

Наговицын Олег Владимирович

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

Специальность 25.00.35

«Геоинформатика»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Екатеринбург

2018

Работа выполнена в Горном институте Кольского научного центра РАН
Научный консультант

доктор технических наук С.В. Лукичёв

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Потапов Вадим Петрович

доктор технических наук, профессор Рахимбеков Сармантай Мадиевич

доктор технических наук, профессор Степанов Юрий Александрович

Ведущая организация: Институт горного дела Дальневосточного отделения
Российской академии наук

Защита состоится 26 декабря 2018 года в 10.00 на заседании диссертационного
совета Д 004.010.02 при Институте горного дела УрО РАН,
по специальности 25.00.35 «Геоинформатика»

по адресу: 20075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58

Тел. (343) 350-2186, Факс (343) 350-2111.

E-mail: panzhin@igduran.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института горного дела УрО
РАН.

Автореферат разослан ____ _____ 201_ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук

А.А.Панжин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 горно-транспортного 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 диссертационной работы являются информационные системы автоматизированного проектирования, планирования и сопровождения горных работ.

Предмет исследования – комплекс взаимоувязанных 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.

Научные положения, представляемые к защите:

1. Концепция формирования ГГИС, базирующаяся на сочетании методов управления реляционными базами данных, трёхмерного 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 контуры, состоящие 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 программных средств для хранения и обработки цифровых моделей объектов горной технологии в БД, которые обес-

печивают многопользовательский режим работы и масштабирование ГГИС при обеспечении персонифицированного 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 позволяющего хранить состояния 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 ГИС MINEFRAME в Горном институте Кольского научного центра 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 ГИС 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.

ГИС 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 ГИС MINEFRAME. ГИС 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 2015 г.

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 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 информа-

ции 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 «Наукоёмкие 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 Freiburger, 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 горно-промышленном 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. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация, объемом 339 страниц, 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 долготелее 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, Неvedрову А.С. за качественное воплощение совместных идей и алгоритмических находок, реализованных в ГГИС MINEFRAME, к.т.н. А.Л. Билину и О.В. Белгородцеву 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Освоение минерально-сырьевых ресурсов связано с решением комплекса технологических и социально-экономических задач, в основе которых лежат знания о потребностях в ресурсах данного вида, условиях их извлечения и переработки. Использование компьютерных методов решения задач горной технологии связано не только с необходимостью повышения производительности труда инженерно-технических специалистов, но также с тем, что без применения информационных технологий невозможно добиться ни максимально полного извлечения полезного ископаемого из недр, ни необходимого уровня автоматизации технологических процессов разработки полезных ископаемых.

Современное состояние теории и практики построения ГГИС, разработок алгоритмов решения задач геологического моделирования, автоматизированного проектирования и планирования горных работ основано на трудах и исследованиях большого числа ученых, среди которых можно выделить работы В.М. Аленичева, Ю.П. Астафьева, Ю.П. Ашанова, А.А. Ботвинника, Д.Г. Букейханова, А.М. Валуева, Васильева П.В., А.В. Герасимова, А.С. Давидковича, В.А. Дунаева, В.В. Ершова, С.Д. Коробова, Ю.Е. Капутина, В.В. Квитки, С.В. Корнилова, Е.Л. Левина, С.В. Лукичева, В.А. Мальцева, М.В. Назаренко, Б.Р. Ракишева, Е.В. Ригина, В.В. Ржевского, С.С. Серого, М.Н. Сивкова, Б.А. Симкина, В.Ф. Съедина, И.Б. Табакмана, А.С. Танайно, К.Н. Трубецкого, С.А. Хоменко, В.С. Хохрякова, Н.Н. Чаплыгина, О.Е. Чуркина, В.М. Шека, С. V. Deutsch, R. Dimitrakopoulos, P.A. Dowd, I.F. Grossman, R.A. Halatchev, S. Henley, W. Hustrulid, I.K. Kapageridis, H. Lerchs, G. Matheron, A.H. Onur, J. Whittle.

История становления и развития ПО, нацеленного на решение задач горной технологии, насчитывает более 50 лет и началась фактически с появле-

ния вычислительных машин в горнодобывающей промышленности и связанных с ней геологоразведочных, проектных и научных организациях. Развитие ПО шло от автоматизации решения отдельных расчётных горно-геологических задач к двумерному, а затем и трёхмерному моделированию объектов горной технологии и комплексного решения на этой основе проблем инженерного обеспечения горных работ.

За этот период времени параллельно шло развитие вычислительной техники и методов обработки информации, которые оказали влияние на то, какой облик приняли современные ГГИС. Среди них можно выделить собственно смену нескольких поколений вычислительных машин – от 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 систем управления базами данных привело к тому, что постепенно все ГГИС, наряду с использованием бинарных и текстовых файлов, стали приобретать средства для хранения информации с помощью реляционных систем управления базами данных (СУБД) признанных проприетарных 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 реалистичной трёхмерной графики, обрабатывающей миллионы графических примитивов, визуализируя в трёхмерном пространстве объекты с заданным освещением, тенями и текстурами с применением технологий OpenGL и DirectX. Появились библиотеки, реализующие широкий набор математических, статистических, графических алгоритмов, параллельные вычисления, на основе которых стала возможной более качественная разработка прикладного ПО, это – CGAL, OpenCV, OpenCL, WebGL, PhysX, CUDA, MAGMA и множество других.

Развивались и методы моделирования ОГТ. На начальных этапах развития ГГИС существенные ограничения в доступных вычислительных ресурсах приводили к созданию моделей, основанных на таких приемах как растровое (полурегулярное блочное) представление геологических разрезов и бортов карьеров (В.В. Квитка, Е.Л. Левин), задание поверхности борта карьера с помощью изолиний (Ю.К. Шкута, В.М. Каплан), построение линий бровок в плане по линиям на поперечных разрезах (А.С. Танайно, В.М. Аленичев, М.Н. Сивков, А.Л. Грицай), аналитическое представление исследуемых геологических признаков в пространстве недр (В.В. Ершов, А.С. Дремуха).

В основе современных методов инженерного обеспечения горных работ (в рамках решения геологических, маркшейдерских и технологических задач) лежит использование трёхмерных (3D) цифровых моделей, как носителей информации о геометрических размерах, пространственном положении, физико-механических, технологических и технико-экономических свойствах объектов горной технологии. Структура и состав цифровых моделей и баз данных (БД), программные средства создания и управления ими, методы решения прикладных задач, способы визуализации моделей и подготовки на их основе технологической документации формируют компьютерную технологию работы с пространственной геотехнологической информацией.

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 САМАРА. 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.

Некоторые системы имеют в своем составе модули, реализующие диспетчеризацию горнотранспортного оборудования и оперативного управления процессами добычи полезного ископаемого.

Анализ состояния проблемы позволил сформулировать 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.

Промышленными 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: АО «Апатит», ПАО «ППГХО», ОАО «СЗФК», ОАО «Боксит Тимана», ОАО «Оренбургские минералы», ОАО «КТК» и другие. Разнообразие применяемых технологий и методов ведения горных работ 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.

На защиту выносятся следующие положения:

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.

Специфика горного производства заключается в том, что информационное сопровождение технологических процессов базируется на использовании большого объема разнородной информации. Логика построения информационных систем, предназначенных для обработки этой информации, приводит к необходимости применения либо большого количества узкоспециализированных программных продуктов, либо связующих программных компонентов, либо использования суперсистемы, охватывающей все информационные аспекты производственной жизни предприятия. В чистом виде эти варианты не встречаются, первый - в силу того, что трудно обеспечить устойчивую работу системы, отдельные компоненты которой развиваются по самостоятельным не связанным между собой планам, второй - по причине крайней сложности создания, настройки и обслуживания такой системы. Чаще всего информационные системы горных предприятий формируются как конгломерат различных по значимости программных средств, полностью или частично охватывающих процесс производства товарной продукции.

Любые действия, связанные как с изучением месторождения, так и его разработкой, предполагают получение и обработку информации, на основании которой формируются стратегия и тактика ведения горных работ. Вся совокуп-

ность действий при подготовке и ведении горных работ на месторождении и связанное с ними информационное обеспечение схематично могут быть представлены в виде моделей объектов, меняющихся под воздействием моделей технологических процессов (рис. 1). Эффективность отработки месторождения в значительной степени зависит от объема и качества информации, используемой при проектировании, планировании и реализации горных работ.



Рисунок 1 - Структурные связи системы информационного обеспечения горных работ

На начальном этапе работ анализ существующего программного обеспечения позволил сформулировать целевую направленность создаваемой ГГИС – комплексное решение геологических, маркшейдерских и технологических задач для подземного и открытого способов разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых на основе учёта зарубежного опыта решения подобных задач и практики работы российских горнодобывающих предприятий, современных математических и алгоритмических подходов. На этой основе был сформулирован концептуальный подход к созданию ГГИС, который включает в себя следующие положения:

1. Структура цифровой модели объекта горной технологии должна быть универсальной и обеспечивать хранение в едином комплексе 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, а структура ГГИС - обеспечивать развитие функционала и реализацию его возможностей с минимальной модификацией программного ядра системы.
4. Способ хранения информации в БД и действий с цифровыми моделями должен обеспечивать многопользовательский режим работы и масштабирование ГГИС при обеспечении персонифицированного контролируемого доступа к БД.
5. ГГИС должна обладать встроенными средствами формирования отчетной текстовой, табличной и горной графической документации, тесно интегрированными с моделирующей средой и объектами моделирования.
6. Развитие системы должно быть направлено на создание инструментов моделирования технологических процессов и формирование на их основе экономико-математических моделей вариантов систем разработки.
7. Состав и функционал ГГИС должен обеспечивать формирование компьютерной технологии инженерного обеспечения горных работ применительно к условиям конкретного горнодобывающего предприятия.

При этом ГГИС должна удовлетворять следующим требованиям, обеспечивающим её использование и развитие:

- Наличие развитого функционала в области геологического моделирования, решения маркшейдерских задач, проектирования и планирования горных работ;
- Реализация естественной и простой для визуализации и понимания структуры горно-геологических данных;
- Обеспечение требований к высокой скорости обработки данных;
- Наличие простых и интуитивно понятных пользовательских интерфейсов.

Разработка сложной информационной системы, к которой, безусловно, относится ГГИС, невозможна без формирования её архитектуры, от логики построения которой во многом будет зависеть качество программного продукта. Изменения в архитектуре сопряжены со значительными модификациями кода программного продукта, поэтому при разработке системы целесообразно использовать модульный принцип формирования её составных частей. В соответствии с этим принципом необходимо сформировать набор функциональных блоков и выстроить необходимые логические связи между ними, что позволит упростить и упорядочить дальнейшее развитие системы. Такой подход позволяет получить следующие преимущества:

1. Повышается надёжность системы в целом и упрощается поиск и устранение ошибок, т.к. в разделенной на модули структуре легче выделить функциональный блок, в результате работы которого возникает ошибка, и устранить её.
2. Упрощается наращивание функциональных возможностей системы, 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.

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

$$K_{\text{ггис}} = \{GG, M, DB, O, P\}$$

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:

$$O = \{MT, M, Attr\}$$

MT – множество типов моделей ОГТ;

M – способы моделирования;

Attr – множество атрибутов моделей ОГТ.

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:

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

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. 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. 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.

Система 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.

$$C = Cg \cup Cs \cup Cu \cup Co$$

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

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

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

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.

$$GG_i = \bigcup_j GG_{ij}, j = \overline{1, N_i}$$

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:

$$P_1 = \{Pm, Psys, Pa\}$$

где

P_m - основные программы:

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

$Psys$ – 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:

$$P_2 = \{Pg, Psr, Pu, Po, Pmg, Pio, Pgr\}$$

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 горнографической документации.

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

$$P_3 = \{Pvec, Ptr, Pbm, Pmsh, Pint, Pclc\}$$

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:

$$P_4 = \{Pva, Pmst, Pla, Pcg, Pcgr, Por, Pmtx\}$$

где

Pva – операции векторной алгебры;

$Pmst$ – методы математической статистики;

Pla – методы линейной алгебры;

Pcg – методы вычислительной геометрии;

$Pcgr$ – методы компьютерной графики;

Por - математические методы исследования операций;

$Pmtx$ – операции над матрицами.

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

$$D_j = \bigcup_i D_j^i, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$$

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.

$$R_p = \{(p_i, d_j), p_j \in P_i, d_i \in D\}, i = \overline{1, |P|}, j = \overline{1, n}$$

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

$$r_{w_j} = \begin{cases} (d_j, p_i), \text{ если действие } d_j \text{ зависит от подцели } p_i; \\ (d_j, d_i), \text{ если действие } d_j \text{ зависит от действия } d_i. \end{cases}$$

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 .

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

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

где

IN – отношение задача - множество входных данных Da ;

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

$$IN_i = \bigcup OUT_{i+1},$$

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

$$Da_{iN}^{i-1} = \bigcup_{tt_i \in Tt_{i-1}} IN(tt_i),$$

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.

Реализация КМ привела к разработке следующих компонентов самого верхнего уровня структуры (рис. 2) ГГИС MINEFRAME:

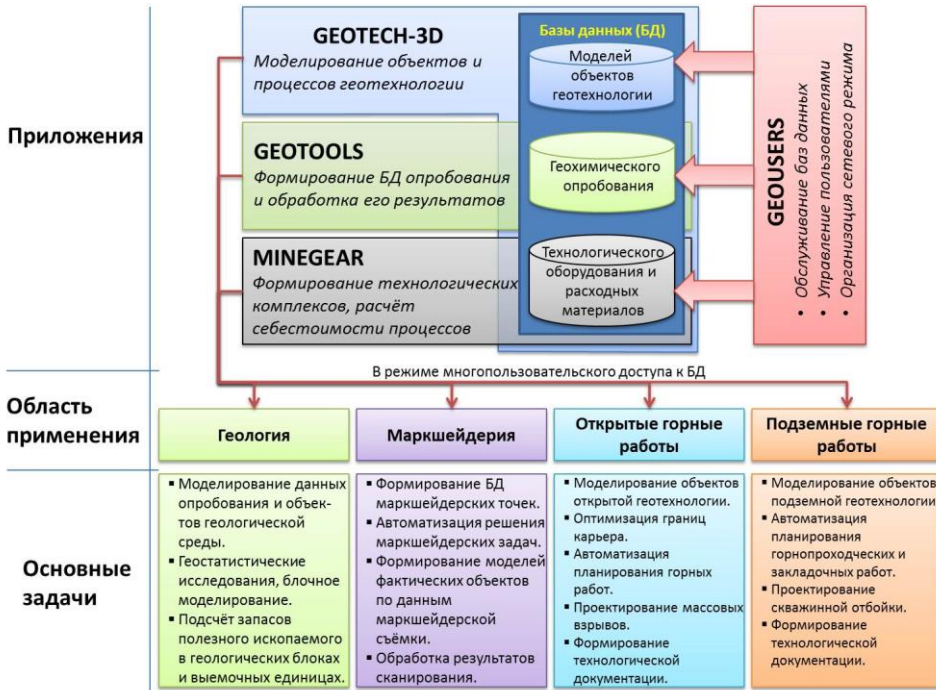


Рисунок 2 - Структура ГГИС MINEFRAME

1. Редактор БД ГО GEOTOOLS – это многооконный специализированный редактор, предназначенный для работы с многокомпонентными пробами из скважин и выработок (борозд, траншей, профилей). В своем составе редактор имеет средства экспорта, импорта данных, их сортировки и выборки, группировки проб для выделения кондиционных и сортовых интервалов, составления отчетов. Данные опробования могут быть отнесены к определённым разведочным профилям, блокам и типам, например, детальной и эксплуатационной разведки.

Редактор позволяет работать со следующей информацией: координатами устьев скважин, замерах искривления ствола скважины (инклинометрия), опробованием скважин и выработок (траншей, борозд) с указанием содержаний компонентов и описанием проб, литологией, кондиционными интервалами, геологической колонкой.

2. GEOTECH-3D является основным компонентом ГГИС MINEFRAME. Программа предназначена для визуализации моделей объектов горной технологии и предоставления необходимого графического интерфейса при решении задач геологического моделирования, планирования, проектирования и сопровождения горных работ. Для реализации этих возможностей имеются программные средства создания цифровых моделей геологических проб, маркшейдерских точек, рудных тел, горных выработок, выемочных единиц, конструктивных элементов и узлов системы разработки, природных и техногенных поверхностей (топоповерхности, карьеры, отвалы). Имеется возможность подключения БД ГО с целью использования построенных на ее основе моделей геологических проб при геологическом моделировании, и БД ГТО для обеспечения процессов планирования горных работ информацией о характеристиках применяемого горного оборудования и технологических комплексов.

В основе архитектуры GEOTECH-3D (рис. 3) лежат несколько функциональных блоков, решающих специализированный набор задач. Ключевым элементом приложения являются классы объектов, с помощью которых осуществляется моделирование объектов горной технологии. Именно они содержат данные и методы, необходимые для моделирования предметной области.

Помимо создания моделей с помощью инструментальных средств, для ввода информации в систему из других источников предусмотрен модуль импорта данных, с помощью которого модели объектов горной технологии создаются на основе информации из других программных систем. Модуль экспорта данных позволяет передавать информацию в виде моделей объектов или чертежей в другие программы.

На основе информации, сформированной в виде моделей объектов горной технологии, можно получать графическую документацию в стандарте горной графики. С этой целью в системе MINEFRAME разработан классификатор,



Рисунок 3 – Составные части и модули GEOTECH-3D.

с помощью которого в систему вносятся правила о способах отображения на

разрезах и планах линейных, точечных и площадных объектов в различных масштабах. Классификатор взаимодействует с редакторами легенд, условных знаков, типов линий и штриховок, штампов и рамок, что обеспечивает вывод чертежей в стандартах горной графики, и взаимодействие с базой данных для сохранения информации о правилах отображения объектов и с менеджером объектов для назначения правил отображения отдельным элементам моделей. Подготовка типовых чертежей выполняется с применением шаблонов чертежей, видовых экранов, штампов и элементов зарамочного оформления. Для отображения результатов моделирования разработана подсистема визуализации. Она включает в себя пользовательский интерфейс интерактивного управления отображением - поворот, перемещение, изменение масштаба сцены.

Функционирование таких блоков системы, как технологические инструменты, визуализатор и классы ОГТ, сопряжено с выполнением различных геометрических расчётов, для решения которых разработаны модули, содержащие наборы функций аналитической геометрии, расчётов в декартовой, полярной, цилиндрической и сферической системах координат, матричных преобразований и вычислений, решения систем линейных уравнений, алгоритмы триангуляции, построения блочных моделей и т.д.

Управление режимами отображения объектов горной технологии, 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, их модификации, элементы управления отображением объектов, средства для назначения классификатора на различные элементы объектов.

3. Редактор БД ГТО – MINEGEAR обеспечивает работу с БД горного оборудования, запасных частей, расходных материалах. Имеется функционал формирования технологических комплексов, используемых в процессе планирования горных работ. При составлении месячного графика работы горного оборудования БД ГТО служит источником информации о типах, списочном составе и производительности ГТО, графике планово-предупредительных ремонтов. БД ГТО содержит сведения о производителях техники и расходных материалов, типах и моделях оборудования, его основных технологические характеристики и параметры, единицы измерения.

4. Программа обслуживания баз данных ГГИС MINEFRAME – GEOUSERS обеспечивает работу с БД коллективного пользования, которая становится основным источником горно-геологической информации на предприятии, что, в свою очередь, выдвигает ряд требований для обеспечения сохранности данных: использование надежного SQL сервера управления БД; ограничение круга специалистов, имеющих доступ к БД (достигается формированием списка пользователей и процедуры аутентификации); разграничение уровня доступа специалистов различного профиля к моделям объектов, хранящимся в БД; блокировка изменения тех моделей, которые в данный момент редактируются другими специалистами; автоматическое ведение журнала изменений моделей объектов с возможностью восстановления удаленных или измененных объектов; ведение

протокола работы пользователей системы; наличие средств архивирования, восстановления и ремонта БД. Выполнение эти требований обеспечивает возможность ведения специфических для каждого специалиста работ в едином информационном пространстве моделей ОГТ.

Таким образом, 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.

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 контуры, состоящие из упорядоченного набора точек; элементы, характеризующих семантическое наполнение, принятое для каждой разновидности модели.

Развитие методов моделирования месторождений, подземных рудников и карьеров привело к тому, что из множества предложенных способов осталось несколько устоявшихся, общепринятых, с которыми работают все распространённые ГГИС:

- *Векторная* модель, которая служит для создания основы формы объекта, ее составными частями являются точки, отрезки, контуры, сетки, реализующих, как правило, кусочно-линейную аппроксимацию кривых
- *Триангуляционная* модель – необходима для задания поверхности объекта набором треугольных полигонов, опирающихся на исходные точки векторной модели
- *Блочная* модель – дискретизирует трехмерное пространство недр прямоугольной (как правило) трехмерной сетью и несет информацию о свойствах регулярно расположенных точек - центроидов блоков.

Основное достоинство сочетания таких методов моделирования - это компромисс между потребляемыми вычислительными ресурсами, точностью и адекватностью представления горно-геологической информации, простотой создания и обработки, а также удобством поддержки моделей в актуальном состоянии.

В ГГИС MINEFRAME принят подход к моделированию, основанный на использовании органически присущей горным объектам структуры. Каждый горно-геологический объект имеет структуру, отражающую присущие ему особенности, например, карьер как геометрический объект, состоит из моделей го-

ризонтов, 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.), контактах тел и пластов; триангуляционных моделях, формирующих поверхность объекта; блочных моделях, характеризующих пространственное распределение опробованных компонентов и вычисленных характеристик. Таким образом, любой объект можно представить, как совокупность связанных субмоделей – векторных, триангуляционных, блочных. Соответственно и инструменты работы с такими моделями объектов обрабатывают их как единое целое.

Такой подход позволяет органично реализовать концепцию «живых» моделей, когда изменение одних субмоделей приводит к последовательному изменению других. В некоторых случаях модели могут существовать и независимо друг от друга, обычно это происходит при импорте данных из других систем моделирования, где такая связь отсутствует.

Реализовано три основных типа моделей горно-геологических объектов (рис. 4): модель геологического опробования месторождения (Mexр), модель сети съемочного обоснования (Msg) для выполнения маркшейдерских работ и модель объекта горной технологии (Mogt).

Основой модели ОГТ является набор сечений (несущих плоскостей), на которых располагаются векторные части модели – контуры с точками и отрезками. Сечения (фактически, это геологические разрезы или разведочные линии, горизонты карьера, поперечные сечения подземных выработок) могут быть как параллельными, так и не параллельными. Важной структурной частью моделей являются так называемые «элементы», которые необходимы для выделения естественных или технологических разновидностей внутри объекта моделирования. Геометрическую структуру векторных моделей различных типовых объектов горной технологии можно представить в виде таблицы:

Объект	Уровень 1 (сечения)	Уровень 2 (списки элементарных объектов - контура)	Уровень 3 (элементарные объекты)
Карьер	Горизонты	Бровки, съезды, валы, гипсометрия площадок, бергштрихи	Точки, узлы, отрезки
Рудное тело	Разрез, профиль, разведочная линия	Контакты литологических или кондиционных разновидностей	Точки, узлы
Прирезка, блок БВР	Подшова, площадка, границы на разрезах	Линии, описывающие геометрию блока, местоположение и конструкцию взрывных скважин	Точки, узлы, отрезки
Подземная выработка	Сечения	Линии, описывающие сечения выработок и их конструктивных элементов	Точки, узлы

В основе модели объекта горной технологии 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.). Не параллельные сечения, в основном, используются для создания объектов, имеющих ломаную ось, например, подземные выработки. К сечениям принадлежат точки и контуры. Они формируют векторную модель и могут относиться к различным элементам, каждый из которых может иметь свою каркасную и блочную модель.

Каждый элемент содержит свой список свойств – характеристик, который может динамически изменяться. Триангуляционная сеть построена на точках контуров и формирует поверхность элемента, а, следовательно, его геометрию и размеры. Так как контуры формируются на одном наборе сечений, существует возможность создания каркасных моделей с использованием точек, принадлежащих разным элементам. Это обеспечивает необходимую гибкость, как в случае формирования каркасных конструкций с общей границей, так и в случае построения каркасных моделей, опирающихся на векторные модели нескольких элементов, например, верхняя и нижняя бровки уступов карьера.

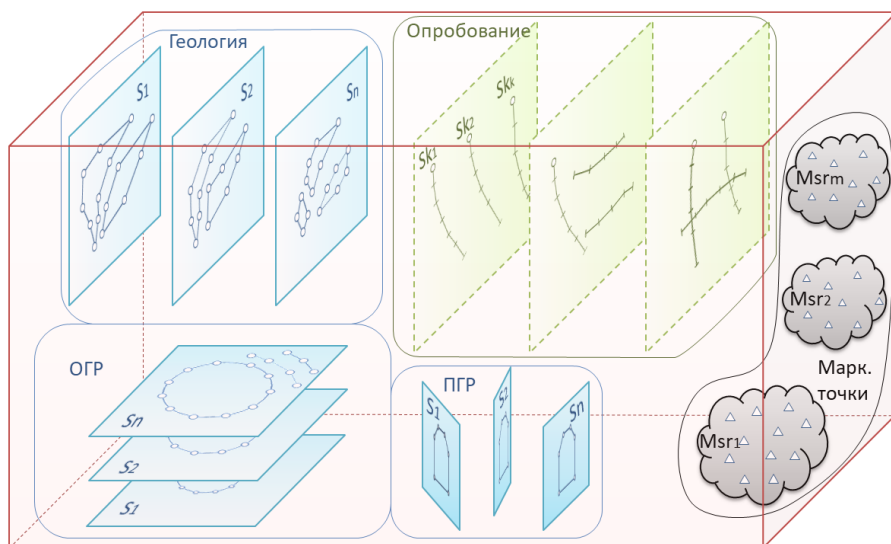


Рисунок 4 – Диаграмма множеств моделей объектов горной технологии.

Модель опробования используется для представления данных геологического разведки. Модель состоит из списка свойств и набора объектов (скважин, выработок, траншей, борозд), для каждого из которых существует список проб, которые, в свою очередь, содержат список компонентов ПИ со значениями содержаний или иных характеристик. Каждая проба в исходном состоянии моделируется отрезком в трехмерном пространстве, координаты начала и конца которого для скважин определяются с учетом координат устья и данных замеров

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 композитирования (нормализации), суть которой сводится к формированию из последовательного набора исходных линейных проб разной длины нового набора проб равной длины.

Модель сети съемочного маркшейдерского обоснования используется для представления опорных точек маркшейдерских расчетов. В основе модели лежит набор маркшейдерских точек с числовыми и текстовыми характеристиками.

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.

Итак, область моделируемого трехмерного пространства недр будет включать совокупность множеств объектов этих трех типов:

$$M = \{Mexp; Msr; Mogt\}$$

Где

$Mexp$ – множество разведочных выработок состоящих из подмножеств скважин Sk и разведочных каналов, траншей, борозд Trc . Которые, в свою очередь формируются множествами проб $Msmpr$, состоящими из двух элементов ($Psmpr_1, Psmpr_2$), являющимися точками начала и конца пробы, в случае точечной пробы одна из них отсутствует.

$$Mexp = Sk \cup Trc$$

$$Sk = \bigcup_i Sk_i, i = 1, K1$$

$$Trc = \bigcup_i Trc_i, i = 1, K2$$

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

$$Msr = \bigcup_i Msr_i, i = 1, M$$

$$Msr_i = \bigcup_j Mpnt_j, j = 1, M1$$

$$Mogt = \{S, E, T, B, Attr\}$$

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 $Pnt = (Pnt_1, Pnt_2, \dots, Pnt_{n3})$.

$$Pln = \bigcup_i Pln_i, i = 1, N1$$

$$Cnt = \bigcup_i Cnt_i, i = 1, N2$$

$$Pnt = \bigcup_i Pnt_i, i = 1, N3$$

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 $B_l = \{B_{l1}, B_{l2}, \dots, B_{ln7}\}$.

$Attr$ – множество атрибутов модели, 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:

$$U = Msm \cup Msr \cup Mogt$$

или

$$U = (Sk \times Msm) \cup (Trc \times Msm) \cup (Msr \times Mpnt) \cup (Pln \times Cnt \times Pnt)$$

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

$$IN \subset Msm \vee IN \subset Msr \vee IN \subset Mogt$$

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

$$OUT \subset Msm \vee OUT \subset Msr \vee OUT \subset Mogt$$

Объектно-ориентированный подход к моделированию ОГТ

Разработанная структура 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, графические элементы, компоненты доступа к БД, элементы интерфейса пользователя и взаимодействия с другими программами, и прикладные – объекты горной технологии, модель месторождения и ее части, элементы системы разработки и пр.

Обобщенная схема объектов системы MINEFRAME и их связей проиллюстрирована как диаграмма классов (рис. 5). Объект верхнего уровня системы MINEFRAME реализует наиболее общие функции для всех своих «потомков»,

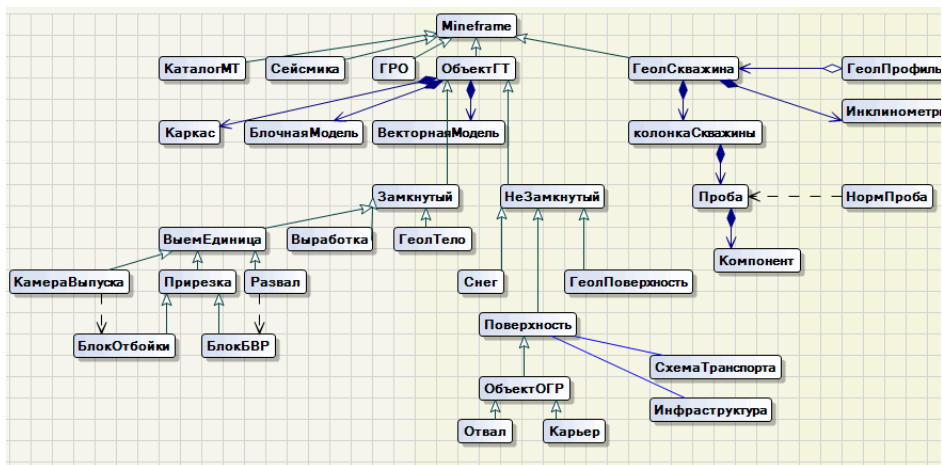


Рисунок 5 – Схематичное представление классов MINEFRAME

например, запись/чтение БД и хранит различные атрибуты. Объекты следующего уровня реализуют собственные специфические алгоритмы, например, подсчет объемных и качественных показателей, отображение в трехмерном пространстве и на разрезах. 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.

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.

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.

В состав ГГИС MINEFRAME входят программные средства для решения прикладных, вспомогательных и служебных задач. Инструменты и программные модули ГГИС базируются на едином моделирующем ядре, унифицированном доступе к объектам, хранящимся в БД, и единообразном пользовательском интерфейсе (рис. 6). За все время развития системы разработан комплекс взаимосвязанных инструментов и модулей, формирующих автоматизированные рабочие места маркшейдеров, геологов, горных технологов.

Практически все автоматизированные инструменты, решающие техно-

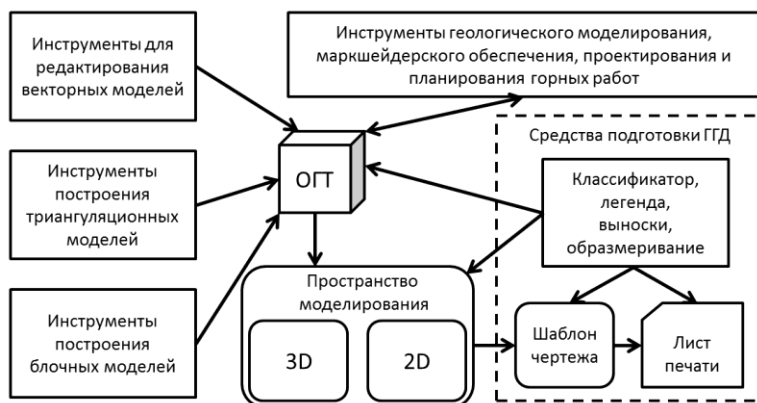


Рисунок 6 – Унифицированный подход к решению прикладных задач

логические задачи, используют унифицированный принцип работы с ОГТ. Все операции проводятся с выбранным объектом, им может быть, собственно, ОГТ, его сечение, контур и точка, а также их группы. Работа с выбранным объектом происходит единообразно для операций удаления, перемещения, копирования и дублирования. Узкоспециализированные программные инструменты требуют выбора объекта определенного типа.

Геологическое моделирование. Цель геологического моделирования состоит в том, чтобы на основе ГО построить трехмерные модели геологической среды, которые будут использованы для подсчета запасов ПИ, при проектирова-

нии и планировании горных работ. Связь приложений MINEFRAME и основных инструментов моделирования, связанных с ГО и БД ГО показана на рисунке 7.

Модель сети ГО состоит из набора объектов (скважин, борозд, траншей), для каждого из которых существует список проб, которые, в свою очередь, содержат список компонентов ПИ со значениями содержаний или иных характеристик. Важной задачей является выделение кондиционных и сортовых интервалов скважинного опробования. Алгоритмы их выделения основаны на стандартных подходах и реализуют различные методики, характерные для разных типов месторождений.

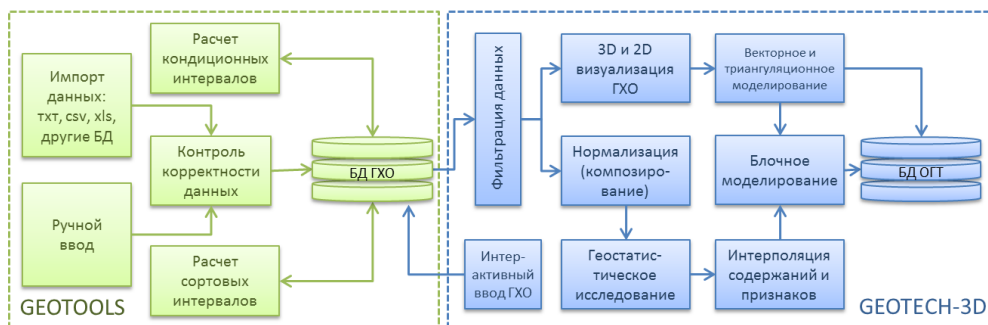


Рисунок 7. - Связь средств ГГИС MINEFRAME, БД ГО и инструментов геологического моделирования

Моделирование триангуляционное, блочное. Триангуляционное моделирование является основным приемом при моделировании практически всех объектов горной технологии и геологической обстановки, имеющих поверхность: незамкнутую - рельеф местности, открытые и подземные выработки, насыпи; замкнутую - здания и сооружения, рудные тела, пласты и пр.

Для разных типов объектов реализованы (рис. 8) несколько стандартных способов построения триангуляционных моделей, которые могут использоваться в сочетании друг с другом и отдельно.

Инструменты построения и обработки блочных моделей необходимы для представления пространственного распределения в недрах природных компонентов и сформированных на их основе технологических и экономических показателей. Блочные модели используются для подсчета запасов, оптимизации границ карьеров, горно-геометрическом анализе, планировании открытых и подземных работ. Для обеспечения таких расчетов реализованы средства переблокировки блочных моделей, позволяющие перестроить блочную модель с другими параметрами (рис. 9).

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

Для нахождения зависимостей, описывающих изменчивость содержания полезного компонента, используются методы теории пространственной переменной – геостатистики. Инструменты геостатистического анализа

позволяют проводить исследование месторождения с целью получения значений содержания полезных компонентов в любой точке массива в пределах рудных тел, включающий подбор теоретических вариограмм по направлениям и осуществление перекрестной проверки математической модели изменчивости.

Заключительный этап анализа является кригинг – нахождение наилучшей оценки средневзвешенного значения содержания полезного компонента в блоке. Для оценки пространственной переменной используются

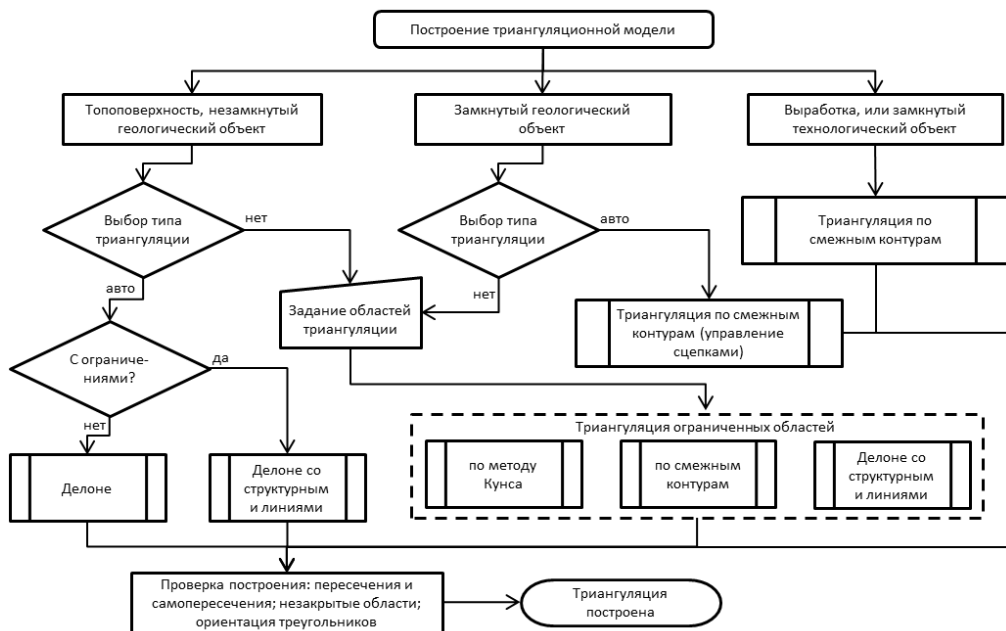


Рисунок 8. – Диаграмма способов построения триангуляционных моделей

значения опробования как внутри, так и вне оцениваемого блока, с весами, обеспечивающими минимум дисперсии оценки. При верно выбранной модели вариограммы получается близкое к истинному среднее содержание данного компонента по оцениваемым запасам.

Модуль маркшейдерских расчетов. Основой для решения маркшейдерских задач является каталог точек маркшейдерского обоснования (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 и лазерного сканирования. Результаты расчёта в виде моделей маркшейдерских объектов отображаются в трёхмерном моделируемом

пространстве, что обеспечивает визуальный контроль над выполненными вычислительными операциями.

В конечном итоге результаты маркшейдерских измерений и расчетов реализуются в виде векторных и триангуляционных моделей подземных выработок, карьеров, отвалов.

Инструменты САПР. С помощью средств геометрического

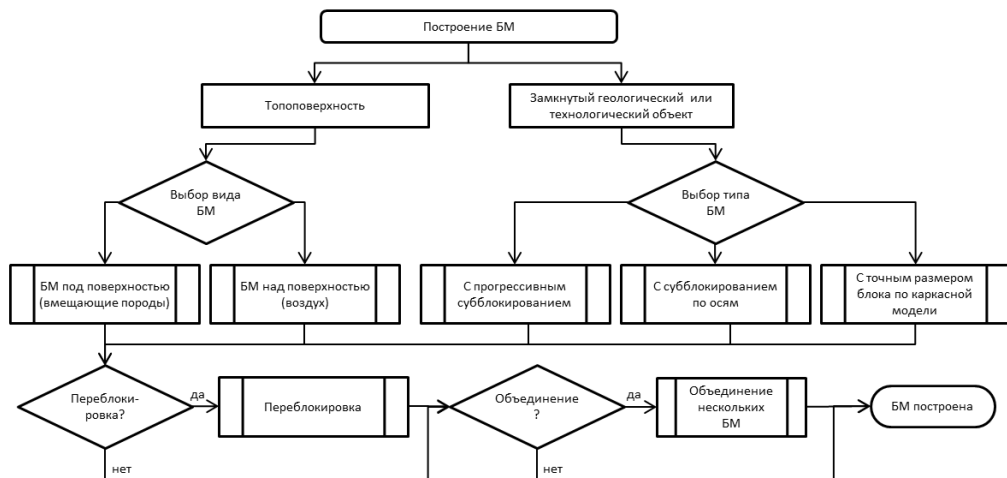


Рисунок 9 – Построение блочной модели

моделирования задается форма моделей, добавляются и редактируются их части, проводится проверка их взаимного положения в трехмерном 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.

Средства визуализации и генерации ГГД необходимы для перехода от трехмерных моделей проектируемых объектов к их двумерному представлению с обеспечением точной привязки, образмериванием и описанием. При формировании чертежей используются средства построения разрезов и планов, автоматического вынесения сеток, оформления элементов чертежа в соответствии со стандартами горной графики.

Проектирование горных работ. К проектной части относятся средства геометрического моделирования и, в частности, инструменты моделирования открытых и подземных горных выработок. Они позволяют задать точную форму и размеры моделей, добавлять и удалять их части, проверить их взаиморасположение в трехмерном пространстве. Разработаны средства

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 заданной конструкцией; формирование схем вскрытия ОГР и ППР; построение моделей насыпных сооружений, в том числе отвалов.

Установление границ карьеров производится 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.

Расчет объемов ПИ и вскрышных пород является подзадачей для многих других процессов проектирования и производится 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 горно-геометрического анализа решаются посредством вариантного выбора углов рабочего борта, заложения траншей и порядка разработки месторождения, выбора оптимальных направления углубки и развития горных работ в контуре карьера. Производятся расчеты объемов, качества ПИ, коэффициентов вскрыши, показателей потерь и разубоживания, присущих каждому варианту.

С помощью вариантного подхода могут быть решены задачи обоснования производительности и срока службы карьеров, параметров системы разработки, выбор схемы вскрытия. 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 связано с анализом горно-технических условий разработки месторождения. Здесь модели геологической среды являются источником сведений о физико-механических свойствах пород, их распределении 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.

Построение планов горных работ осуществляется 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.

Проектирование массовых взрывов на ОГР и ПГР. Процесс проектирования взрывного блока на ОГР (рис. 10) состоит из следующих этапов: создание трёхмерной модели взрывного блока; расчет основных параметров буровзрывных работ; автоматизированное размещение моделей скважин 1-го и 2-го контурных рядов, скважин по площади блока с помощью электронной палетки; формирование моделей фактических скважин; использование моделей скважинных зарядов; формирование схемы коммутации.

Инструмент проектирования МВ для подземных работ позволяет решать следующие задачи: учет геотехнологических объектов, попадающих в область проектирования при формировании веера скважин; использование данных по обуренным скважинам; создание, зарядание скважин на основе заданных шаблонов; создание модели границы отбойки; формирование отчетной документации по проекту массового взрыва.

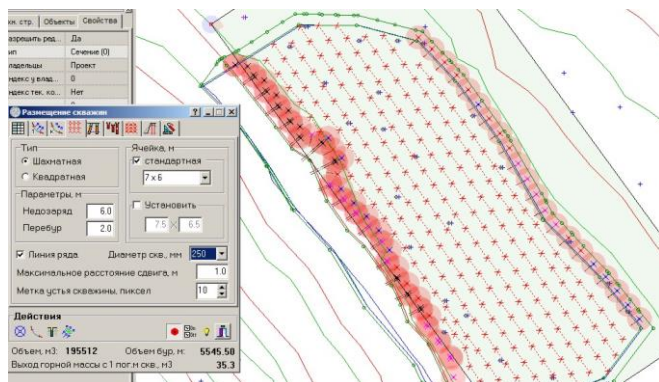


Рисунок 10 – Формирование моделей скважин при проектировании массового взрыва на ОГР

Планирование горных работ. Для решения задач планирования предназначены инструменты вариантной оценки объемных и качественных показателей выемочных единиц, построения графиков работы оборудования, управления рудопотоками и др. Исходными данными для процесса планирования являются плановые показатели добычи по объему и качеству руды, объемы выемки вскрыши, направление развития горных работ, положение карьера и объемы вскрытых и готовых к выемке запасов ПИ на начало планируемого периода, модель геологической обстановки, особенности

размещение транспортных коммуникаций, производительность основного горно-транспортного оборудования и многие другие технологические параметры. Формируемые в процессе планирования модели прирезок создаются специальными инструментами геометрического моделирования. В их структуре содержится информация об объеме и качестве ПИ с разбивкой на разновидности горных пород, представленных моделями геологических объектов (рудные тела, пласты, безрудные зоны и т.д.).

Инструменты, предназначенные для интерактивного набора объемных и качественных показателей по руде и вскрыше, используют каркасные модели текущего и конечного положений карьера, а также геологические блочные модели. Они основаны на применении объемного шаблона рабочей зоны с заданными параметрами по каждому уступу: угол откоса уступа, ширина площадки, максимально допустимая подвижка вглубь борта и ограничение минимальной шириной рабочей площадки по вышележащему уступу.

Инструмент планирования ОГР на основе системы разрезов предназначен для карьеров (разрезов) со сплошной системой разработки. Он позволяет в интерактивном режиме подбирать объемы ПИ и вскрышных пород на вертикальном разрезе для каждого рабочего уступа, а затем формировать поуступные прирезки в карьере, рассчитывать их объемы и показатели качества для планируемого периода.

При решении задач месячного планирования необходимо задавать расстановку горного оборудования, создавать график работы оборудования по блокам, уступам. Автоматизированные инструменты позволяют создать ежемесячные графики работы экскаваторов и буровых станков. Они содержат информацию о их размещении и объемам работ по горизонтам карьера, их состоянии на каждый день (ППР, выемка руды или вскрыши, перегоны и пр.).

Сменно-суточное планирование обеспечивает контроль нагрузки на добычной забой таким образом, чтобы при соблюдении плановых качественных характеристик суммарного грузопотока достичь его объемных показателей. Модели экскаваторных заходок формируются с учетом направления отработки, они разбиты на множество элементарных подвижек одинакового объема, для каждой подвижки рассчитаны прогнозные показатели качества опробованных компонентов.

Планирование проходки. Модуль планирования проходки позволяет задавать очередность проведения подземных выработок с учетом: выбора типа планируемых объектов – линейные и камерные горные выработки подземных горизонтов и блоков; выбора направления в пространстве проходки выработки, скорости проведения для линейных и камерных выработок, количества забоев в одновременной работе; выбора очередности проведения выработок; планирования проходки с заданного сечения или времени. Реализована возможность расчета расхода материалов и взрывчатых веществ по планируемым горным выработкам на год и поквартально.

Закладочные работы. Автоматизированные инструменты инженерного обеспечения работ по закладке выработанного пространства подземного рудника решают следующие задачи: работа с перемычками, ограничивающими закладочные секции; создание моделей закладочных секций; формирование

актов передачи/возврата секций под закладку; формирование графических материалов; формирование паспорта искусственной кровли; трассировка трубопроводов закладочной смеси.

Визуализация и мониторинг. Программные средства визуализации и мониторинга техногенных и природных процессов помогают повысить безопасность ведения горных работ. Так, геомеханический мониторинг, представленный расчётными полями напряжений и деформаций, а также данными мониторинга сейсмоакустических событий с возможностью совмещения в едином моделируемом пространстве геологической, технологической и геомеханической информации позволяет принимать более взвешенные технологические и организационные решения, направленные на повышение безопасности и эффективности обработки удароопасных месторождений.

Разработанные средства компьютерного моделирования, проектирования и планирования горных работ обеспечивают возможность решения задач геотехнологии с использованием моделей объектов горной технологии с универсальной структурой. Средства решения технологических задач работают в многопользовательском режиме, в едином геоинформационном пространстве горного предприятия. Это обеспечивает унифицированный подход к хранению и обработке данных, необходимых для проектирования и планирования горных работ.

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.

Данные накапливающиеся в процессе разведки и эксплуатации месторождений часто хранятся в разрозненном несистематизированном виде с отличающимися способами хранения (на бумажных или электронных носителях) и в различных форматах. Это приводит к их неэффективному использованию и, в итоге, к снижению уровня организационных и технологических решений при ведении горных работ. Решением этой проблемы является использование геоинформационной системы, объединяющей на основе специализированных программных средств данные всех этапов освоения месторождения, что с учетом быстрого развития вычислительной техники и программного обеспечения является не только возможным, но и необходимым условием эффективной добычи минеральных ресурсов.

Процесс освоения месторождения имеет несколько основных стадий: *изучение* месторождения, *проектирование* и *функционирование* горнодобывающего предприятия. 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.

Существующая в настоящее время отечественная практика эксплуатации месторождений ПИ не предусматривает использование компьютерных технологий инженерного обеспечения горных работ для комплексного решения геологических, маркшейдерских и технологических задач и, как правило, не использует возможности современной вычислительной техники 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.

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 ГГИС. Сложность создания такой системы и компьютерной технологии на её основе 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 особенности выполняемой на каждой стадии работы.

Горное производство имеет дело с геопространственными данными, которые непрерывно изменяются в течение всего жизненного цикла (иногда это десятки лет) предприятия, 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 четырех измерениях пространства и времени. В этом контексте можно отметить несколько особенностей использования средств ГГИС в течение жизненного цикла горного предприятия:

- Применение средств ГГИС должно начинаться уже на этапе геологоразведки для проектирования разведочных работ, моделирования разведочных выработок, 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. Всё это требует предварительного модели-

рования и вариантного подхода к обоснованию проектных решений на основе сравнения экономических параметров рассматриваемых вариантов.

- Строительство и эксплуатация горных предприятий зачастую ведется схожими технологиями, а инженерное обеспечение этих этапов производится одними и теми же средствами ГГИС. Так производится планирование 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 инженерного сопровождения технологического цикла горного предприятия.

- Автоматизированные системы управления технологическим процессами должны на основе плана горных работ не только выдавать поток ПИ заданного качества и объема, но и контролировать перемещение единиц горно-транспортного оборудования в меняющейся во времени конфигурации выработанного пространства.

- Приняв свой законченный вид (в связи с исчерпанием запланированного к отработке ПИ или изменением экономических условий), горное предприятие практически сразу прекращает свой жизненный цикл этапом ликвидации, либо подвергается процедуре реконструкции, которая в той или иной степени повторяет обозначенные выше этапы.

- На стадии геологоразведки и утверждения запасов ПИ формируются геологические 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. 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.

Для учета этих особенностей горного производства, необходима реализация системного подхода к решению задач геологоразведки, проектирования и планирования горных работ. В основе этого подхода лежит представление горнодобывающего предприятия, как сложного объекта, включающего связанные между собой элементы, формирующие модель горного производства. Взаимодействие и изменение моделей элементов в пространстве и времени позволяет описать процессы трансформации массива ГП под воздействием технологических процессов. Объединение в рамках единой программной платформы инструментальных средств моделирования объектов горной технологии, визуализации

зации результатов расчёта НДС массива ГП и мониторинга его геомеханического состояния, имитационного моделирования технологических процессов и их автоматизированной технико-экономической оценки реализует системный подход к решению задач горной технологии на всех этапах жизненного цикла горного предприятия (рис. 11):

Примером предлагаемого системного подхода является работа по геотехнологическому моделированию Стрельцовского рудного поля, как средство для повышения безопасности ведения горных работ на рудниках ПАО ППГХО. Работа включала разработку информационной системы, которая комплексировала геологическое и горно-технологическое моделирование, расчеты НДС и мониторинг сейсмических событий. Это позволило повысить безопасность ведения горных работ за счет того, что на этапе планирования стало возможным предусмотреть мероприятия, снижающие риск динамического проявления НДС массива горных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 используют модели объектов горной технологии 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 подготовки на их основе технологической документации формируют компьютерную технологию работы с пространственной геотехнологической информацией.

Основные научные выводы и практические результаты исследования:

1. Разработана архитектура ГГИС, предназначенная 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 и секции и пр. Предложенная структура модели объекта горной технологии позволяет хранить состояния и отслеживать изменение объектов в 4-х измерениях пространства-времени.

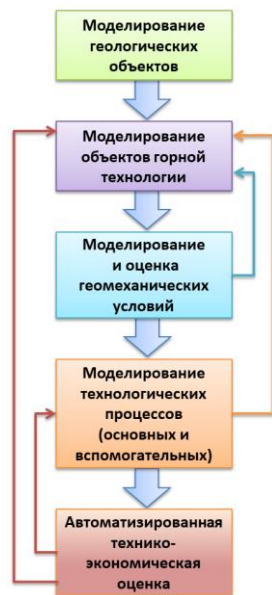


Рисунок 11 – Системный подход к решению задач горной технологии

3. На основе геоинформационной модели объекта, содержащей в своей структуре комплекс методов для векторного, каркасного и блочного представления горно-геологических объектов, набора программных инструментальных средств проектирования и планирования горных работ, создана ГГИС MINEFRAME, обеспечивающая комплексное решение задач горной технологии в режиме многопользовательского контролируемого доступа к БД.

4. Разработаны структуры БД ОГТ, ГО, ГТО, 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 позволяют 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 горной промышленности РФ.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Монографии и учебные пособия:

1. Наговицын О.В. Создание и использование исследовательского пакета программ для определения главных параметров карьера / О.В. Наговицын, С.П. Решетняк, А.Л. Билин // Гл. 5. в монографии «Информационные технологии в горном деле». Апатиты, изд. КНЦ РАН, 1998, ч.1, С. 147-183
2. Наговицын О.В. Компьютерное моделирование при ведении горных работ (учебное пособие) / О.В. Наговицын, В.Г. Едигарьев // Учебное пособие по дисциплине "Основы компьютерного моделирования технологических процессов в рудниках" для студентов специальностей 130404 "Подземная разработка месторождений полезных ископаемых", 130403 "Открытые горные работы". - Мурманск: изд. МГТУ, 2010. - 100 с.
3. Наговицын О.В. Горно-геологические информационные системы - история развития и современное состояние / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Апатиты, изд. КНЦ РАН, 2016. – 196 с.

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки России:

4. Наговицын О.В. Система автоматизированного планирования и проектирования горных работ GEOTECH-3D АПАТИТ / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, В.С. Свинин, В.Ф. Егоров, Б.Л. Коробов, Е.В. Ивановский // Горный журнал. - 2000. - № 3. - С. 56-58.
5. Наговицын О.В. Автоматизация маркшейдерских работ в системе моделирования объектов горной технологии GEOTECH-3D на ОАО «Апатит» / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, В.С. Свинин, Е.В. Ивановский, В.В. Белоусов // Маркшейдерский вестник. 2001. - № 4. - С. 64-68.
6. Наговицын О.В. Оптимизация границ карьеров на основе алгоритма проф. С.Д. Коробова / О.В. Наговицын, А.Л. Билин, А.В. Смагин // ГИАБ, 2002. - № 7. - С. 244-246.
7. Наговицын О.В. Использование системы GEOTECH-3D при геолого-экономической оценке рудных месторождений / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, О.Е. Чуркин // ГИАБ, 2002. - № 12. - С. 143-146.
8. Наговицын О.В. Моделирование геологических и горных объектов в программном комплексе GEOTECH-3D / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2003. - № 2. - С. 13-18.
9. Наговицын О.В. Моделирование рудных пластовых месторождений в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.В. Морозова // ГИАБ, 2004. - № 5. - С. 296-299.
10. Наговицын О.В. Внедрение системы автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, В.В. Белоусов, А.В. Ким, В.Б. Мельник // Горный журнал. - 2004. - № 9. - С. 78-80.
11. Наговицын О.В. Автоматизированное проектирование массовых взрывов в карьерах на основе моделирования разрушения горных пород / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.В. Корниенко // ГИАБ, 2007. Т. 6. - № 2. - С. 126-138.
12. Наговицын О.В. Комплексное решение задач горной технологии в едином информационном пространстве горного предприятия / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // ГИАБ, 2008. - № 2-2. - С. 37-45.
13. Наговицын О.В. Инженерное обеспечение горных работ на основе моделирования объектов и процессов горной технологии / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // ГИАБ, 2009. - Т. 2. № 12. - С. 196-209.
14. Наговицын О.В. Средства автоматизированного планирования открытых горных работ в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, А.Ю. Алисов // Вестник МГТУ, 2009. - Т. 12. № 4. - С. 609-613.

15. Наговицын О.В. Организация работы геолого-маркшейдерской и технологической служб подземного рудника в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.В. Родина // ГИАБ, 2010. - № 3. - С. 381-389.
16. Наговицын О.В. Создание единой геолого-маркшейдерской информационной среды для планирования открытых горных работ в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.Ю. Алисов // ГИАБ, 2010. - № 2. - С. 336-342.
17. Наговицын О.В. Компьютерная технология инженерного обеспечения горных работ при освоении месторождений твердых полезных ископаемых / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Горный журнал. 2010. № 9. - С. 11-15.
18. Наговицын О.В. Решение задач проектирования и планирования открытых горных работ в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.Ю. Алисов // Записки Горного института.- СПб, 2012. Т. 198. - С. 49-54.
19. Наговицын О.В. Организация автоматизации инженерного обеспечения при ведении открытых горных работ / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.Ю. Алисов // ГИАБ, 2012. - № 9. - С. 32-40.
20. Наговицын О.В. Информационная поддержка освоения и эксплуатации месторождений Хибинского горнорудного района / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // ФТПРПИ, 2012. № 6. С. 98-105.
21. Nagovitsyn O. Information support of mineral mining and exploitation in the khibiny mountains area / O. Nagovitsyn, S. Lukichev // Journal of Mining Science. 2012. Т. 48. № 6. - С. 1025-1030.
22. Наговицын О.В. Компьютерная технология инженерного обеспечения горных работ на основе системы MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, Н.Н. Мельников // ГИАБ, 2013. № 5. - С. 223-234.
23. Наговицын О.В. Автоматизированные инструменты инженерного обеспечения горных работ в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // ГИАБ, 2013. № 7. - С. 184-192.
24. Наговицын О.В. Объектная структура данных системы автоматизированного проектирования, планирования и сопровождения горных работ MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.Ю. Алисов // ГИАБ, 2013. № 7. - С. 179-183.
25. Наговицын О.В. Модуль планирования горнопроходческих работ в программном комплексе MINEFRAME / О.В. Наговицын, О.В. Белгородцев, Е.М. Савин // ГИАБ, 2014. № 7. - С. 268-272.
26. Наговицын О.В. Геомеханическое и горнотехнологическое моделирование как средство повышения безопасности отработки месторождений твердых полезных ископаемых / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.А. Козырев, И.Э. Семенова // ГИАБ. 2015. № 4. - С. 73-83.
27. Наговицын О.В. Подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, И.Э. Семенова, О.В. Белгородцев // Горный журнал. 2015. № 8. - С. 53-58.
28. Наговицын О.В. Современное состояние и перспективы развития горно-геологических информационных систем / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Информационные технологии в реализации экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли: ГИАБ – 2017. – № 10 (специальный выпуск 23). – М.: Издательство «Горная книга». С. 53-67.
29. Наговицын О.В. Особенности моделирования объектов геологической среды при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / О.В. Наговицын, А.В. Степачева, С.В. Звонарева // Информационные технологии в реализации экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли: ГИАБ – 2017. – № 10 (специальный выпуск 23). – М.: Издательство «Горная книга». С. 214-221.

Другие научные публикации:

30. Наговицын О.В. Разработка ядра автоматизированной системы для проектирования и планирования горных работ (на английском языке) / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // 2-nd regional symposium on computer applications and operations research in the mineral industries, APCOM'97 —

Moscow, MSMU, 1997. Pp/ 113-115

31. Наговицын О.В. Кольский полуостров: новый регион для применения мате­роновской геостатистики (на английском языке) / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, Ю.Л. Войтеховский // Abstract vol. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brasil, Aug. 6-17, 2000.

32. Наговицын О.В. Пакет оптимизации границ карьеров. / О.В. Наговицын, А.Л. Билин // Материалы очно-заочной научно-практической конференции «Наукоёмкие технологии добычи и переработки полезных ископаемых», октябрь 2001г. Новосибирск, октябрь 2001. С. 29-31.

33. Наговицын О.В. Реализация автоматизированных рабочих мест геологов, маркшейдеров и технологов в системе GEOTECH-3D / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.В. Морозова // Горные машины и автоматика №2, 2004, - Москва. - С. 36-40

34. Наговицын О.В. Интеграционный подход к решению задач проектирования, планирования и сопровождения горных работ в системе MINEFRAME (на английском языке) / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.В. Смагин // Mining in the Arctic. Proceedings of the 8-th International Symposium on Mining in the Arctic. Apatity. June 20-23. 2005. Pp. 207-221.

35. Наговицын О.В. Автоматизированное проектирование карьерных массовых взрывов на основе компьютерного моделирования объектов горной технологии / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.В. Корниенко, Э.И. Фаттахов // Сборник трудов 4-ой международной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород». ИПКОН М., 2005, С.160-165.

36. Наговицын О.В. Комплексная автоматизация решения задач инженерного обеспечения горной технологии средствами системы «MINEFRAME» / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Промышленные минералы и научно-технический прогресс: Материалы II Междунар. конф. – М.: GEOS, 2007. – С. 144-145

37. Наговицын О.В. Компьютерные технологии – от разведки недр до планирования горных работ / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, Н.Н. Мельников // 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. 9-17.

38. Наговицын О.В. Компьютерные технологии в учебном процессе при подготовке студентов горных специальностей / О.В. Наговицын, В.Г. Едигарьев // 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. 249-250.

39. Наговицын О.В. Автоматизация решения задач горной технологии в едином информационном пространстве / О.В. Наговицын, А.В. Корниенко, В.П. Баков // 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. 188-194.

40. Наговицын О.В. Автоматизация процессов текущего и оперативного планирования открытых горных работ в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, А.Ю. Алисов // 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. 118-122.

41. Наговицын О.В. Компьютерные методы решения задач горной технологии / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, Н.Н. Мельников // Материалы международной конференции «Сырьевая база России». 16-18 июня 2009. — Technische Universitat Bergakademie Freiberg. С. 28-37.

42. Наговицын О.В. Автоматизированное определение направления углубки карьера / О.В. Наговицын, А.Ю. Алисов // Глубокие карьеры: сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 18-22 июня 2012 г. – Апатиты; СПб, 2012. – С. 219-225.

43. Наговицын О.В. Развитие методов моделирования горно-геологических объектов в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // В сборнике: Информационные технологии в горном деле. Доклады Всероссийской научной конференции. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. С. 142-147.

44. Наговицын О.В. Автоматизированное планирование открытых горных работ в системе

MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.Ю. Алисов // В сборнике: Информационные технологии в горном деле. Доклады Всероссийской научной конференции. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. С. 135-141

45. Наговицын О.В. Концептуальный подход к моделированию объектов горной технологии средствами MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Вопросы осушения, геологии и геоинформатики, геомеханики, специальных горных работ и горных технологий: матер. 12 междунар. симпозиум. Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. – Белгород: ВИОГЕМ. – 2013. – С. 238-245.

46. Наговицын О.В. Модульный принцип формирования горно-геологической информационной системы MINEFRAME / О.В. Наговицын, А.В. Корниенко // Вопросы осушения, геологии и геоинформатики, геомеханики, специальных горных работ и горных технологий: матер. 12 междунар. симпозиум. Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. – Белгород: ВИОГЕМ. – 2013. – С. 261-267.

47. Наговицын О.В. Автоматизированное планирование открытых горных работ / О.В. Наговицын, А.Ю. Алисов, К.П. Гурин // Вопросы осушения, геологии и геоинформатики, геомеханики, специальных горных работ и горных технологий: матер. 12 междунар. симпозиум. Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. – Белгород: ВИОГЕМ. – 2013. – С. 267-276.

48. Наговицын О.В. Современные информационные технологии в горном деле / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Мировая горная промышленность: история, достижения, перспективы. Сборник аналитических статей. – Т. 2. – М.: НИК «Горное дело», 2013. С. 274-315.

49. Наговицын О.В. Оценка геомеханических условий и решение задач планирования горных работ с использованием средств компьютерного моделирования объектов горной технологии / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, А.А. Козырев, И.Э. Семенова // Сборник трудов V Всероссийской научной конференции с участием иностранных учёных «Проблемы комплексного освоения георесурсов», 2-4 сентября 2013 г., Хабаровск. С. 76-83.

50. Наговицын О.В. Комплексный подход к созданию трехмерной горнотехнологической модели Хибинского горнорудного района / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, И.Э. Семенова // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сб. докл. РАН, Горн. ин-т КНЦ РАН. – СПб: Реноме, 2014. – С. 68-75.

51. Nagovitsyn O. Technological and geomechanical modelling for mining safety improvement / O. Nagovitsyn, A. Kozurev, S. Lukichev, I. Semenova // Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015. Fairbanks, Alaska. 2015. P. 411-419.

52. Наговицын О.В. Системный подход к решению задач горной технологии на основе моделирования её объектов и процессов / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Проблемы недропользования. 2016. № 4. С. 96-113.

53. Наговицын О.В. MINEFRAME - подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев, О.В. Белгородцев, И.Э. Семенова // Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий. Сб. научных трудов. Санкт-Петербург. 2017. С. 50-58.

54. Nagovitsyn O. A conceptual approach to 4D modeling of mining technology objects / O. Nagovitsyn, S. Lukichev // Proceeding of 38th international symposium APCOM. 2017. August 9-11. P. 5-25–5-29.

55. Nagovitsyn O. A system approach to solving the mining technology tasks based on modeling its objects and processes // O. Nagovitsyn, S. Lukichev, O. Belogorodtsev // Proceeding of 38th international symposium APCOM. 2017. August 9-11. P. 12-29–12-34.

Свидетельства о регистрации алгоритмов и программ для ЭВМ

Наговицын О.В. Программа для ЭВМ «Редактор базы данных геологического опробования (GEOTOOLS 7.0)» / С.В. Лукичев, А.В. Степачева // Свидетельство гос. регистрации № 2017663474 от 05.12.8017 (ФСИС).

Программа для ЭВМ «Программа для работы с базой данных горного оборудования (MINEGEAR 7.0)» / С.В. Лукичев, А.С. Неведров // Свидетельство гос. регистрации № 2017663475 от 05.12.8017 (ФСИС).

Программа для ЭВМ «Редактор горно-геологических объектов (GEOTECH-3D 7.0)» / С.В. Лукичев, А.В. Смагин, А.В. Корниенко, А.В. Степачева, С.В. Звонарева, К.П. Гурин, А.Н. Попов, А.С. Шишкин, Е.М. Савин, А.С. Неведров // Свидетельство гос. регистрации № 2017663476 от 05.12.8017 (ФСИС).

Программа для ЭВМ «Программа для обслуживания баз данных (GEOUSERS 7.0)» / С.В. Лукичев, А.А. Андреев, А.С. Неведров // Свидетельство гос. регистрации № 2017663477 от 05.12.8017 (ФСИС).

С полным перечнем публикаций можно ознакомиться на сайте Научной электронной библиотеки elibrary.ru