модели разломов. На месторождении «Антей» выделяются три зоны разломов: №№ 103, 13, 160, из которых две последние – сближенные с расстоянием между ними не более 100 м (рисунок 6.16 а, б). Разлом 13 – наиболее крупный, вскрыт до глубины 1,5 км и далее не оконтурен. Повсеместно он выражен четким швом сместителя, амплитуды перемещения по нему незначительны и не превышают первых десятков метров. Висячем боку шва широко развиты тектонические брекчии, оперяющие нарушения, трещиноватость. В лежащем боку проявления тектонических подвижек практически отсутствуют.

Разлом 160, параллельный разлому 13, является основным рудовмещающим структурным элементом месторождения. Швы имеют как зоны дробления, так и тектонические трещины. Мощность полостей трещин от 2 до 10 см, полости представлены глиной трения, карбонатами, реже хлоритом. Мощность зон дробления составляет от 6 до 100 см, плотность трещин – 2-5 на 1 м. На рисунке 6.16 показаны все смоделированные разломы: 1, 13, 31, 34, 39, 40, 41, 51, 60, 101, 102, 103, 104, 160, 171, 201, 202, 205, 255, 255а, 260, 263.

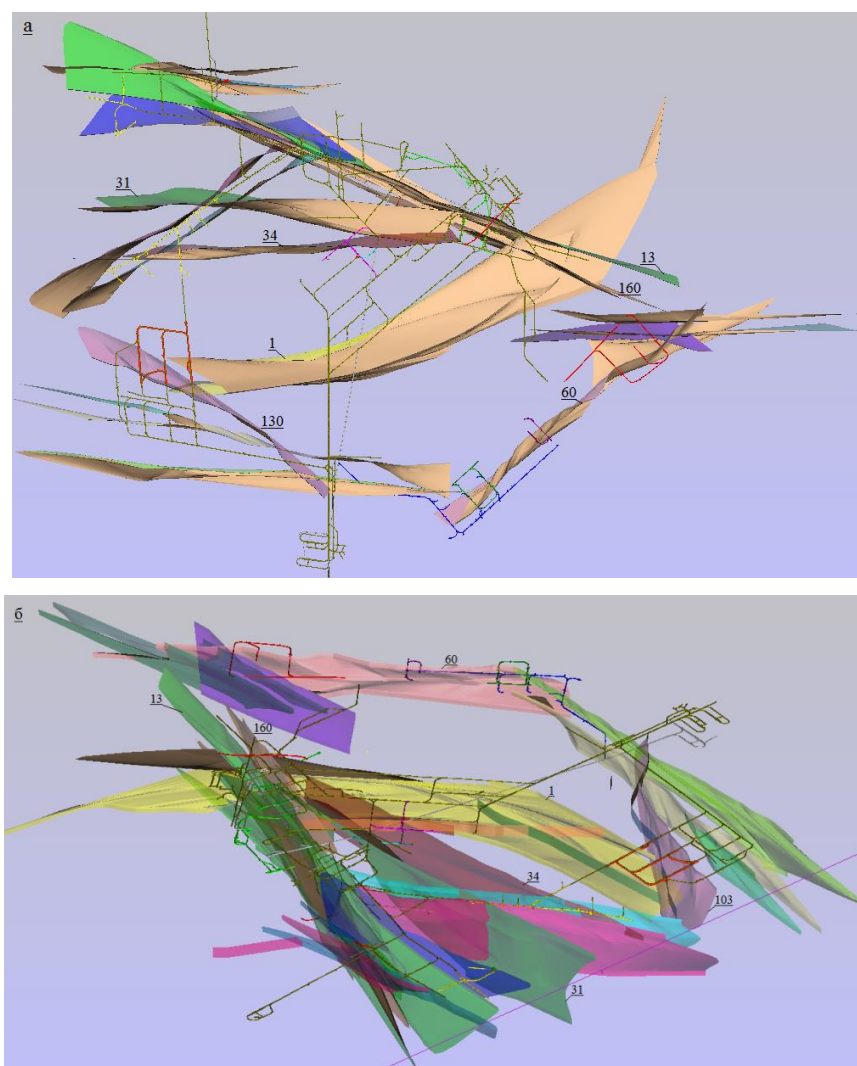


Рисунок 6.16 – Модели разломов месторождения «Антей»:

а – вид сверху; б – аксонометрическая проекция.

Также было выполнено трехмерное моделирование топоповерхности района ведения горных работ, осуществлена следующая последовательность операций:

1. Импорт файлов формата *.dxf в GEOTECH-3D;
2. Привязка точек и линий топоповерхности по геодезическим координатам;
3. Разнос точек и контуров по высотным отметкам;
4. Разнос контуров по разным элементам (изолинии топоповерхности, карьеры, отвалы, дороги);
5. Создание триангуляционной модели топоповерхности.

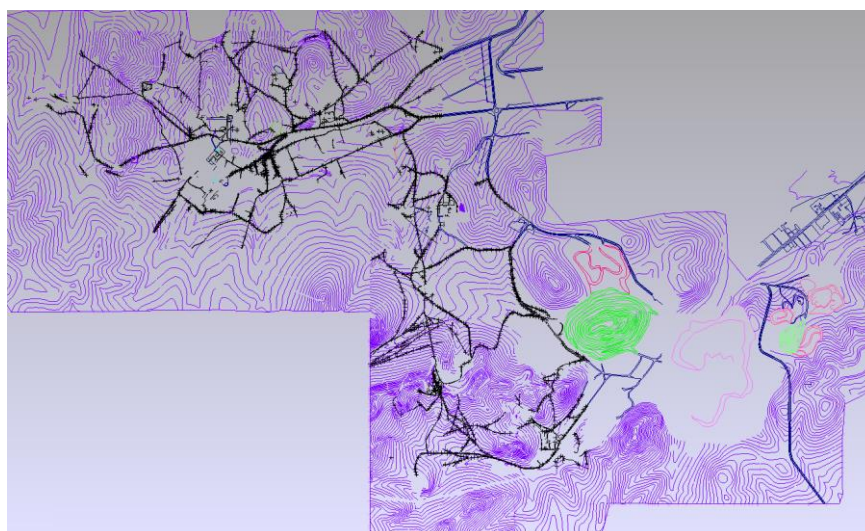


Рисунок 6.17 – Векторная модель топоповерхности (вид сверху).

В результате была получена трехмерная модель топоповерхности (рисунки 6.17, 6.18).

Была создана автоматически пополняемая база данных расчетных вариантов НДС

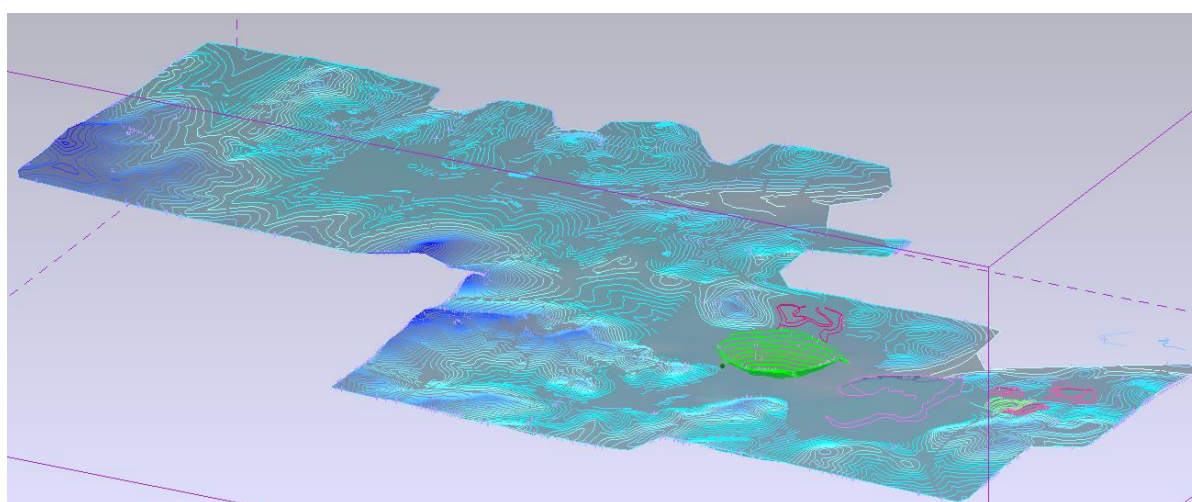


Рисунок 6.18 – Триангуляционная модель

для месторождения Антей. База данных содержит: перечень разработанных геомеханических моделей, их геометрические параметры, вид граничных условий, перечень рассчитанных вариантов модели, координаты узлов сети конечных элементов, свойства учтенных типов пород, описание элементов модели (номера узлов, описывающие каждый элемент). По каждому варианту есть информация по элементам с заданными в них типами породы и полученными расчетными показателями тензора напряжений. Отображение результирующей информации о поле напряжений и деформаций реализовано как в векторном виде, так и в виде блочной модели (рисунок 6.19).

Для визуализации может быть сформированы разрезы, ориентированные как

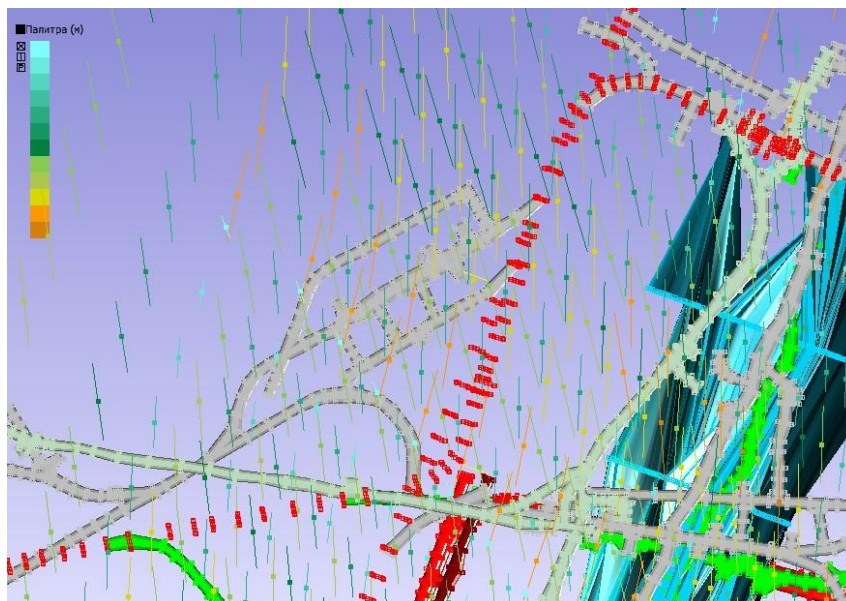


Рисунок 6.19 – Отображение векторов максимальной компоненты напряжений перпендикулярно осям X, Y, Z, так и ориентированные произвольно. Все они могут быть отображены в окнах разрезов. Имеется возможность построить сеточную модель, которая будет отображать изменение значений напряжений или деформаций в плоскости текущего разреза (рисунок 6.20).

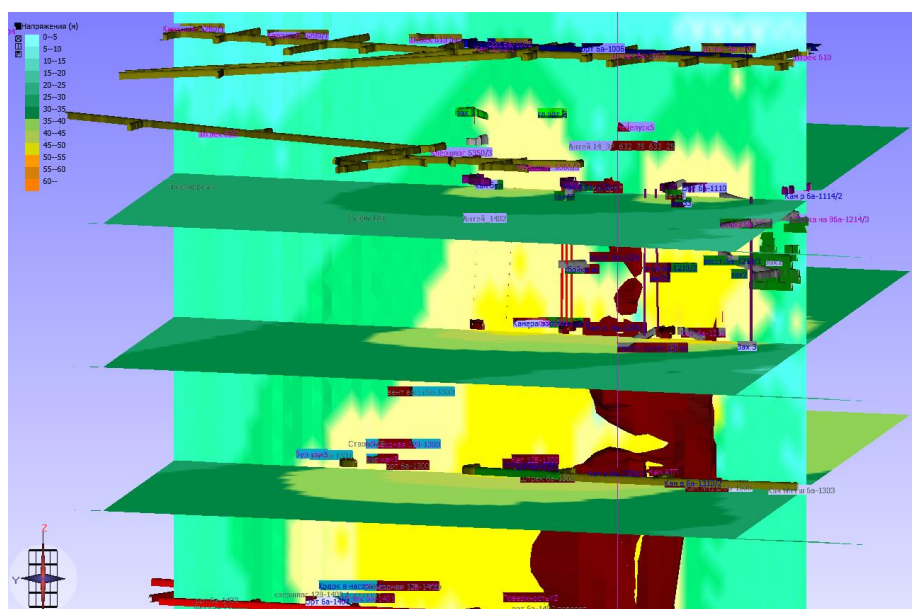


Рисунок 6.20 – Отображение максимальной компоненты напряжения на нескольких разрезах

Для отображения категорий состояния выработок предварительно должен быть загружен файл с данными о напряженно-деформированных состояниях, экспортированный из программного модуля Sigma GT [215]. Для выработок, проходящих

вдоль простирания рудного тела, значение категории задается категориями штрекового направления, а для выработок, проходящих вкрест простирания рудного тела – ортового. Значения категории состояния выработки берется из ближайшей точки с известным значением напряжений к отрезку, соединяющему центры рассматриваемых сечений выработки (рисунок 6.21).

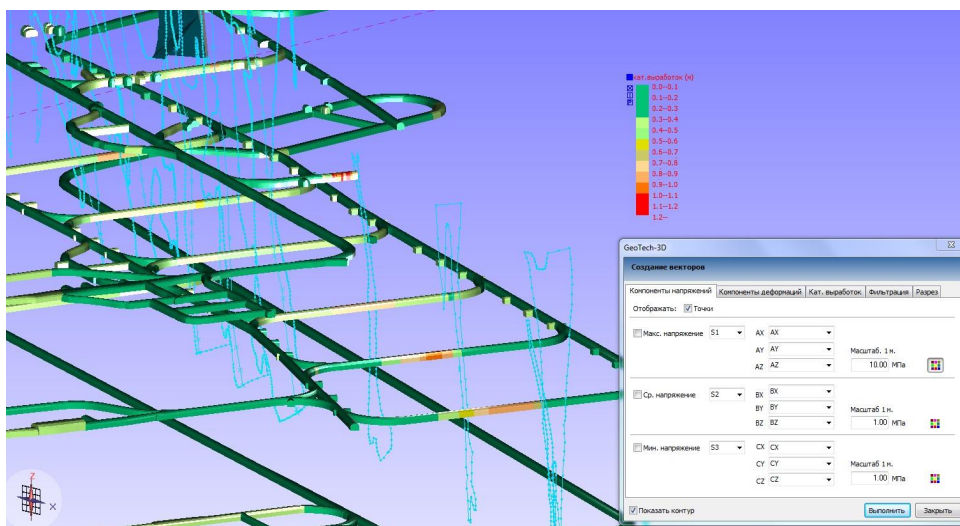


Рисунок 6.21 – Категории состояния выработок

Для визуализации сейсмических событий используются программные инструменты, позволяющие получать характеристики сейсмических событий из базы данных и отображать их в виде плоскостей, имеющих градиентную заливку цветом, установленным по диапазону характеристик (энергия, плотность или коэффициент удароопасности). Плоскость представляет собой прямоугольную сетку (рисунок 6.22). Имеется возможность создать 3 плоскости для отображения:

1. Энергии сейсмических событий;
2. Плотности распределения сейсмических событий;
3. Коэффициента удароопасности.

Плоскости отображения энергии и плотности рассчитываются за определенный период времени, заданный в настройках. Также строятся изолинии энергии сейсмических событий. Дискретность значений энергий, по которым происходит построение изолиний, задаются в настройках.

Для построения плоскости по коэффициенту удароопасности требуется рассчитать этот коэффициент в каждом узле сетки. Для этого используются данные о событиях, расположенных в слое заданной толщины. Значения коэффициента рассчитываются на определенную дату, но с учетом заданного предшествующего периода, заданного двумя параметрами: здесь дискрет – это минимальный промежуток времени в часах; количество

дискретов в этом периоде. Расчет коэффициента удароопасности в точке может быть произведен двумя методами – в сфере заданного радиуса и в кубе заданного размера. Для

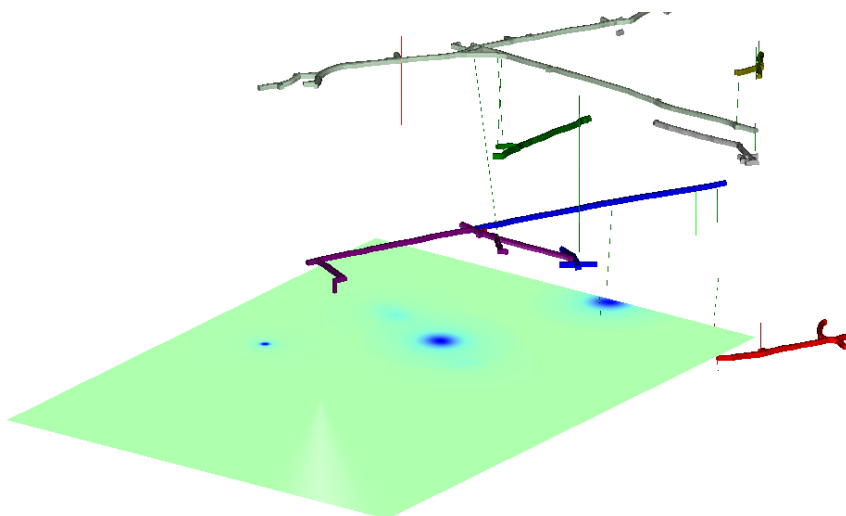


Рисунок 6.22 – Плоскость отображения расчетной сетки

работы инструмента необходимо создать прямоугольную секцию, которая будет ограничивать трехмерную область построения искомых плоскостей.

Результатом работы по моделированию Стрельцовского рудного поля явилось создание геоинформационной системы на базе ГГИС MINEFRAME, обеспечивающей решение задач горной технологии в трёхмерном моделируемом пространстве с использованием геомеханической информации, представленной расчётными полями напряжений и деформаций, а также данными мониторинга сейсмоакустических событий. Возможность использования в едином моделируемом пространстве геологической, технологической и геомеханической информации позволяет принимать более взвешенные технологические и организационные решения, направленные на повышение безопасности и эффективности отработки удароопасных месторождений.

В настоящее время ведется опытно-промышленная эксплуатация геоинформационной системы, в рамках которой зоной ответственности геомеханической службы ОАО «ППГХО» является поддержание в актуальном состоянии крупномасштабной модели месторождения «Антей». По мере развёртывания работ по обеспечению геомеханической безопасности горных работ предполагается создание горно-технологических и геомеханических моделей других эксплуатируемых месторождений, развитие сети мониторинга СС и подключение к геоинформационной системе средств визуализации данных мониторинга деформаций массива горных пород.

Выводы

Обзор опыта применения ГГИС MINEFRAME на горных предприятиях, в научных исследованиях показывает, что разработанные программные средства всё в большей степени превращаются в инструмент, способный комплексно решать широкий круг задач геотехнологии.

Проверка программных средств ГГИС MINEFRAME, реализующих компьютерную технологию проектирования и планирования открытых и подземных горных работ на предприятиях РФ, в режиме геологического моделирования, решения маркшейдерских задач, проектирования и планирования, показала неоспоримое преимущество 3D-представления объектов горной технологии при решении задач инженерного обеспечения горных работ. При этом наличие в рамках единой информационной системы средств моделирования объектов горной технологии, БД технологического оборудования, программных средств визуализации результатов расчёта НДС и мониторинга микросейсмической активности массива, средств имитационного моделирования технологических процессов и технико-экономической оценки вариантов технологических решений создаёт условия для повышения качества работ геологических, маркшейдерских и технологических отделов предприятия, сокращая время принятия решений и повышая безопасность ведения горных работ.

По оценке специалистов горных предприятий при использовании инструментов ГГИС MINEFRAME достигаются явные эффекты повышения производительности труда. Так, подсчет объемов горных работ (в сравнении с традиционными способами на бумаге) способом вертикальных сечений (на блоке в 50 тыс. м3). Время работы традиционным методом складывается из построения вертикальных сечений - 30 минут; определения площадей электронным планиметром в две руки - 10 минут; занесение данных в таблицы расчета -10 минут, итого - 50 минут. Использование автоматизированного инструмента подсчета объёмов на вертикальных сечениях занимает около 6 минут, таким образом производительность труда при выполнении этой операции повышается более чем в 8 раз.

Другим примером является операция прямого импорта и обработки сырых данных с тахеометров. При выполнении этой операции повышение производительности труда составляет примерно 40% относительно, того если отдельно вычислять координаты точек в сторонних программах и только потом импортировать их в ГГИС MINEFRAME.

В 2016г. в ППГХО была проведена работа по анализу результатов внедрения ГГИС MINEFRAME. Было проведено сравнение производственных показателей до начала работы системы и после внедрения её в производство на отдельно взятом подразделении (подземном руднике). По результатам анализа выяснено, что за счёт моделирования и возможностей визуализации горно-технологической и горно-геологической обстановок,

применения автоматизированных инженерных расчётов значительно улучшено качество планирования горных работ. Ожидаемые показатели качества извлекаемой руды при соблюдении плановых направлений горных работ совпадают на 95–98% с полученными по факту отработки. Исключены случаи потерь руды в целиках, так как появилась возможность с любого автоматизированного рабочего места получать информацию о наличии и качестве руды в бортах и кровле горных выработок, и, следовательно, своевременно реализовывать технические решения по доработке оставшихся запасов. Совсем недавно было принято решение о подготовке запасов рудника №8. Благодаря использованию трехмерной модели рудника, реализованной в системе MINEFRAME, при анализе качественных показателей руды и особенностей геологического строения недр, было принято решение о нецелесообразности строительства одного из запланированных ранее подземных горизонтов. Таким образом, удалось избежать существенных капитальных затрат.

Таким образом, можно констатировать, что в диссертационной работе представлено решение актуальной научно-технической задачи – развитие концепции и методологии создания горно-геологической информационной системы и её практическая реализация. Разработаны методы моделирования, алгоритмы и программные средства, составляющие ее основу. Алгоритмы, интерактивные и автоматические программные инструменты позволяют использовать модели различных типов для получения точного и обоснованного решения задач проектирования и планирования горных работ. Структура и состав цифровых моделей и БД, программные средства создания и управление ими, методы решения прикладных задач, способы визуализации моделей и подготовка на их основе технологической документации формируют компьютерную технологию работы с пространственной геотехнологической информацией.

Основные научные выводы и практические результаты проведённых исследований заключаются в следующем:

1. Разработана архитектура ГГИС, предназначенной для решения задач проектирования, планирования и инженерного сопровождения горных работ.

2. Обоснована структура геоинформационной модели объекта горной технологии, обеспечивающая хранение в едином комплексе всей информации о геометрии, местоположении и свойствах таких объектов как рудные тела, пласты, тектонические нарушения, природные и техногенные топографические поверхности, подземные выработки, выемочные блоки, секции и пр. Предложенная структура модели объекта горной технологии позволяет хранить состояния и отслеживать изменение объектов в 4-х измерениях пространства-времени.

3. На основе геоинформационной модели объекта, содержащей в своей структуре комплекс методов для векторного, каркасного и блочного представления горно-геологических объектов, создана ГГИС MINEFRAME, обеспечивающая комплексное решение задач горной технологии в режиме многопользовательского контролируемого доступа к БД.

4. Разработаны структуры БД объектов горной технологии, геологического опробования, горно-транспортного оборудования, и программные средства управления ими.

5. Показано, что создание единого геоинформационного пространства объединяющего данные, получаемые и обрабатываемые геологическими и маркшейдерскими службами, техническими отделами, службами, связанными с мониторингом природных и технологических процессов с помощью унифицированных программных средств и способов доступа и обработки информации в распределённых БД, является необходимым условием эффективной реализации ГГИС на горном предприятии.

6. Разработан системный подход к формированию компьютерной технологии проектирования и планирования горных работ на различных этапах жизненного цикла работы горного предприятия.

7. Внедрение ГГИС MINEFRAME позволило автоматизировать процессы проектирования, планирования и сопровождения горных работ на ряде горнодобывающих предприятий России, среди них: ОАО «ППГХО», ОАО «СЗФК» ОАО «Оренбургские минералы», ОАО «Боксит Тимана», ОАО «Учалинский ГОК», рудники холдингов «АЛРОСА», «РУСАЛ» и др.

8. ГГИС MINEFRAME применяется для проведения научных исследований институтами Российской академии наук – ГоИ КНЦ РАН, Институт угля Сибирского отделения РАН, Институт горного дела Севера Сибирского отделения РАН, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Институт горного дела Уральского отделения РАН.

9. Разработаны и преподаются учебные курсы «Компьютерное моделирование процессов и объектов горной технологии» и «САПР и планирование подземных/открытых горных работ» для студентов горных и геологических направлений в вузах горного профиля.

Наличие разработанного в результате исследований программного функционала для решения широкого круга задач в области открытой и подземной геотехнологии, использование возможности организации коллективного контролируемого доступа к БД, применение встроенных средств подготовки технологической документации, наличие

средств визуализации результатов геомеханического моделирования и мониторинга состояния техногенной среды позволяет говорить о ГГИС MINEFRAME, как о реальной альтернативе импортным программным продуктам. Опыт разработки программного продукта класса ГГИС показывает, что такая система становится инструментом, способным комплексно решать широкий круг задач геотехнологии. Работа над таким инструментом создаёт условия для развития научных направлений, связанных с информационными технологиями в горном деле, что является важным фактором для повышения конкурентоспособности российской горной науки, для реализации идей, развиваемых отечественной горной школой, а внедрение изложенных в диссертационной работе новых, научно обоснованных технических, технологических решений внесут значительный вклад в развитие горнодобывающей отрасли страны.

Список используемой литературы

1. Хохряков В.С. Техничко-экономические основы создания математической модели карьера. - Изв. вузов. Горный журнал. 1963, №11, с. 59-63.
2. Опыт применения современных математических методов и ЭВМ в планировании и проектировании открытых горных работ. Под ред. В.В. Ржевского. М., ЦНИЭИуголь, 1967.
3. Винницкий К.Е., Реентович Э.И. Применение математических методов при проектировании карьеров. М., ЦНИЭИуголь, 1968.
4. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1968. – 460 с.
5. Шехмейстер Ш.Я., Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. и др. Использование математических методов и электронно-вычислительных машин при проектировании горнорудных предприятий/ Горный журнал, 1969, №8, с. 12-16.
6. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. М., Недра, 1969.
7. Васильев М.В., Аленичев В.М., Сивков М.Н. К вопросу представления горно-геологической информации в ЭВМ. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1974, №4, с. 81-87.
8. Хохряков В.С., Яшкин А.З. Математическое моделирование сложноструктурных многокомпонентных месторождений. - Изв. Вузов. Горный журнал. 1976, №9, с. 3-6.
9. Симкин Б.А., Шкута Ю.К. Аналитическое моделирование месторождений и их открытой разработки. М., Наука, 1976.
10. Григоренко А.Г. Статистические методы при разведке недр. Киев, Техніка, 1974.
11. Lerchs H., Grossmann I. F. "Optimum design of open-pit mines", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, vol. 68, pp. 17–24. 1965
12. Хохряков В.С., Ткачев А.Ф. Аналитическое исследование режима горных работ с применением вычислительных машин. - Изв. вузов, Горный журнал, 1964, № 1, с. 36-40.
13. Васильев Е.И., Танайно А.С. Использование ЭВМ для решения горно-геометрических задач открытых горных работ. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1977, № 3, с. 48-57.
14. Квитка В.В., Левин Е.Л. Моделирование открытых горных работ в подсистеме выбора главных параметров полиметаллических карьеров. - Изв. вузов. Горный журнал. 1978, № 11, с. 3-5.
15. Табакман И.Б. Принципы построения АСУ на карьерах. Ташкент, Фан, 1977.

16. Астафьев Ю.П., Давидкович А.С., Бевз Н.Д. и др. Автоматизация планирования горных работ на железорудных карьерах. М., Недра, 1982.
17. Грищенко С.П., Корнеев В.П., Воловик П.Н. Подсистема "Горно-технологический комплекс" в "САПР-Уголь" / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.15-16.
18. Цой С.В., Торшин Г.Г., Молдахметов А.Б. Диалоговый вариант подсистемы "САПР-Вентиляция" / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.61-63.
19. Косов Б.А., Мосин Е.Ф. Опыт и перспективы автоматизации проектных работ в Гипроникеле / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.65.
20. Данилина Г.П. Автоматизация проектирования рудников / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.66-67.
21. Каплунов Д.Р., Малышев В.А., Кремер В.П., Помельников И.И. Оценка горно-технических возможностей подземных рудников в условиях автоматизации проектных расчетов / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.67-69.
22. Верзилов М.И., Попов В.И. Опыт создания и перспективы развития САПР угледобывающих предприятий / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.73-74.
23. Хохряков В.С. Геоинформатика / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.2 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.6-8.
24. Букейханов Д.Г. Автоматизированное проектирование горных работ в "САПР-ОГТ" / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.2 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.12-13.

25. Квитка В.В. Подготовка и принятие решений в САПР-Карьер" / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.2 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.24-25.
26. Сивков М.Н., Беляев В.Л., Сидорова О.В. Подсистема горно-геометрических расчетов для микроэвм МЕРА-60 / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.2 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.42-44.
27. Грицай А.Л., Соловьева В.М., Румянцева О.Н. Совершенствование алгоритма определения направления развития горных работ на основе пространственной модели развития карьера / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.2 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.53-54.
28. Грицай А.Л. Основы классификации моделей месторождений. Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере. Под редакцией акад. Н.В. Мельникова. Л.: Наука, 1981. 280 с.
29. Хохряков В.С., Корнилков С.В., Неволин Г.А., Каплан В.М. Автоматизированное проектирование карьеров. - М.: Недра, 1985. - 263 с.
30. Танайно А.С. Автоматизация проектирования карьеров. Горно-геометрические расчеты. - Новосибирск: Наука, 1986. 193 с.
31. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Часть II. Технология и комплексная механизация. – 4-е изд., перераб. и доп. – М: Недра, 1985. – 549 с.
32. Ганицкий В.И., Даянц Д.Г., Бурштейн М.А. и др. Организация и управление горным производством: Учебник для вузов. – М: Недра, 1991. – 368 с.
33. Введение в геоинформатику горного производства: Учебное пособие. Под редакцией В.С.Хохрякова.2-е издание, Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2001.-198с
34. Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии: Учебник. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2006. - 223 с.
35. Дьяконов В.В., Жорж Н.В. Геоинформационные технологии разведки и поиска месторождений полезных ископаемых неосвоенных территорий: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 163 с.: ил.
36. Астафьев Ю. П. и др. Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом. - Москва : Недра, 1989. - 263 с.

37. Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - 79 с.
38. Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.2 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - 157 с.
39. Перспективные направления научно-технического прогресса в горном производстве: Сб.научных трудов. - Усть-Каменогорск / ВНИИцветмет, 1991. - 191 с.
40. Табакман И.Б., Турецкий А.З. Имитационно-оптимизационные методы планирования работ в карьерах. Ташкент: Фан. 1991, 116 с.
41. Малышев В.А. Моделирование плана горных работ при подземной добыче руд. / - М: ИПКОН АН СССР, 1988. – 108 с.
42. Каграманян С.Л., Давидкович А.С., Малышев В.А. и др. Моделирование и управление горнорудными предприятиями. М: Недра, 1989. – 360 с.
43. Моделирование и управление горнорудными предприятиями. М: Недра, 1989. – 360 с.
44. Анализ систем и управление ими в горном производстве. Сборник научных трудов. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1988. - 90 с.
45. Имитационное моделирование горного производства. Сборник трудов школы-семинара «Имитационное моделирование горного производства. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1990. 117 с.
46. Генкин Ю.Б., Борцов В.Д., Наумов В.П., Назаров В.Н. Принципы организации I очереди АСУКР подсистемы "Геология" / Перспективные направления научно-технического прогресса в горном производстве: Сб.научных трудов. - Усть-Каменогорск / ВНИИцветмет, 1991. - 191 с.
47. Рылов А.П., Тимофеев Е.П. Горная геометрия. М: Недра, 1975. 231 с.
48. Компьютеры и автоматизация инженерного труда / М.: Наука, 1989. - 144 с.
49. Попов Д. Пристрастные заметки о русских разработчиках САПР // [Электронный ресурс] habrahabr.ru URL: <https://habrahabr.ru/company/nanosoft/blog/234221/> (дата обращения: 4.09.2016).
50. Трубецкой К.Н., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. “Геоинформационные системы в горном деле”, электронный журнал Вестник ОГГТГН РАН, №3(5) 1998.
51. Клебанов А.Ф. Опыт и перспективы реализации ГИС-проектов в горном деле. Тезисы докладов Международной конференции: «Проблемы безопасности и совершенствования горных работ» (Мельниковские чтения). - Пермь, 1999, с. 95-96.

52. Практический опыт применения ГИС в горном деле // [Электронный ресурс] www.esri-cis.ru URL: http://www.esri-cis.ru/upload/iblock/903/Mining_BestPractice_RUS.pdf, 2006, 31 с. (дата обращения: 5.09.2016)
53. Игнатов Ю.М. Геоинформационные системы в горном деле. Учебное пособие для студентов очной формы специальности 130402 "Маркшейдерское дело"/ Ю.М. Игнатов. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 205 стр.
54. Хохряков В.С., Корнилов С.В., Писецкий В.Б., Стариков А.Д. и др. Введение в геоинформатику горного производства / Под редакцией В.С.Хохрякова.- 2-е издание, Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2001.-198с.
55. Лаврентьев И.Г. Автоматизированная система геолого-маркшейдерского обеспечения горного производства. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 163-164
56. Свирский М.А., Витковский И.И., Ботвинник В.М., Скорик Г.П. Опыт и перспективы развития САПР «Подземный рудник» В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 192
57. Каплунов Д.Р., Малышев В.А. Методика автоматизированного формирования и выбора вариантов развития горных работ на подземных рудниках ПО «Апатит», Москва: ИПКОН АН СССР, 1986, 47 с.
58. Цыпин Д.А. Предпосылки создания САПР подземного рудника на основе имитационной модели. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 200
59. Чаплыгин Н.Н., Близнюк Г.И., Чуркин О.Е., Мызников А.В., Малиновская М.П. Годовое планирование подземных горных работ на ЭВМ. В сборнике научных трудов «Анализ систем и управление ими в горном производстве. Апатиты: ГоИ КФ АН СССР. 1988, с.15-19
60. Чуркин О.Е., Малиновская М.П. Информационное обеспечение имитационной модели технологии подземной добычи руды. В сборнике научных трудов «Анализ систем и управление ими в горном производстве. Апатиты: ГоИ КФ АН СССР. 1988, с.19-24

61. Чаплыгин Н.Н., Близнюк Г.И., Чуркин О.Е., Мызников А.В., Малиновская М.П. Моделирование развития подземных горных работ. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 209.

62. Чурсин С.М. Автоматизированный выбор систем разработки в рамках САПР. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 195-196.

63. Казьмин М.И., Гармаш А.И., Алиев А.Ю. К вопросу создания подсистемы выбора оптимального варианта системы разработки. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 196-197.

64. Числов А.И. Определение конструктивных параметров систем разработки с применением ЭВМ. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 197.

65. Спицын А.Д., Столповских И.Н., Маркова Л.Н., Алферова Т.А. САПР – транспорта подземных рудников. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 197-198.

66. Лысов Л.В. Обоснование и разработка САПР вентиляции рудников (САПР-ВР). В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 198.

67. Шиповский Г.В., Беспалько Л.Н., Дядечкин Н.И. Метод автоматизированного формирования экономико-математических моделей технологии очистной выемки руды. В сборнике тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. - Москва: МГИ, 1990, с. 199-200

68. Голубев С., Качалин М. ВТ/6 - станция генерации дифференциальных поправок GPS. Современные технологии автоматизации - 1996 №1, с.61-63.

69. Клепко В.Л., Бабич В.Н. Спутниковые методы определения координат пунктов на земной поверхности. Известия вузов. Горный журнал 2009, №5. С. 38-41.
70. Гриценко А.Н. Оценка точности спутниковых систем навигации. Качество минерального сырья/Сборник научных трудов. – Кривой Рог. 2011. с.413-418.
71. Valerie Ussyshkin. Mobile Laser Scanning Technology for Surveying Application: From Data Collection to End-Products FIG Working Week 2009 Surveyors Key Role in Accelerated Development Eilat, Israel, 3-8 May 2009
72. Гусев В.Н., Волохов Е.М. Методические подходы к съемке лазерно-сканирующими системами. М.: Маркшейдерский вестник – 2009, №4. С.19-24
73. Акулова Е.А., Крутиков Д.В. Применение наземного лазерного сканирования для создания цифровой модели местности. Екатеринбург: Известия вузов. Горный журнал 2009, №8. С. 74-78
74. Панишев С.В., Ермаков С.А. Мониторинг производительности драглайна с использованием тепловизионной съемки забоя и системы лазерного сканирования в условиях пластового месторождения криолитозоны. М.: ГИАБ – 2014, №4, с.117-122
75. Азарян А.А., Лисовой Г.Н., Василенко В.Е., Трачук А.А. Экспресс-анализ содержания железа в порошковых пробах рудничными радиометрами ПАКС. Качество минерального сырья/Сборник научных трудов. – Кривой Рог. 2011. -с. 190-201
76. Глушкова Т.А., Давыдов Ю.Б. Ядерно-физическое опробование керна буровых скважин и шлама буровзрывных скважин в условиях открытого рудника. Екатеринбург: Известия вузов. Горный журнал 2015, №8. С. 156-163
77. Наговицын О.В., Корниенко А.В., Баков В.П. Автоматизация решения задач горной технологии в едином информационном пространстве. В сборнике: Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ. Труды Всероссийской научной конференции с международным участием. 2009. С. 188-194
78. Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: Сб.тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23-26 сентября 2008г. – Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. – 328 с.: ил
79. Информационные технологии в горном деле: доклады Всероссийской научной конференции с международным участием. 12-14 октября 2011г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – 238 с.
80. Материалы 12-го Международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». Белгород: ФГУП ВИОГЕМ. - 2013.

81. Busche F. Evolution of the Scheduling Process "... a new approach to mine scheduling." // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 1.9-1.12.
82. Qureshi M.A. Knowledge based production optimization in open pit mining using Big data analytics // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 1.21-1.27.
83. Deutsch M. A Branch and Bound Algorithm for Open Pit Grade Control Polygon Optimization // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 3.1-3.8.
84. Bamford T. Aerial Rock Fragmentation Analysis in Low-Light Condition Using UAV Technology // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 4.1-4.8.
85. Beretta F., Peroni R., Costa J.F. Stockpile Volumetric Survey Using Aircraft Imagery In Comparison with Traditional Methods // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 4.9-4.16.
86. Watson C. Utilizing a Mobile 3D LiDAR Scanner for Infrastructure Sizing Purposes // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 4.23-4.30.
87. Ehrenfeld A., Morales N., Testart J., López S. Virtual Planning Room, intelligent cloud software platform for mine planning // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 4.17-4.21.
88. Jélvez E., Morales N. MIP-based procedure to pushback selection // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 7.1-7.8.
89. Smith M. L., Nogueira L. M. A Comparison of DBS and Nested Pit Stage Design as a Basis for Strategic Planning // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 7.9-7.16.

90. Saliba Z., Dimitrakopoulos R. Simultaneous Stochastic Optimization of an Open Pit Mining Complex // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 9.25-9.31.
91. Rubio E., Jiménez J. Simplan a Mineplanning Tool to Facilitate Planning Under Uncertainty Through the Use of Machine Learning Algorithms // Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017). Golden, Colorado. 2017. P 13.11-13.17.
92. The Whirlwind I computer // [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://gordonbell.azurewebsites.net/computer_structures__readings_and_examples/00000157.htm
93. Джей Форрестер. // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://chernykh.net/content/view/451/663/>.
94. Sketchpad: A man-machine graphical communication system. // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.html>.
95. David E. Weisberg. The Engineering Design Revolution // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.cadhistory.net/>
96. Шенен П., Коснар М., Гардан И., Робер Ф., Робер И., Витомски П., Кастельжо П. Математика и САПР: В 2-х кн. Кн. 1. Пер с франц. - М.: Мир, 1988. - 204 с.
97. Жермен-Лакур П., Жорж П., Пистр Ф., Безье П. Математика и САПР: В 2-х кн. Кн. 2. Пер с франц. - М.: Мир, 1989. - 264 с.
98. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 400 с.
99. Петров А. В., Черненький В. М. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.1. Проблемы и принципы создания САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 143 с.
100. Данчул А. Н., Полуян Л. Я. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.2. Системотехнические задачи создания САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 144 с.
101. Федоров Б. С., Гуляев Н.Б. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.3. Проектирование программного обеспечения САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 159 с.
102. Вейнеров О. М., Самохвалов Э. Н. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.4. Проектирование баз данных САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 144 с.
103. Артемьев В. И., Строганов В. Ю. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.5. Организация диалога в САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 158 с.

104. Нестеров Ю. Г., Папшев И. С. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.6. Выбор состава программно-технического комплекса САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 159 с.
105. Климов В. Е. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.7. Графические системы САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 142 с.
106. Кузовлев В. И., Шкатов П. Н. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.8.: Математические методы анализа производительности и надежности САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 144 с.
107. Черненький В. М. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.9. Имитационное моделирование: 1990. 111 с.
108. Петров А. В., Черненький В. М., Тимофеев В. Б., Артемьев В. И. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.10. Лабораторный практикум на базе учебно-исследовательской САПР: Практическое пособие / -М.: Высшая школа, 1990. - 160 с.
109. Федоренков А.П., Басов К. А., Кимаев А.М. AutoCAD 2000: практический курс / - М.: ДЕССком, 2000. – 527с
110. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). - СПб.: Питер, 2004. - 506 с.
111. Энгельке У.Д. Как интегрировать САПР и АСТПП: Управление и технология / Пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.
112. Хохряков В.С. Геоинформационный метод математического моделирования// Физико-математические проблемы разработки полезных ископаемых / СО АН СССР. – Новосибирск, 1986. - №5.- С.89-94
113. Хохряков В.С. Основы информационного обеспечения САПР горного производства// Известия вузов. Горный журнал. – 1986. - №4
114. Хохряков В.С. Оценка развития САПР горного производства и задачи на 1988-1989 гг. / Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания ч.1 - Алма-Ата: КазПТИ, 1987. - С.3-6.
115. Хохряков В.С., Яшкин А.З. Метод раздельного математического моделирования карьеров на месторождениях сложной формы при календарном планировании посредством ЭВМ. // - Изв. Вузов. Горный журнал. 1971, №4, с. 13-19.
116. Хохряков В.С., Саканцев Г.Г., Яшкин А.З. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров / - М.: Недра, 1977. -200 с.
117. Аленичев В.М. Экономико-математическое моделирование горно-технических задач на рудных карьерах. - М.: Недра, 1983. - 135 с.

118. Симкин Б.А., Шкута Ю.К. Аналитическое моделирование месторождений и их открытой разработки. М., Наука, 1976.
119. Хохряков В.С. Геоинформатика в горном производстве. Тезисы докладов научно-технической конференции. – Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1996. С.5-9
120. Хохряков В.С. Проектирование карьеров: Учеб. для вузов.- изд., переработанное и дополненное. М.: Недра, 1992. – 383 с.
121. Кузнецов О.Л., Никитин А.А, Геоинформатика, М: Недра 1992
122. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформационные системы. Учебник для вузов. – М.: Государственный научный центр Российской Федерации – ВНИИГеосистем, 2005.
123. Цветков В.Я., Геоинформационные системы и технологии. М., Финансы и статистика, 1998.
124. Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Основы геоинформатики. В 2 кн. книга.2. Учеб. пособие для студ. Вузов – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.
125. Шек В.М. Теория и практика создания распределенных асу горнопромышленными системами на основе сом-технологий. Рукопись диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МГГУ, 2000.
126. Шек В.М. Компьютерные технологии создания геологической модели месторождения полезных ископаемых // Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: Сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23–26 сентября 2008 г. - Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. С. 242-245.
127. Пустовойтова Н.А. Обоснование и разработка резонансно-акустического метода оценки плотностного разреза пород кровли горных выработок. Рукопись диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МГГУ, 2008.
128. Внукова Е.А. Геомоделирование производства и потребления минеральных ресурсов на базе нечеткой логики. Рукопись диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МГГУ, 2009.
129. Александрова В.И. моделирование процессов производства и потребления минеральных ресурсов с использованием ГИС-технологий. Рукопись диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МГГУ, 2011.
130. Митракова О. В. Методика и технология создания информационно-аналитических систем мониторинга недропользования. Рукопись диссертации на

соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: ГНЦ РФ ВНИИГеосистем, 2011.

131. Якубович А.Н. Геомоделирование процессов самовосстановления горнопромышленных территорий крайнего северо-востока России. Рукопись диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МГГУ, 2009.

132. Месяц С.П., Остапенко С.П. Компьютерная модель создания биогеобарьера для сохранения складированных отходов рудообогатения // Горная промышленность. 2015. № 6. С. 56-60 (0,5 а.л.) (Импакт-фактор РИНЦ 0,133)

133. Якушев Д.И. Геоинформационное моделирование пространственно-временных геофизических процессов с полигармонической структурой. Рукопись диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», 2008. 700683624 (Retrieved 17:29, September 5, 2016).

134. Галуев В.И. Методика и компьютерная технология физико-геологического моделирования строения земной коры (ГИС Интегро-геофизика). Рукопись диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: ГНЦ РФ ВНИИГеосистем, 2009.

135. Лукичев С.В., Наговицын О.В. Информационная поддержка освоения и эксплуатации месторождений Хибинского горнорудного района. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 6. С. 98-105.

136. Лукичев С.В., Наговицын О.В. Информационные технологии при решении задач проектирования глубоких карьеров и планирования горных работ. В сборнике: Глубокие карьеры. Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Глубокие карьеры» 2012. С. 81-90.

137. Наговицын О.В., Лукичев С.В. Концептуальный подход к моделированию объектов горной технологии средствами MINEFRAME Вопросы осушения, геологии и геоинформатики, геомеханики, специальных горных работ и горных технологий: матер. 12 междунар. симпоз. Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. – Белгород: ВИОГЕМ. – 2013. – С. 238-245.

138. Chiles J.P., Delfiner P., Geostatistic. Modelling Spatial Uncertainty, Wiley Series in Probability and Statistics, Wiley and Sons, 1999. - 695 p.

139. Давид М., Геостатистические методы при оценке запасов руд. Пер. с англ. – Л.: Недра, 1980. – 360 с.

140. Демьянов В., Савельева Е. Геостатистика. Теория и практика. – М.: Наука, 2010. – 327 с.
141. Кумбс Д. Искусство и наука оценки запасов. - Перт: COOMBES CAPABILITY – 2008. 231 с.
142. Мягков В.Ф. О геостатистике при геометризации месторождений. Горный журнал. Известия ВУЗов – 2008. № 1. – С. 54-65.
143. Будрик В.Г., Гуськов О.И., Ежов А.И., Кушнарев П.П., Маркевич В.Ю. Применение методов геостатистики и горно-геологических информационных технологий при госэкспертизе запасов рудных месторождений: проблемы и решения. Недропользование –XXI век – 2010. № 1
144. Coombes J. I'D like to be OK with MIK, UC?: A Critique of Mineral Resource Estimation techniques. - Perth: Coombes capability, 2016.- 261 p.
145. Robles L., Emery X., Ortiz J.M. Geostatistical Simulation of Mineral Grades in the Presence of Spatial Trends // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 33th International Symposium APCOM 2007. Santiago, Chile. 2007. P. 87-94.
146. Rossi M.E. Geostatistical Uncertainty Modeling of Acid Rock Drainage // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 33th International Symposium APCOM 2007. Santiago, Chile. 2007. P. 761-768.
147. Thakur M., Samanta B., and Chakravarty D. Comparison Between Disjunctive Kriging and Multi-Gaussian Kriging to Estimate the Recoverable Reserve for a Beach Sand Deposit in India // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015. Fairbanks, Alaska. 2015. P. 102-110.
148. Pinto F.A.C., Deutsch C.V. Expected Uncertainty as a Function of the Variogram, Data Spacing, and Other Factors // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015. Fairbanks, Alaska. 2015. P. 1149-1161.
149. Капутин Ю.Е. Диагностика системы рудопотоков АО "Апатит" // Горный журнал -1996. № 5. - С. 22-25.
150. Капутин Ю.Е., Ежов А.И., Хенли С. Геостатистика в горно-геологической практике. Апатиты, 1995,- 188 с.
151. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. / СПб.: Недра, 2002. - 424 стр.

152. Капутин Ю.Е. Системы контроля содержаний (Grade Control) на горных предприятиях. / СПб.: Недра, 2012 г., 330 с.
153. Дюбрюл О., Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных. SEG/EAGE. 2002, - 296 с.
154. Дюбрюл О. Геостатистика в нефтяной геологии. НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, Москва-Ижевск, 2009 г., 256 стр.
155. Фархутдинов А.М., Шанталь де Фуке, Минцаев М.Ш., Черкасов С.В. Применение геостатистики для анализа перспектив эксплуатации Ханкальского месторождения теплоэнергетических вод. // Геоинформатика-2015. № 1. – С. 60-68
156. Bhowmick T., Bandopadhyay S. Geostatistical Prediction of Fugitive Dust Dispersion in Open Pit Haul Roads // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015. Fairbanks, Alaska. 2015. P. 1182-1189.
157. Dowd P.A., Onur A.H. Open-pit optimization-part 1: optimal open-pit design. Transactions of the Institution of Mining and metallurgy. May-August 1993. Vol. 102, Pp. 95-104
158. Shuzhanq Huanq. Computer-based optimization of open-pit mining sequences. Transactions of the Institution of Mining and metallurgy. May-August 1993. Vol. 102, pp. 125-133
159. Askari-Nasab H., Frimpong S., Awuah-Offei K. Intelligent optimal production scheduling estimator // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 32nd International Symposium APCOM 2005. Tucson, USA. London: Taylor & Francis Group. 2004. P. 279-285.
160. Marinho A., Tibe L.M. Traditional Versus Stochastic Mine Planning Under Material Type and Grade Uncertainties // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015. Fairbanks, Alaska. 2015. P. 316-325.
161. Соловьева В.М., Определение контура карьера с применением теории графов. В сборнике трудов Всесоюзной конференции «Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере». 24-26 января 1979 г. Л: Наука. 1981. с. 87-94
162. Коробов С.Д. Разработка оптимизационных методов горно-геометрического анализа при освоении рудных месторождений открытым способом. Рукопись диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 1994, - 325 с.

163. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). - СПб.: Недра, 2004, - 424 с.
164. Билин А.Л., Наговицын О.В., Смагин А.В. Пакет оптимизации границ карьеров. Материалы очно-заочной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии добычи и переработки полезных ископаемых», октябрь 2001г. Новосибирск, октябрь 2001. С. 29-31.
165. Наговицын О.В., Билин А.Л. Смагин А.В. Оптимизация границ карьеров на основе алгоритма проф. С.Д. Коробова. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2002. № 7. С. 244-246.
166. Саканцев М. Г. Обоснование границ карьеров при проектировании разработки сложноструктурных рудных месторождений. Рукопись диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Екатеринбург, 2006, - 285 с.
167. Беляков Н.Н. Обоснование методики определения границ карьеров. Горная промышленность 2015, №6, с. 71-72
168. Димитракопулос Р. Стохастическая оптимизация стратегического проектирования шахт: десятилетие разработок и исследований. Новосибирск, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011, №2, с.5-17
169. Васильев П.В. Оптимизация контуров карьера методом многопоточной обработки блоков руды и породы. Материалы международного симпозиума "Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях". Белгород: ФГУП ВИОГЕМ, 2011, с.137-142
170. Валуев А.М. О моделях и методах оптимизации в задачах проектирования разработки месторождений открытым способом. ГИАБ, Москва – Недра, 2015 - №2, с.197-206
171. Сердюков А.Л., Черепанов А.В., Левин Е.Л., Квитка В.В. Особенности автоматизированного определения границ и рационального графика развития производственной мощности карьера. В сборнике Информационные технологии в горном деле: доклады Всероссийской научной конференции с международным участием, 12 – 14 октября 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. с. 104-109
172. Лессонен М.В., Сень М.С. Определение оптимальных границ ведения ОГР с учетом баланса интересов государства и недропользователя. Недропользование - XXI век 2009, №4 (29). С. 42-45
173. Лессонен М.В., Сень М.С. Обоснование границ ОГР с учетом интересов государства и недропользователя. Горный журнал 2010, №1, с.69-71

174. Твердов А.А., Жура А.В. Никишечев С.Б. Современные методические подходы к определению границ открытых горных работ. Уголь 2009, №2. С. 21-23
175. Бесимбаев Н.Г., Нагибин А.А. Оптимизация этапов развития карьера. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. № 8, с. 112-119.
176. Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory // Bedrock. [2014—2014]. Дата обновления: 13.08.2014. URL: <http://www.ggsd.com/ggsd/index.cfm> (дата обращения: 13.08.2014).
177. Earth science and GIS software // Rockware. [2014—2014]. Дата обновления: 13.08.2014. URL: <http://www.ggsd.com/ggsd/index.cfm> (дата обращения: 13.08.2014).
178. The digital disconnect: problem or pathway? // [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://cdn2.audiencemedia.com/var/site_351/storage/original/application/19ca6fd6d88366be31f04209f8c45636.pdf
179. Герасимов А.В. Компьютерная технология геолого-маркшейдерского обеспечения и проектирования буровзрывных работ на карьерах. - Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004, № 5.
180. Назаренко В.М., Назаренко М.В., Хоменко С.А. Использование ГИС K-MINE для комплексного управления процессами ведения горных работ на горных предприятиях // Геоинформатика. – 2006.– №2.– С. 90-95.
181. Коваленко В.А. Программно-технический комплекс "Blast Maker" - современное решение проектирования буровзрывных работ на карьерах // [Электронный ресурс] <http://www.miningexpo.ru/articles/211> (дата обращения: 5.09.2016)
182. Building Information Modeling – технологии XXI века // УЦСС. [2014—2014]. Дата обновления: 13.08.2014. URL: <http://www.uscc.com.ua/ru/infocentr/stati-i-intervyu/building-information-modeling-tekhnologii-xxi-veka.html> (дата обращения: 13.08.2014).
183. CAE // [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.cae.com/mining
184. Micromine - Intuitive Mining Solutions // [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.micromine.com
185. GEOVIA: Mining Software and Services // [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.geovia.com
186. Maptek // [Электронный ресурс] from www.maptek.com
187. ABB Ventyx // [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.ventyx.com/en/industry/mining
188. Carlson Software // [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.carlsonsoftware.com

189. Лукичёв С. В., Наговицын О. В. Компьютерная технология инженерного обеспечения горных работ при освоении месторождений твёрдых полезных ископаемых // Горный журнал. – 2010. - №9. – С. 15-20.
190. Мельников Н. Н., Лукичёв С. В., Наговицын О. В. Компьютерные технологии - от разведки недр до планирования горных работ // Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: Сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23–26 сентября 2008 г. - Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. С. 9-18.
191. Shannon C.E., Weaver W., (1949), The Mathematical Theory of Communication, Urbana: University of Illinois Press. Foreword by Richard E. Blahut and Bruce Hajek; reprinted in 1998.
192. Лукичёв С.В., Наговицын О.В., Белоусов В.В., Ким А.В., Мельник В.Б. Внедрение системы автоматизированного планирования и сопровождения горных работ. – Горный журнал, № 9, 2004, С.78-80.
193. Лукичев С.В., Наговицын О. В. Автоматизированная система MineFrame 3.0. – Горная промышленность, № 6, 2005, С.32-35.
194. Наговицын О. В., Лукичёв С. В. Развитие методов моделирования горно-геологических объектов в системе MINEFRAME // Информационные технологии в горном деле: доклады Всероссийской научной конференции с международным участием 12-14 октября 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – С. 142-147.
195. Лукичёв С.В., Корниенко А.В. Автоматизированное проектирование наземных массовых взрывов на основе трёхмерного моделирования. Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: Сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23–26 сентября 2008г. – Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. - С. 104-109.
196. Берман И.И., Панышин И.П., Каменев Е.А. Пояснительная записка к методике автоматизированного подсчёта запасов полезных ископаемых на ЭВМ ЕС. Апатиты, МТГФ, 1982.
197. Каменев Е.А. Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений хибинского типа. Л.: Недра, 1987.- 188 с.
198. Лукичёв С.В., Наговицын О.В. Комплексная автоматизация решения задач инженерного обеспечения горной технологии средствами системы «MINEFRAME» // Промышленные минералы и научно-технический прогресс: Материалы II Междунар. конф. – М.: ГЕОС, 2007. – С. 144-145.

199. Мельников Н.Н., Лукичёв С.В., Наговицын О.В. Компьютерные методы решения задач горной технологии. Материалы международной конференции «Сырьевая база России». 16-18 июня 2009. – Technische Universitat Bergakademie Freiberg. – С. 31–37.
200. Наговицын О.В., Лукичёв С.В., Алисов А.Ю. Создание единой геолого-маркшейдерской информационной среды для планирования открытых горных работ в системе MINEFRAME // ГИАБ – 2010 IV 2. – С. 336-342.
201. Денискин Ю.И. Особенности аппроксимации обводов параметрическими полиномами в форме Бернштейна. ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ (выпуск 2, номер 2) // [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.mai.ru/~aprg/volume2/v2_n2.htm.
202. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). — М.: Наука, 1977. — 832 с.
203. Котельников В.А. О пропускной способности "эфира" и проволоки в электросвязи // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/links/982157c00508a2b5ac838d7fee6169cc/ufn343.pdf>
204. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. \\ М.: ПОСТМАРКЕТ, 2000. 352 с.
205. Коробов С.Д. Метод определения оптимальной конфигурации карьера на вертикальном разрезе// Проблемы создания САПР горнодобывающих предприятий. - Тула: ТПИ. - 1977.
206. Лукичёв С.В., Наговицын О.В., Свинин В.С. и др. Система автоматизированного планирования и проектирования горных работ GEOTECH-3D-Апатит. – Горный журнал, № 3, 2000, С.56-58.
207. Лукичёв С.В., Наговицын О. В. Комплексное решение задач горной технологии в едином информационном пространстве горного предприятия: Сб. статей. Отдельный выпуск Горного информационного бюллетеня. – Москва, 2009. № ОВ11,- С.37-45.
208. Наговицын О.В., Лукичев С.В., Алисов А.Ю. Организация автоматизации инженерного обеспечения при ведении открытых горных работ. / ГИАБ №9 2012 – с. 32 – 40.
209. Наговицын О.В., Лукичев С.В., Алисов А.Ю. Автоматизированное планирование открытых горных работ в системе MINEFRAME. С.135-141. – Информационные технологии в горном деле: доклады Всероссийской научной конференции с международным участием 12-14 октября 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – 238 с.
210. Гурин К.П., С.П.Целищев, Создание инструментальных средств автоматизированного проектирования подземных массовых взрывов на платформе

системы MINEFRAME, Проблемы и тенденции рационального и безопасного освоения георесурсов: сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Горного института КНЦ РАН. – Апатиты; СПб., 2011. – 585 с.: ил. С. 240-245

211. Ломако Л. С., Гурин К. П. Автоматизированное проектирование подземных массовых взрывов в комплексе "Майнфрэйм" // Горная промышленность. - 2012. - № 2. - С. 47-49.

212. Комащенко В.И., Школа И.Н. Организация, планирование и управление предприятиями горной промышленности. М: Высшая школа, 1980. -352с.

213. Малашев В.А. Моделирование плана горных работ при подземной добыче руд. – М: ИПКОН АН СССР, 1988. -108с.

214. Виттке В. Механика скальных пород: пер. с нем. - М.: Недра, 1990. – 439 с.

215. Лукичёв С.В., Козырев А.А., Наговицын О.В., Семенова И.Э. Оценка геомеханических условий и решение задач планирования горных работ с использованием средств компьютерного моделирования объектов горной технологии // Сборник трудов V Всероссийской научной конференции с участием иностранных учёных «Проблемы комплексного освоения георесурсов», 2-4 сентября 2013 г., Хабаровск. С. 76-83.

216. Лукичёв С.В., Наговицын О.В., Семенова И.Э. Комплексный подход к созданию трехмерной горнотехнологической модели Хибинского горнорудного района // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сб. докл. РАН, Горн. ин-т КНЦ РАН. – СПб: Ре-номе, 2014. – С. 68-75.

217. Kozyrev A.A., Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Semenova I.E. Technological and geomechanical modelling for mining safety improvement // Application of Computers and Op-erations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015. Fairbanks, Alaska. 2015. P. 411-419.

218. Лукичев С.В., Любин А.Н., Звонарева С. В. Моделирование склона и снежного покрова для оценки лавинной опасности. // Вестник Кольского научного центра РАН №2/2016. - Апатиты: КНЦ РАН, 2016. - с. 52-59.

219. Зорин А.В., Земцовская Е.В. Загрязнение атмосферы карьеров Кольского полуострова / Тез. докл. XI Межрегион. научн.-практич. конф., 10-11 апреля 2008 г., Апатиты: КФ ПетрГУ, Ч. 2, 2008. - С.53-54.

220. Мельников Н.Н., Козырев А.А., Лукичёв С.В. Новая концепция разработки месторождений глубокими карьерами. - Горный журнал, 2009, № 11, С.7-11.

221. Мельников Н.Н., Козырев А.А., Решетняк С.П. и др. Оптимизация конструкций бортов карьеров Кольского полуострова в конечном положении: сб. тр. Инновационный потенциал Кольской науки / КНЦ РАН. – Апатиты, 2005.

222. PLM на пороге зрелости // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.osp.ru/os/2011/05/13009419/>.

223. Жизненный цикл продукции по Р 50-605-80-93 // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://tdocs.su/9438>.

224. Лукичев С. В., Наговицын О. В., Морозова А. В. Инструменты компьютерного моделирования для решения геологических задач на горном предприятии. Инновационный потенциал Кольской науки. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2005.

225. Билин А.Л., Смагин А.В. Использование системы вложенных контуров для определения границ карьеров. Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: Сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23-26 сентября 2008 г. – Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. – 328 с

226. Мельников Н.Н., Решетняк С.П., Козырев А.А., Рыбин В.В. О перспективных направлениях развития открытых горных работ // Труды международной конференции «Проблемы и перспективы развития горных наук»; 1-5 ноября 2004 г., Новосибирск, т. II. «Машиноведение. Геотехнологии» Новосибирск: изд-во: Институт горного дела СО РАН, 2006, - с. 212-218

227. Наговицын О.В., Алисов А.Ю. Автоматизация процессов текущего и оперативного планирования открытых горных работ в системе MINEFRAME. Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: Сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23-26 сентября 2008 г. – Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. – 328 с

228. Морозов К.В., Андреев А.А. Визуализация и анализ сейсмической активности с использованием системы MINEFRAME. Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ: Сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23-26 сентября 2008 г. – Апатиты; СПб.: Реноме, 2009 – 328 с.

229. Плякин А.М., Лысов Ю.М., Лушков В.В. К бокситам Тимана (Страницы истории изучения и освоения Тиманской бокситорудной провинции): Монография. – Ухта, 2003. – 424с.

230. Степачева А.В., Николаев Ю.М. Создание геологической модели Киембаевского месторождения хризотил-асбеста. Компьютерные технологии при

проектировании и планировании горных работ: Сб.тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23-26 сентября 2008 г. – Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. с. 162-166.

231. Новые хибинские апатитовые месторождения / под ред. Е. А. Каменева, Д. А. Минеева. — М.: Недра, 1982

232. Свинин В. С., Звонарь А. Ю., Запорожец В. Ю. Стратегическое планирование — основа стабильной работы предприятия // Горн. журн. — 2009. — № 9.

233. Мельников Н. Н., Федоров С. Г. Инновационный проект освоения месторождения Олений ручей в Хибинах // Горн. журн. — 2010. — № 9.

234. Козырев А. А., Семенова И. Э., Аветисян И. М. Геомеханическая модель Хибинского массива как основа прогноза напряженно-деформированного состояния при отработке запасов действующих и перспективных апатитовых месторождений // Тр. Всерос. конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». Т. 1. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011.

235. Козырев А. А., Панин В. И., Семенова И. Э. Управление геодинамическими рисками на Хибинских апатитовых рудниках // ГИАБ. — 2010. — № 12.

236. Инструкция по безопасному ведению горных пород на рудниках и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99) / Колл. авторов. — М.: ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. — 66с.

237. Шабаров А.Н., Филинков А.А., Рассказов И.Ю. и др. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождении Антей, опасном по горным ударам. — СПб.: Изд. СПбГГИ, 2008.

238. Разработка трехмерной геологоструктурной модели месторождения Антей как основы геомеханической модели для прогноза проявления горных ударов // Отчет о НИР (окончательный по 2 этапу) по договору № 10-05/10270 от 17.02.2009 г. между ИГЕМ РАН и ОАО «ППГХО»; отв. исп. В.А. Петров. М., 2009.

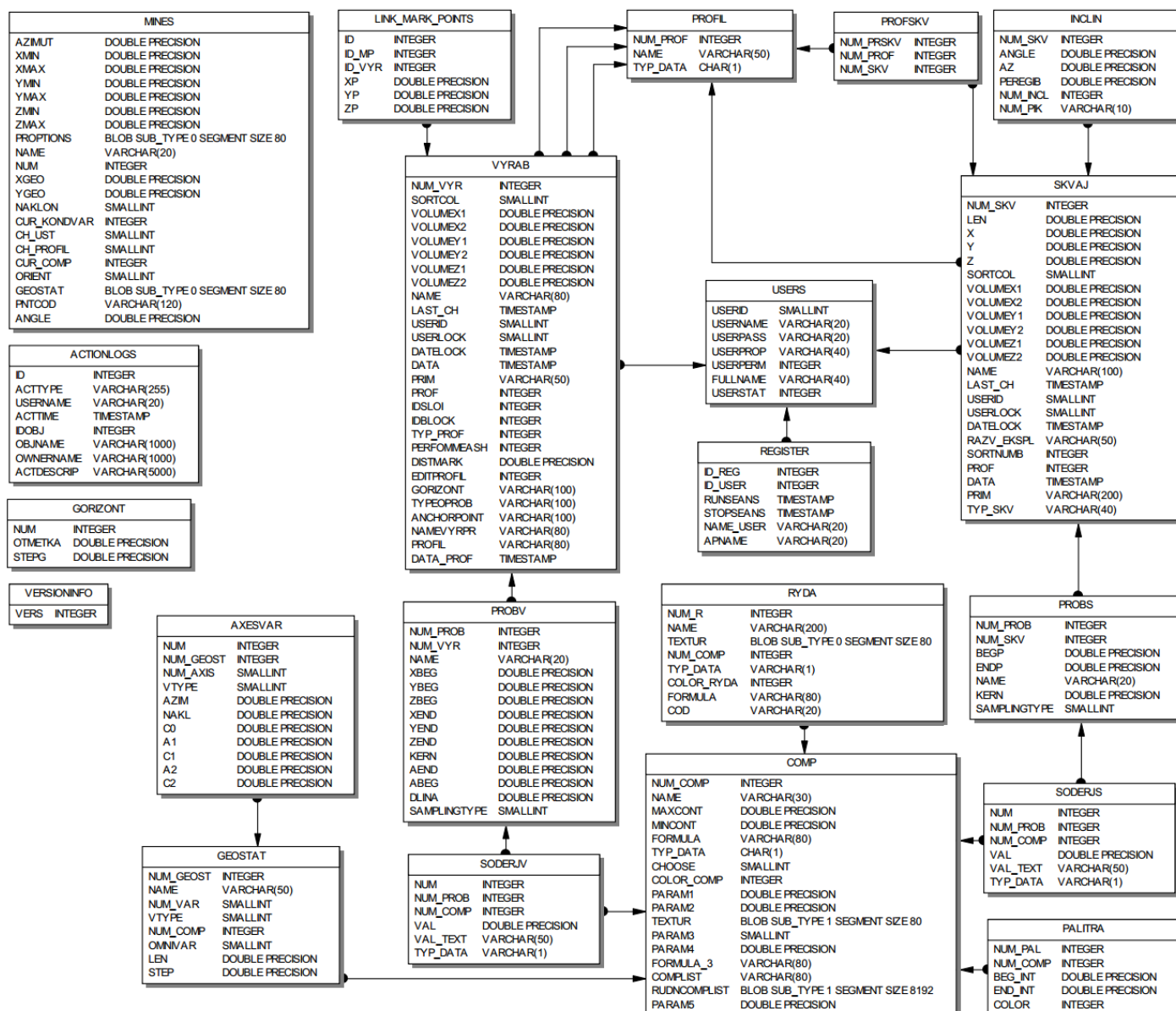
239. Лаверов Н.П., Петров В.А., Полуэктов В.В., Насимов Р.М., Хаммер Й., Бурмистров А.А., Шукин С.И. Урановое месторождение Антей - природный аналог хранилища ОЯТ и подземная геодинамическая лаборатория в гранитах // Геология рудных месторождений. Т. 50, № 5, 2008. С. 387-413.

240. Игнатьев М.Б., Путилов В.А., Смольков Г.Я. Модели и системы управления комплексными экспериментальными исследованиями, М.: Наука, 1986. 231с.

241. Хохряков В.С. Проектирование карьеров: Учеб. Для вузов. — 3-е изд., перераб. И доп. — М.: Недра, 1992. — 383 с.: ил.

[illegible]

Структура базы данных геологического опробования



Структура базы данных горно-транспортного оборудования

