

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Кемеровский государственный университет»

На правах рукописи

Степанов Юрий Александрович

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА
ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

Специальность 25.00.35
Геоинформатика

Диссертация

на соискание учёной степени
доктора технических наук

Научный консультант – доктор технических наук,
профессор Шек В.М.

Екатеринбург – 2016

Содержание

ПОНЯТИЯ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТАВА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ГОРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	17
1.1. Анализ систем геоинформационной поддержки горного производства.	17
1.2. Анализ разработок специализированного программного обеспечения на базе ГИС-технологий для угледобывающих предприятий.	35
1.3. Анализ научных работ по моделированию процессов взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом.	51
1.4. Обоснование создания специализированной ГИС для моделирования геомеханических процессов при ведении очистных работ.	53
1.5. Постановка задач исследования.	67
2. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ, ПОЛОЖЕННЫЕ В ОСНОВУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА.....	71
2.1. Архитектура ГИС угледобывающего предприятия.	71
2.2. Концептуальная модель мониторинга и прогноза геомеханических процессов.	96
2.3. Концептуальная модель конечно – элементного анализа состояния углепородного массива при ведении очистных работ.	103
2.4. Концептуальная модель построения пространственных геоизображений для анализа и прогнозирования геомеханических процессов в очистных забоях.....	110

2.5. Разработка средств автоматизации формирования и обработки электронных тематических карт.....	117
2.6. Выводы по главе.....	123
3. РАЗРАБОТКА И АДАПТАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ	124
3.1. Разработка структуры горных информационных систем на базе ГИС-технологий	124
3.2. Разработка баз геофизических данных и горношахтного оборудования для создания специализированных ГИС.	134
3.3. Адаптация методов моделирования напряженно деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя	147
3.4. Разработка методов визуализации результатов моделирования.....	155
3.6. Выводы по главе.....	163
4 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КУЗБАССКОМУ УГЛЕНОСНОМУ БАССЕЙНУ	165
4.1 Объектная декомпозиция структуры тематической электронной карты для Кузбасского региона	165
4.2. Расширение функциональности электронного картографирования.	176
4.3. Разработка специализированного графического редактора объектов электронных карт разработки угольных месторождений.....	182
4.4 Визуализация углепородного массива на основе пространственно-атрибутивных данных.....	187
4.5. Компьютерные геоизображения пространственных данных углепородного массива.....	198
4.6. Выводы по главе.....	206

5. РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ.....	207
5.1. Расчетная модель. Факторы, учитываемые моделью.....	207
5.2. Автоматизация и инструментальные средства построения геометрической модели.	216
5.3. Методика расчетно-экспериментального моделирования напряженно деформированного состояния углепородного массива с учетом циклически движущегося очистного забоя.	222
5.4. Инструментально-программные средства моделирования геомеханических процессов в окрестности очистного забоя.....	231
5.5. Выводы по главе.....	252
6. РЕАЛИЗАЦИЯ ГОРНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ.....	254
6.1. Выбор и характеристика объекта исследования геоинформационного моделирования геомеханических процессов при ведении горных работ.....	254
6.2. Геоинформационное моделирование шахтных полей для информационной поддержки горнодобывающего производства.....	259
6.3. Геоинформационное моделирование напряженно-деформированного состояния углепородного массива в движущемся очистном забое.....	269
6.4. Использование геоинформационного анализа для управления горным давлением при отработке угольных пластов.....	280
6.5 Выводы по главе.....	285
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	283
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	290

ПОНЯТИЯ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Современные геоинформационные системы (ГИС) представляют собой новый тип интегрированных информационных систем, которые, с одной стороны, включают методы обработки данных многих ранее существовавших автоматизированных систем (АС), с другой - обладают спецификой в организации и обработке данных. Практически это определяет ГИС как многоцелевые, многоаспектные системы.

В частности, как системы управления ГИС являются новой основой автоматизированных систем управления (АСУ). Это обуславливает повышенное значение ГИС - современного средства организации многих видов производств. В литературе можно найти много определений ГИС. И все они по своему трактуются правильно смотря, с какой точки зрения на это смотреть. В связи с этим необходимо уточнить некоторые понятия, лежащие в основе определения ГИС.

Географическая информационная система - система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информацией об исследуемых объектах.

Современная ГИС рассчитана не просто на обработку данных, а на проведение во многих ситуациях экспертных оценок. Таким образом, ГИС должна включать в свой состав экспертную систему, а этого только на уровне базы данных достичь невозможно, так как экспертная система является более общей по отношению к БД. Наконец, данные, которые обрабатывает и хранит ГИС, имеют не только пространственную, но и временную характеристику, что важно в первую очередь для географических данных.

На основе анализа целей и задач различных ГИС, функционирующих в настоящее время, более точным следует считать определение ГИС как геоинформационные системы с использованием ГИС технологий, а не как географические информационные систем. Это обусловлено и тем, что процент

чисто географических данных в таких системах незначителен, технологии обработки данных имеют мало общего с традиционной обработкой географических данных и, наконец, географические данные служат лишь базой решения большого числа прикладных задач, цели которых далеки от географии. Разумеется, это не исключает существование чисто географических информационных систем - аббревиатура та же – ГИС.

Геоинформационные системы являются базовой составляющей при создании горных информационных систем. Таким образом, в нашем аспекте ГИС будет расшифровываться как горная геоинформационная система(ГГИС). Из вышесказанного, можно сформулировать наиболее корректное определение.

ГГИС – горная геоинформационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основной интеграцией которых служит географическая информация, для решения задач в горной отрасли.

Из определения следует, что значение научных и технических проблем геоинформатики, для решения задач горной направленности, состоит в обеспечении информацией, контроле и поддержке управленческих решений в сферах планирования, проектирования и мониторинга ведения горных работ.

Для решения задач прогнозирования динамического обрушения массива горных пород при ведении очистных работ разумно использовать ГГИС для управления технологическими процессами и предотвращения чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт. В этом случае, геоинформационные технологии являются эффективным инструментом для создания системы прогнозирования зон повышенного горного давления при отработке угольных пластов в целях предотвращения аварийных ситуаций.

Таким образом, ГГИС является сложной интегрированной системой, в связи с чем, подчиняется принципам системного анализа. Под системным анализом понимается совокупность методов и средств исследования сложных систем, объектов и процессов, опирающихся на комплексный подход.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Рыночные условия, складывающиеся в России, требуют перехода угольной промышленности на высокоинтенсивные технологии выемки угля, которые могут быть достигнуты за счет автоматизации производственных процессов угледобычи и увеличения производительности добычных участков. При этом одной из основных задач была и остается безаварийность и безопасность технологических процессов.

Использование высокоинтенсивных технологий выемки угля и существенное увеличение нагрузок на очистной забой требуют гибкого управления силовыми характеристиками механизированных крепей в соответствии с изменяющимися в пределах выемочных полей и блоков горно-геологическими и горнотехническими условиями, а также характером изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива в окрестности очистного забоя при его циклическом движении. Это позволяет, в свою очередь, оптимизировать энергетические затраты, снижать, во многих случаях, себестоимость добытого угля, продлевать срок службы механизированных крепей, предотвращать возможность возникновения чрезвычайных ситуаций. Уместно отметить, что, по данным УК «Кузнецкуголь», в 36% забоев работающие механизированные комплексы не соответствуют горно-геологическим условиям, что не могло не оказывать влияния на производительность и безопасность ведения очистных работ.

Одной из проблем, снижающих эффективность внедрения высокоинтенсивные технологии выемки угля, является отсутствие предварительного прогноза динамики обрушения горных пород при проектировании и эксплуатации горнотехнических комплексов, на основе использования современных информационных систем и технологий. В связи с тем, что протекание геомеханических процессов в углепородном массиве при ведении горных работ сопровождается горными ударами, выходом метана и

другими нештатными ситуациями, для принятия проектных и технологических решений необходим системный подход к анализу взаимообусловленных разнородных факторов, влияющих на состояние углепородного массива, ослабленного сложными по геометрии и топологии выработками и испытывающего воздействие со стороны технологического оборудования. Такой анализ не представляется возможным без использования современных информационных технологий и компьютерного моделирования проектируемого горно-технического комплекса.

Вместе с тем, анализ существующих в горной отрасли информационных систем показал, что их проблемная ориентация определяется ограниченной номенклатурой решаемых задач: анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений и т.п. Распространённые системы программного обеспечения для добывающих отраслей промышленности ориентированы в основном на оценку запасов и решение отдельных задач проектирования и планирования горных работ. В то же время практически не имеется эффективного программного обеспечения для решения таких задач, как обеспечение управления геомеханическими, газодинамическими и гидродинамическими процессами при выемке полезного ископаемого. До сих пор обрушения горных пород в процессе выемки угля занимают первенство по частоте аварий и несчастных случаев, что говорит о необходимости разработки новых подходов к проектированию информационных систем обеспечения геомеханической безопасности в очистных забоях. Для повышения устойчивости кровли необходимо проводить прогнозирование динамики перераспределения напряжений в массиве горных пород при ведении очистных работ и обоснование способа выемки угля, но эти задачи также пока не решены.

Таким образом, для проектирования устойчиво функционирующих высокопроизводительных предприятий по подземной разработке месторождений полезных ископаемых остаётся первостепенно актуальной проблема развития теоретических основ разработки геоинформационных

систем, обеспечивающих компьютерное моделирование широкого класса физических и механических процессов разрушения горных пород при взаимодействии с угледобывающими механизированными комплексами, направленное на прогноз риска обрушения кровли выработок при ведении горных работ.

Целью работы является разработка информационно-аналитического обеспечения геоинформационных систем компьютерного моделирования динамики напряженно-деформированного состояния углепородного массива, обеспечивающего снижение риска аварийных ситуаций, вызванных недопустимо высокими напряжениями в горных породах при ведении очистных работ.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи:

1. на основе анализа ранее выполненных исследований разработать теоретические основы построения специализированных горных геоинформационных систем (ГГИС) поддержки принятия решений по снижению риска аварийных ситуаций, обусловленных геодинамическими процессами при ведении очистных работ в высокопроизводительных комплексно-механизированных забоях угольных шахт;
2. разработать методические основы создания специализированных программных средств электронного картографирования горно-геологического строения массивов горных пород угольных регионов, учитывающие прочностные свойства слагающих его пород;
3. разработать принципы исследования горнотехнических систем на основе геоинформационного моделирования процессов взаимодействия углепородного массива и технологического оборудования;
4. усовершенствовать метод расчета параметров нестационарного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя для различных

режимов нагружения и разгрузки секций механизированной крепи при ведении очистных работ;

5. разработать алгоритм формирования компьютерных геоизображений новых видов, адекватно отображающих результаты моделирования динамики изменения параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива при циклическом воздействии на него секций механизированной крепи;
6. исследовать эффективность применения информационно-аналитического и программного обеспечения компьютерного моделирования динамики разрушения углепородного массива с учетом положения секции механизированной крепи при паспортизации выемочных участков на угольных шахтах Кузбасса.

Идея работы состоит в системном подходе к компьютерному моделированию разрушения горных пород в процессе очистных работ с использованием электронного картографирования, с учетом фактических характеристик технологического оборудования и прогрессирующего снижения устойчивости пород кровли и вынимаемого угольного пласта.

Методы исследований. В процессе выполнения работы использовались:

- методы геоинформационного картографирования;
- методы статистической обработки и использования геопространственных данных с применением распределенных баз данных и знаний;
- методы математического и имитационного моделирования;
- метод объектно-ориентированного проектирования и программирования;
- методы идентификации математических моделей расчета НДС.

Основные научные положения, защищаемые автором:

- создание информационно-аналитического обеспечения и методов системного проектирования горно-технологических систем возможно на основе компьютерного моделирования подземной части горного предприятия с использованием средств электронного трёхмерного

картографирования горно-геологического строения угленосного массива, горных выработок и элементов технологических процессов;

- для прогнозирования динамики НДС горного массива при отработке угольных пластов, требуется построение специализированной ГГИС на основе выявления функциональных единиц горнотехнических систем и их комплексирования в соответствующие модельные блоки, отличающиеся использованием функционально-объектного представления взаимодействующих объектов;
- адаптивность компьютерных систем поддержки принятия решений к горно-геологическим условиям при проектировании и эксплуатации горнотехнических систем в специализированной ГГИС обеспечивается использованием объектно-ориентированного подхода от стадии построения математической модели до разработки приложений с модульной структурой и графическим интерфейсом;
- достоверность результатов расчета параметров НДС угленосного массива в различных зонах по длине выемочного столба обеспечивается предложенной процедурой настройки компьютерной модели силовых и геометрических характеристик оборудования очистного забоя на основе ретроспективных данных измерения фактических характеристик горных пород и деформаций крепи;
- эффективность принимаемых управленческих решений и рекомендаций по снижению рисков аварий в очистных забоях угольных шахт повышается использованием имитационного моделирования и выявления положения опасных зон обрушения породного массива на основе разработанных принципов формирования новых видов компьютерных геоизображений на электронных картах;
- качество обработки геоинформации и эффективность управленческих решений при проектировании и эксплуатации горнотехнических систем повышаются, по сравнению с типовыми ГГИС, за счет применения

предметно-ориентированных программных решений, реализованных в виде специализированного ГИС-приложения, позволяющего прогнозировать геомеханическое поведение массива горных пород при ведении очистных работ.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- впервые предложенные теоретические основы построения специализированных ГИС «виртуальная шахта» позволяют создавать адаптивные компьютерные системы моделирования геомеханических процессов в системах «углепородный массив очистного забоя – выработанное пространство – высокопроизводительный механизированный комплекс» для поддержки принятия решений в части повышения безопасности горных работ;
- обоснован и разработан новый подход к прогнозированию чрезвычайных ситуаций, связанных с обрушениями кровли в очистных забоях, основанный на использовании упреждающего пространственно-временного моделирования результатов техногенного воздействия на углепородный массив в движущемся комплексно-механизированном забое;
- разработан метод проектирования и реализации специализированных программных средств компьютерного моделирования НДС угольных и породных пластов с использованием средств электронного картографирования горно-геологического строения массивов горных пород, отличающийся использованием элементов теории нечетких множеств для повышения робастности этих средств;
- создана методика расчета параметров НДС углепородного массива в окрестности очистного забоя, включающая процедуру настройки алгоритма прогнозного моделирования на основе ретроспективных данных, что позволяет минимизировать отклонения вычисленных значений конвергенции оснований и перекрытий секций крепи очистного комплекса от измеренных;

- разработанные информационное, математическое и программное обеспечение геоинформационной системы компьютерного моделирования динамических процессов изменения напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя позволяют повысить достоверность результатов моделирования динамики разрушения элементов горного массива при отработке конкретных угольных пластов;
- предложенный метод визуализации результатов моделирования процесса геомеханического взаимодействия механизированной крепи с углепородным массивом позволяет подобрать для конкретных горнотехнических условий очистной механизированный комплекс с необходимыми силовыми характеристиками крепи на этапе разработки паспорта выемочного участка.

Практическая значимость работы заключается в:

- упрощении маркшейдерской подготовки горных работ при использовании специализированных программных средств электронного картографирования и хранилища данных о горно-геологическом строении массивов горных пород («виртуальной шахты»);
- уточнении прогнозируемых параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя при циклическом движении механизированного комплекса на основе ретроспективных данных о свойствах горных пород и фактических деформациях;
- определении положения опасных зон и информационной поддержке управленческих решений по предотвращению аварийных ситуаций с использованием предложенных видов компьютерных геоизображений;
- использовании разработанных теоретических основ построения специализированных ГГИС при реализации комплекса программ, защищенного шестью свидетельствами о разработке компьютерных программ и баз данных, для компьютерного моделирования

геомеханического взаимодействия углепородного массива с механизированным комплексом очистного забоя;

- возможности применения разработанных методов моделирования и программных средств при выборе технологических схем отработки пологих угольных пластов Кузбасса и раскройке шахтных полей с изменяющимися горно-геологическими условиями.

Личный вклад автора заключается в постановке задач, в развитии теоретических положений и анализе результатов научных исследований, в разработке методологических основ построения специализированной ГГИС и реализации программных средств электронного картографирования горно-геологического строения массивов горных пород, в разработке принципов исследования антропогенных систем на основе компьютерного моделирования динамики разрушения горных пород с учетом прогрессирующего снижения устойчивости пород кровли и вынимаемого угольного пласта, в разработке комплекса компьютерных программ для расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива с учетом циклического воздействия на него секций механизированной крепи, в разработке принципов формирования компьютерных геоизображений новых видов для определения положения опасных зон в массиве горных пород.

Диссертантом разработаны модели и алгоритмы компьютерного моделирования, выполнены расчеты по конкретным проектам, проведен анализ полученных результатов и их сравнение с экспериментальными данными, предложены технологические решения. При личном участии автора работы проводилась промышленная апробация предложенной специализированной ГГИС и внедрялись результаты работы.

Реализация работы. Результаты работы использованы при разработке специализированного программного обеспечения в рамках НИР Новокузнецкого института (филиала) ФГБОУ ВО КемГУ.

Основные научные положения и результаты исследований были использованы при разработке паспортов выемочных участков шахт ЗАО «Южкузбассуголь», ОАО «Шахта Абашевская – Н», ООО УК «Корчаколь».

Предложенная методология проектирования специализированных ГГИС использовалась при разработке реальных проектов, представленных на XVIII и XIX Сибирских промышленных форумах. Разработанные проекты получили положительную оценку и были удостоены диплома и бронзовой медали. Комплекс программных продуктов, вошедших в состав ГГИС, представленный на международной выставке-ярмарке «Кузбасский образовательный форум» и отмеченный золотой медалью, используется для проведения исследовательских и практических работ студентов и аспирантов в учебном процессе НФИ КемГУ.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных научно-практических конференциях: III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе» (г.Новокузнецк, 2009г.); экспертном совещании «Гуманитарные и социальные проблемы обеспечения безопасности горнодобывающих регионов» в рамках XVII Международной специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России. Майнинг – 2010» (г.Новокузнецк, 2010г.); XI-XIII международных научно-практических конференциях «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2011-2012 гг.); X-XII Всероссийских научных конференциях с международным участием «Краевые задачи и математическое моделирование» (г. Новокузнецк, 2010-2015 гг.); Международной научно-методической конференции (Воронеж, 2011-2012г.), Международном симпозиуме «Неделя горняка» (2013г.); на заседаниях научных семинаров факультета информационных технологий (Новокузнецк, 2011-2015г.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 44 печатных работы, в том числе 17 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России; 1 монография, 20 статей в сборниках материалов всероссийских и международных конференций, 6 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников из 237 наименований объемом в 313 страниц, включает 95 рисунков и 9 таблиц.

Диссертация выполнена в соответствии с Федеральной целевой программой РЕОИС – Развитие единой образовательной информационной среды (2001-2005), ГК-1351 "Создание ресурсного центра регионального уровня в Кемеровской области"; планом НИР НФИ КемГУ 2008г., проект №12-05/62 "Аналитический обзор современных методов и программных средств математического моделирования в управлении организационно-техническими системами" по заказу ООО «Опт-Трейд»; программой Кузбасского НОК-1, в рамках программы "Недра Кузбасса", проект № 27-6 "Разработка системы прогноза параметров высокоинтенсивных технологий угледобычи угольных шахт Кузбасса", ГР №01970004330.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТАВА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ГОРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

1.1. Анализ систем геоинформационной поддержки горного производства.

Истощение балансовых запасов крупных горных месторождений в условиях постоянного роста объемов добычи полезных ископаемых на угольных предприятиях Кузбасса, вызывают необходимость поиска новых научно-методических подходов к решению проблем проектирования горно-технических систем с учетом комплексного освоения и сохранения недр Земли.

Изучение геомеханических процессов возникающие в процессе отработки угольных пластов, возможно на основе исследования динамических процессов разрушения горных пород в целях получения новых знаний о закономерностях возникновения повышенного горного давления для предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт. Задача прогноза динамического обрушения массива горных пород при ведении очистных работ до сих пор остается актуальной, так как она описывается комплексом моделей различной физической природы и аналитическими методами не может быть решена. Безопасность ведения горных работ обеспечивается системным подходом к изучению различных процессов протекающие в процессе выемки полезных ископаемых и установлением закономерностей отвечающие требованиям повышения полноты и комплексности использования сырья [1].

В науке и технике большое внимание уделяется системному подходу к исследованию функционирования и к проектированию промышленных предприятий, которые рассматриваются как сложные системы, обладающие комплексом существенных связей и взаимосвязей собственных элементов и подсистем с элементами и подсистемами других сложных систем, так как результаты деятельности горнодобывающего предприятия определяются как природными условиями месторождения и района его расположения, так и

экономико-социальной характеристикой территориально-промышленного комплекса [2,3].

Процесс проектирования, создания и эксплуатации сложных технических систем связан с необходимостью принятия множества решений как по системе в целом, так и по отдельным ее элементам и подсистемам. При этом все частные решения должны приниматься с позиций системного подхода. Если они не вполне обоснованы или же недостаточно учитывают интересы функционирования системы в целом, то это может привести к большим материальным или иным потерям.

По мере усложнения проектируемых систем усложняется и процесс принятия решений. В таких условиях принятие наилучшего, оптимального решения при проектировании освоения недр может гарантировать лишь использование научных методов, объединяемых теорией принятия решений.

Генетическое многообразие пластовых месторождений, условий их залегания, географического расположения, свойств вмещающих пород и сопутствующих техногенных образований, делают осваивающие их системы исключительно сложными, из-за неточности и малой достоверности исходной информации и наших знаний о закономерностях протекания физических процессов в горном массиве.

Горнотехнические системы – это совокупность горных конструкций и технологических подсистем во взаимодействии с вмещающими их участками недр [4]. Проектирование таких систем, выбор геотехнологических параметров разработки месторождений и соответствующего конструктивного оформления представляет, с учетом неопределенности исходной информации и длительного срока реализации проектных решений, исключительно ответственную по своим последствиям задачу. Основной тенденцией развития теории проектирования горнотехнических систем в мире является разработка типовых технологических и технических составлении различного рода проектов развития горных работ. Решение вопросов при проектировании горно-технических систем

комплексного освоения недр базируется на использовании информационных систем включающие в себя различные виды информационных технологий.

В практике хозяйственного управления производственными объектами используется классификация информационных систем по функциональному признаку, определяющий предназначение информационной системы, а также ее основные цели, задачи и функции [5]. Несмотря на большое разнообразие направленности использования ИС все они в той или иной мере призваны для управления и поддержки должной информацией менеджеров по реализации производственных процессов предприятия. В связи с этим на любом предприятии по уровням управления выделяют:

- информационные системы оперативного уровня – поддерживает специалистов-исполнителей, обрабатывая данные о выполненных работах и событиях происходящих на участке ведения горных работ.

- Информационные системы специалистов – помогают специалистам обеспечить высокий уровень технических разработок по инженерному и научному проектированию, что способствует повышению продуктивности и производительности работы инженеров и проектировщиков. Здесь используются информационные системы обработки знаний, в том числе и экспертные системы, необходимые инженерам и ученым при разработке или создании нового продукта. Их работа заключается в создании новой информации и нового знания.

- Информационные системы тактического уровня – помогают специалистам в проведении таких мероприятий как мониторинг, администрирование, контроль, принятие решений и т.д. В этих условиях используют системы поддержки принятия решений для реализации частично структурированных задач, результаты которых трудно спрогнозировать заранее. Они имеют более мощный аналитический аппарат с набором различного рода моделей. Информацию получают из управленческих и операционных информационных систем.

- Стратегическая информационная система — компьютерная информационная система, обеспечивающая поддержку принятия решений по реализации перспективных стратегических целей развития организации.

Известны случаи, когда в зависимости от горногеологических условий выемочного участка приходилось менять технологию выемки угля или замену горного оборудования на более производительное, что в целом влияло на горнотехнические показатели горного предприятия.

В практике работы любой организации существует сравнительно немного полностью структурированных или совершенно неструктурированных задач. При ведении хозяйственной деятельности угольного предприятия в большинстве случаев решаемых задач известна лишь часть элементов и связей между ними [6]. Такие задачи называются частично структурированными. В этих условиях необходимо создавать и использовать информационные системы поддержки принятия решений для различного уровня пользователей. Именно автоматизированные системы принятия решений а не автоматические являются основополагающими в управлении производством выемки полезных ископаемых, поскольку получаемая в ней информация анализируется человеком, который будет играть определяющую роль.

В реальных условиях ограничения по времени и ресурсам снижают объем и качество информации, доступной для принятия решений [7]. Однако, даже в случае значительного объема информации, для принятия оптимальных решений кроме глубокого понимания сути проблемы необходимо наличие релевантных критериев и целей. Внедрение и полномасштабное использование информационно-аналитических систем в этом случае не только способствуют сбору и хранению информации, но ускоряют ее поиск и анализ, облегчают совместное пользование информацией и управление знаниями, а также способствуют формированию дополнительных альтернативных моделей и решений.

Суть проблемы принятия решений с применением моделей заключается в использовании информационных технологий, обеспечивающих наилучший результат, оцениваемый критерием оптимальности [8]. Проблемные ситуации в управлении, как правило, имеют многоальтернативный характер. Для оптимального разрешения такой ситуации только личного опыта недостаточно, необходим комплекс взаимосвязанных моделей.

Формализация поставленной задачи управления позволяет чётко уяснить суть проблемной ситуации и получить оптимальное решение. Если формализованная задача слишком трудна, то её можно разбить на части, понизив сложность подзадач и используемых для их решения моделей. Для этого создается и используется двусторонняя связь программы выбранной модели и "банка знаний" предприятия, включающего в себя в числе прочих и банки данных, содержащих необходимую информацию. Сама математическая модель предметной области становится частью "банка знаний" предприятия, который, в свою очередь, входит в информационную систему, содержащую, как правило, не одну информационную модель.

Каждый фрагмент задачи управления решается согласованными математическими методами при помощи соответствующего алгоритма [9]. Объединение моделей в математические пакеты открывает большие возможности для экспериментирования. Меняя входные параметры пакетов моделей, можно быстро получить конечный результат, даже не вникая в особенности алгоритма.

Информационная технология включает в себя все этапы разрешения проблемной ситуации, начиная от постановки задачи управления, конструирования модели и заканчивая численным решением, результаты которого влияют, в конечном счёте, на характер принимаемого решения.

Необходимость решения информационно-аналитических задач на каждом уровне управления привела к образованию в системах нескольких информационных слоев представленные на рисунке 1. Первым слоем являются

детальные данные, полученные в результате функционирования систем, ориентированных на операционную обработку данных (OLTP, On-Line Transactional Processing– системы оперативной обработки данных) в режиме реального времени [10].

Современные OLTP-системы реализованы, как правило, на основе реляционных баз данных. Они выступают источником данных, на которых строится второй слой – хранилище данных(Data Warehouse). Хранилище данных представляет единую среду для хранения корпоративных данных, в которой данные преобразованы и структурированы в виде, удобном для выполнения анализа.

Построение полноценного корпоративного хранилища данных обычно выполняется в трехуровневой архитектуре [11]. На первом уровне расположены разнообразные источники данных – внутренние операционные системы, справочные системы, внешние источники (каротажные данные, сведения о состоянии горно-шахтного оборудования, экономические показатели и т.п.).

Второй уровень содержит центральное хранилище данных, куда стекается информация от всех источников с первого уровня, и, возможно, оперативный склад данных (ОСД) – копия производственной БД, освобожденной от ошибок. Оперативный склад не содержит исторических данных и выполняет две основные функции. Во-первых, он является источником аналитической информации для оперативного управления и, во-вторых, здесь подготавливаются данные для последующей загрузки в центральное хранилище. Под подготовкой данных понимают их преобразование и осуществление определенных проверок. Наличие ОСД необходимо при различном регламенте поступления информации из источников данных.

Третий уровень в описываемой архитектуре представляет собой набор предметно-ориентированных витрин данных, источником информации для которых является центральное хранилище данных. Именно с витринами данных и работает большинство пользователей.

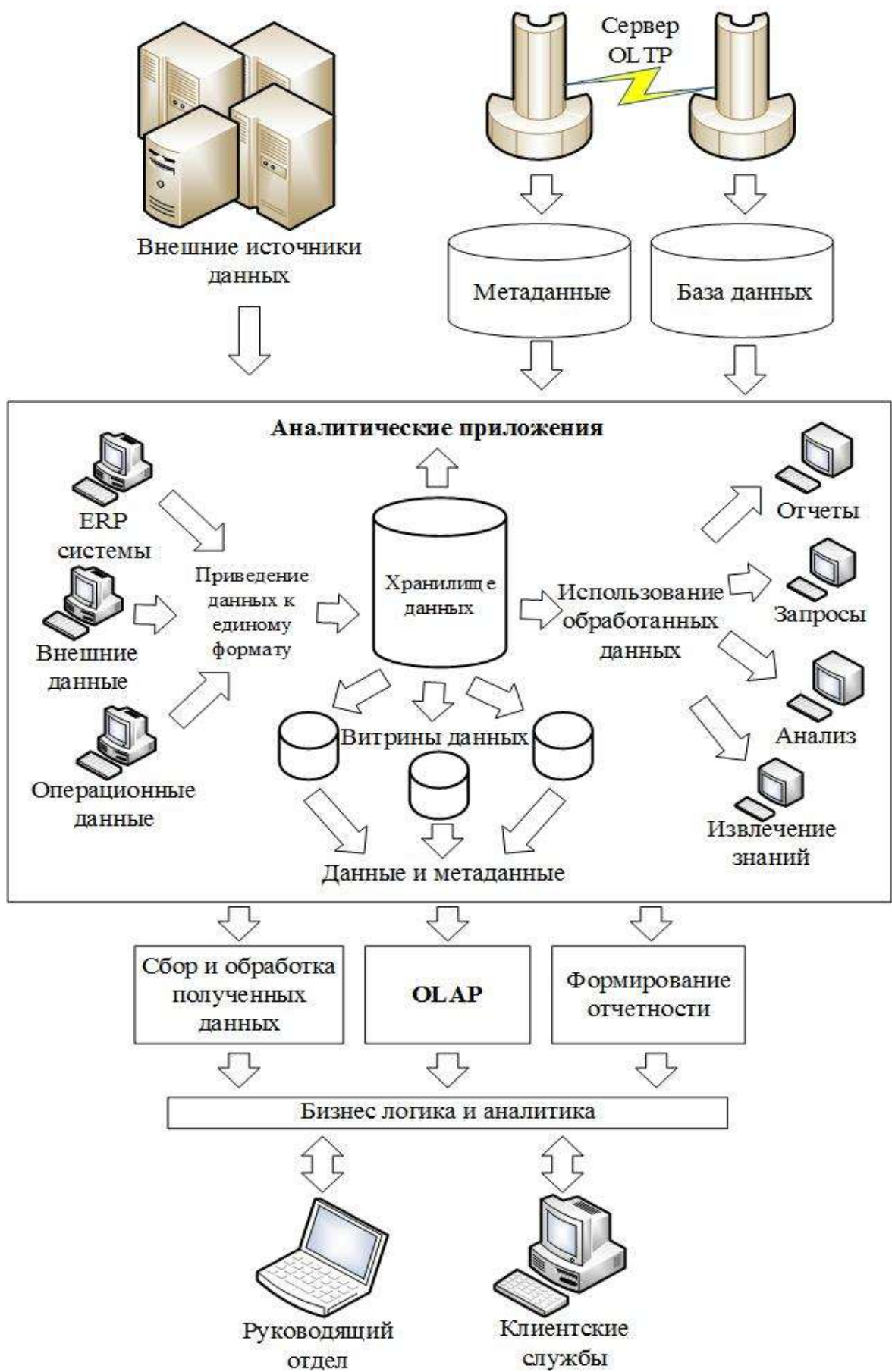


Рисунок 1. Структура систем поддержки принятия решений

Следовательно, хранилища данных создаются для обеспечения лучшего доступа к данным. Важна и другая их функция – поддерживать многочисленные бизнес-процессы и принятие решений. Хранилища упрощают анализ, систематизируя прежде никак не связанные между собою данные; для их систематизации клиенты могут пользоваться практически неограниченным числом сценариев, кроме того, есть возможность генерировать нерегламентированные отчеты.

Аналитические возможности информационных систем, относящихся к классу систем поддержки принятия решений (СППР), ориентированы на выполнение таких задач, как ведение отчетности, анализ данных в режиме реального времени и интеллектуальный анализ данных [12].

Представленная структура системы принятия решения позволяет выделить в ней две основные части: хранилище данных и средства аналитической обработки данных, в которые входят составными частями системы формирования отчетности, OLAP-системы и системы интеллектуального анализа данных (Data Mining) [13].

OLAP-системы (On-Line Analytical Processing) представляют инструмент для анализа больших объемов данных в режиме реального времени [14]. Взаимодействуя с OLAP-системой, пользователь может осуществлять гибкий просмотр информации, получать произвольные срезы данных и выполнять аналитические операции детализации, свертки, сравнения во времени.

В многомерных OLAP-системах структура куба хранится в многомерной базе данных. В той же базе данных хранятся предварительно обработанные агрегаты и копии листовых значений. В связи с этим все запросы к данным удовлетворяются многомерной системой баз данных, что делает MOLAP-системы исключительно быстрыми [15, 16].

Для загрузки MOLAP-системы требуется дополнительное время на копирование в многомерную базу всех листовых данных. Поэтому возникают ситуации, когда листовые данные MOLAP-системы оказываются

рассинхронизированными с данными в витрине данных. Таким образом, MOLAP-системы вносят запаздывание в данные нижнего уровня иерархии.

Интеллектуальный анализ данных, или извлечение данных (Data Mining), позволяет проводить более глубокие исследования данных для нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений, основываясь на таких методах, как классификация, регрессия, поиск ассоциативных правил и кластеризация.

Data Mining является мультидисциплинарной областью, возникшей и развивающейся на базе достижений прикладной статистики, распознавания образов, методов искусственного интеллекта, теории баз данных и др. [17] Отсюда обилие методов и алгоритмов, реализованных в различных действующих системах Data Mining, многие из которых интегрируют в себе сразу несколько подходов. Одно из важнейших назначений методов Data Mining состоит в наглядном представлении результатов вычислений (визуализация), что позволяет использовать инструментарий Data Mining людьми, не имеющими специальной математической подготовки. [18]

Условно весь класс систем поддержки принятия решений можно подразделить на два основных вида:

- *исполнительные информационные системы (EIS)*, создающие управленческие отчеты, ориентированы главным образом на обработку данных (поиск, сортировку, агрегирование, фильтрацию). Эти системы рассчитаны на рядовых пользователей, имеют упрощенный интерфейс, располагают базовым набором возможностей и фиксированными формами представления информации. Пользователями таких систем являются руководители различных подразделений предприятия.

- *системы поддержки принятия решений (DSS)*, разрабатывающие возможные альтернативы решения производственных задач, – это полнофункциональные системы анализа, рассчитанные на подготовленных пользователей как в предметной области, так и в области информационных

технологий. Принятие решения при этом сводится к выбору одной из предложенных альтернатив. Пользователями таких систем могут быть руководители различных подразделений, специалисты узкой направленности решаемых задач (отдел главного технолога, механика, маркшейдерии и т.п.).

При проектировании горно-технических систем необходимо учитывать большую совокупность различных параметров исследуемого объекта, геометрию и направление горных выработок, структуру горного массива, наличие горно-шахтного оборудования и т.п., что заставляет менеджеров различного уровня принимать решения, используя комплексный подход к решению задачи выбора и обоснования технологии выемки угля. Решение таких задач требует проведения анализа не только атрибутивных данных, описывающие свойства и характеристики объектов в изучаемых процессах, но и пространственных данных, так как доля влияния каждого объекта зависит от его пространственного местоположения в системе взаимодействия технологических подсистем.

В связи с этим особое внимание заслуживают геоинформационные системы (ГИС), использование которых позволяет автоматизировать процедуру анализа и прогноза изучаемых процессов. До начала применения ГИС лишь немногие обладали искусством обобщения и полноценного анализа географической информации с целью обоснованного принятия оптимальных решений, основанных на современных подходах и средствах.

Гибкость и открытость ГИС-технологий позволяют создавать системы для поддержки принятия решений при решении сложных многофакторных проблем освоения месторождений полезных ископаемых.

Применение ГИС-технологий в качестве ядра при построении перечисленных систем предопределяет возможность их (систем) создания на единой методологической основе, независимо от уровня использования (регион, отрасль, акционерное общество, горнодобывающее предприятие). Это позволяет в значительной степени унифицировать и систематизировать

программные и технические средства, применяемые в горнодобывающих отраслях промышленности, и выработать единую стратегию информатизации и технического перевооружения предприятий.

В большинстве инструментальных ГИС осуществляется комплексная обработка информации - от сбора данных до ее хранения, обновления и представления. Такие системы относятся к классу полных систем. Они включают технологии сбора информации, используют максимальное количество методов моделирования, автоматизированного проектирования и решают ряд специальных проектных задач, которые в типовом автоматизированном проектировании не встречаются.

В качестве ядра горной информационной системы могут выступать готовые программные решения, предлагаемые различными компаниями на рынке программного обеспечения. Географические информационные системы, как правило, включают в себя четыре подсистемы:

1. систему ввода данных, обеспечивающую ввод и обработку пространственных данных, полученных с карт, материалов дистанционного зондирования и т.д.;
2. систему хранения и поиска, позволяющую получать данные для соответствующего анализа, актуализировать и корректировать их;
3. систему обработки и анализа, которая дает возможность оценивать параметры, решать расчетно-аналитические задачи;
4. систему представления данных в различном виде (карты, таблицы, изображения, блок-диаграммы, цифровые модели местности и т.д.).

С середины 1980-х годов начинает формироваться широкий рынок программных средств на базе ГИС технологий. Появляются крупные инструментальные системы, технологии разработки и проблемно-ориентированные языки программирования. В настоящее время наблюдается повышение конкуренции между производителями коммерческих ГИС, активно развиваются свободные программные каркасы с элементами электронного

картографирования и набором специализированных библиотек для создания тематических электронных карт. [19-25]

Распространённые программные каркасы для создания и использования специализированных ГИС обладают рядом недостатков некоторые, из которых приведены в таблице 1. Это отсутствие возможности формирования сложного специального наполнения, например интерактивных моделей угольного месторождения. Закрытая архитектура и невозможность модификации структуры каркаса делает невозможной тонкую настройку и оптимизацию системы. Недоступность типовых алгоритмов делает невозможным применение практик повторного использования исходного кода. Отсутствие развитой системы плагинов препятствует возможности расширения за счёт использования наработок сторонних производителей программного обеспечения. Следовательно, типовые программные каркасы могут применяться для решения общих задач ГИС, но не эффективны при разработке программного обеспечения для специализированных ГИС угледобывающих предприятий.

Таблица 1

Возможности ГИС применительно к задачам угледобывающей отрасли.

	Создание слоёв специализированных векторных объектов	Открытая архитектура	Поддержка пользовательских форматов данных	Динамическое моделирование	Система плагинов
ARC/INFO	+	-	-	+	-
AutoCADMap	+	-	-	-	-
MapInfo	+	-	+/-	+	+
ПАНОРАМА	+	-	+/-	-	-

Еще одной развитой областью применения геоинформационных технологий является учет, изучение и использование природных ресурсов, включая сюда и охрану окружающей среды. К этой области применения непосредственно примыкает использование информационных технологий в геологии, как в научных, так и в практических ее задачах. Это не только задачи информационного обеспечения, но и, например, задача прогнозирования месторождений полезных ископаемых, контроль экологических последствий разработок и т.п. В геологических применениях, как и в экологических, велика роль приложений, требующих сложного программирования или комплексирования геоинформационных технологий со специфическими системами обработки и моделирования. Велика потребность в комплексных решениях освоения недр, увязывающих собственно геологические и иные проблемы, что невозможно решить без привлечения универсальных ГИС.

ГИС-технологии породили такое направление как оперативное картографирование, т. е. создание и использование карт в реальном или близком к реальному масштабе времени. Появилась возможность быстро и своевременно информировать пользователей системы и воздействовать на ход процесса при оперативном принятии решений. При картографировании в реальном времени поступающая информация немедленно обрабатывается и составляются карты для оценки, мониторинга, управления, контроля за процессами и явлениями, изменяющимися в том же темпе. Оперативные компьютерные карты предупреждают (сигнализируют) о неблагоприятных или опасных процессах, позволяют следить за их развитием, давать рекомендации и прогнозировать развитие ситуаций, выбирать варианты стабилизации или изменения хода процесса. [26]

Создание тематических электронных карт и географический анализ не являются чем-то абсолютно новым. Однако ГИС-технологии предоставляют более эффективный, удобный и быстрый подход к анализу проблем и решению задач, стоящих перед специалистами горнотехнических специальностей.

Структуру ГИС обычно представляют как систему информационных слоев, в каждом из которых хранится свой набор данных по определенной теме. В процессе анализа взаимодействия различных объектов входящих в состав исследуемой горно-технической системы эти слои рассматривают по отдельности или совмещают в разных комбинациях, при этом имеется возможность получать производные слои. Одним из важнейших свойств ГИС как раз и состоит в том, чтобы на основе имеющейся информации они способны порождать новую производную информацию. [26]

Современные ГИС представляют собой новый тип интегрированных систем, которые, с одной стороны, включают методы обработки данных существующих автоматизированных систем, а с другой - обладают спецификой в организации и обработке данных. Так как в ГИС осуществляется комплексная обработка данных (от сбора до хранения, обновления и предоставления), их можно рассматривать со следующих различных точек зрения: [27]

- ГИС как система управления - предназначена для поддержки принятия решений на основе использования картографических данных;
- ГИС как автоматизированная информационная система - объединяет ряд технологий известных информационных систем (САПР и других);
- ГИС как геосистема - включает технологии фотометрии, картографии;
- ГИС как система, использующая БД, - характеризуется широким набором данных, собираемых с помощью разных методов и технологий;
- ГИС как система моделирования, система предоставления информации - является развитием систем документального оборота и т.п.

Наличие широкого спектра тенденций развития в разных областях информационных технологий, интересы которых сходятся в области геоинформационных технологий, а также появление универсальных пакетов широкого применения привело к тому, что границы определения геоинформационных технологий становятся менее четкими. Поэтому в настоящее время сложилось понятие полнофункциональная ГИС (full GIS). Это

многофункциональная информационная система, предназначенная для сбора, обработки, моделирования и анализа пространственных данных, их отображения и использования при решении расчетных задач, подготовке и принятии решений. Основное назначение полнофункциональной ГИС заключается в формировании знаний о Земле, отдельных территориях, местности, а также своевременном доведении необходимых и достаточных пространственных данных до пользователей с целью достижения наибольшей эффективности их работы. Наиболее развитые ГИС, имеющие хорошие средства программирования, широко используются для моделирования природных и техногенных процессов.

Ресурсные ГИС — один из наиболее распространенных видов ГИС в науках о Земле. Они предназначены для инвентаризации, оценки, охраны и рационального использования ресурсов, для прогноза результатов их эксплуатации. Чаще всего для их формирования используют уже имеющиеся тематические карты, которые цифруют и вводят в базы данных в виде отдельных информационных слоев. Объекты на электронных картах можно анализировать по их огромному количеству параметров, визуализировать и на основе этих данных, прогнозировать самые различные события и явления. Любые происходящие события могут с успехом отслеживаться по такой базе данных. Столь мощная технология позволяет решать при помощи ГИС огромное количество различного рода производственных задач.

В данной научной работе ГИС рассматривается как современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов входящих в состав горно-технических систем, а также событий, происходящих в процессе ведения горных работ. ГИС-технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет электронная карта. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и

обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре производственных задач, связанных с анализом и прогнозом техногенных явлений и событий сопутствующие технологическим процессам выемки угля для планирования стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий. Для проектирования устойчиво функционирующих высокопроизводительных предприятий по подземной разработке месторождений полезных ископаемых актуальным является моделирование геомеханического взаимодействия массива горных пород с угледобывающими механизированными комплексами, направленное на прогноз риска обрушения кровли выработок при ведении горных работ, с осмыслением и выделением главных факторов и причин возникновения геодинамических аварийных ситуаций, а также их возможных последствий.

Помимо полнофункциональных ГИС общего назначения, выделяют специализированные, которые часто имеют нечеткие границы со специализированными пакетами, не являющимися в этом смысле ГИС. Например, ГИС, ориентированные на задачи планирования горных работ, транспортные и навигационные задачи, задачи инженерных изысканий и проектирования сооружений, прогнозирование риска обрушения кровли выработок при ведении горных работ и др.

Роль специализированных ГИС среди других автоматизированных систем, предназначенных для решения производственных задач на разных системных уровнях, показана на рисунке 2. Из рисунка видно, что автоматизированная система управления полностью интегрирована в состав специализированных ГИС и может быть рассмотрена как некое подмножество.

Проектируя ГИС для прогнозирования динамики изменения напряженно-деформированного состояния углепородного массива при ведении очистных работ особое внимание необходимо уделить разработке математической модели объекта, которая преследует две основные цели: дать формальное описание структуры и процесса функционирования исследуемого объекта и попытаться

представить процесс функционирования горно-технической системы в виде, допускающем алгоритмическое исследование объекта.

Исследование разработанной математической модели может быть проведено различными методами – аналитическими, численными, имитационными. Основная часть реальных систем взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом в окрестности очистного забоя не поддаются исследованию аналитическими методами, т.к. их нельзя представить в виде явных аналитических зависимостей.



Рисунок 2. Перечень автоматизированных систем входящих в состав ГИС на разных системных уровнях:

АСНИ – автоматизированные системы научных исследований;

САПР – системы автоматизированного проектирования;

АСИС – автоматизированные справочно-информационные системы;

АСДО – автоматизированная система документационного обеспечения;

АСУ - автоматизированная система управления.

Для исследования таких объектов могут быть применены численные и имитационные методы. При этом математическая модель представляется либо в виде системы уравнений, допускающей решение численными методами, либо в виде алгоритма, имитирующего процесс функционирования объекта. В результате, математическая модель должна быть представлена в виде пакета программ. То есть, необходимо выбрать средства программирования модели, определить требуемые ресурсы на написание и отладку программы. Анализ результатов моделирования позволяет уточнить множество параметров модели, а, следовательно, и уточнить саму модель. Это может привести к значительным изменениям первоначального вида, как концептуальной модели, так и самой математической модели. [28]

Прогноз, как правило, является главной целью моделирования. Он заключается в оценке поведения оригинала в будущем при определенном сочетании его управляемых и неуправляемых характеристик. Оптимизация же представляет собой определение такой стратегии поведения системы с учетом среды, при котором достижение цели функционирования обеспечивалось бы при наименьшем расходе ресурсов. В конечном счете, результаты моделирования используются для принятия решения о работоспособности объекта, прогнозирования его поведения, для оптимизации объекта и т.д.

Таким образом, специализированную горную ГИС (СГГИС) можно рассматривать как новый современный вариант автоматизированных систем управления, использующих большее число данных и большее число методов анализа для поддержки принятия управленческих решений при проектировании и эксплуатации горно-технических систем.

1.2. Анализ разработок специализированного программного обеспечения на базе ГИС-технологий для угледобывающих предприятий.

Применение ГИС для нужд геологии и горной промышленности наталкивается на ряд трудностей, связанных со значительной сложностью решаемых геологических задач. Прежде всего, исследуемый объект, представленный в виде системы «углепородный массив – механизированная крепь», не доступен для прямого наблюдения, а все аналитические методы изучения напряженно – деформированного состояния породного массива не дают точного представления об особенностях ведения горных работ. Свойства геологических тел могут изменяться во всех направлениях, а в случае их разработки — и во времени. Результатов различных исследований много и они чрезвычайно разнородны. Это десятки (или сотни) скважин, в каждой из которых может быть до пятнадцати видов каротажа и, кроме того, данные опробований, описания керна, геохимические анализы, материалы полевой геофизики — сейсмо и электроразведка в различных модификациях, гравитационные, магнитные съемки, карты рельефа, аэрокосмические фотоснимки и много другой информации. Все исследования проводились в разное время и с разной достоверностью. Объемы полученной информации могут составлять от десятков килобайт до сотен мегабайт.

Поэтому, с развитием технических средств поддержки функционирования ГИС, не прекращаются разработки программного обеспечения, которое позволило бы хранить в цифровой форме все имеющиеся данные, быстро их выбирать и обрабатывать, находить и учитывать различные взаимосвязи, проводить комплексную обработку, оценивая при этом достоверность, как исходной информации, так и конечных результатов, а также экономить время при выполнении бесчисленного множества рутинных операций таких как, ввод и редактирование исходных данных, рисование карт и разрезов, составление отчетов и схем [29].

На существующем рынке программного обеспечения по данной тематике, программных средств для комплексной интерпретации геологической и геофизической информации совсем немного. В России ряд крупных горнодобывающих компаний успешно внедряют в работу современные горные информационные технологии, которые позволяют существенно повысить эффективность разведки и добычи минерального сырья. К таким компаниям можно отнести МНПО «Полиметалл», ОАО ГМК «Норильский Никель», Костамукшский ГОК, Качканарский ГОК, Михайловский ГОК, ОАО «Бурятзолото», ООО «ХУЖИР Энтэрпрайз», ОАО «Алданзолото», ЗАО «Каряк-геолдобыча», ЗАО «Высочайший», проектные институты «Гипроникель», «Гипроруда», «Якутнипроалмаз», ОАО «Иргиредмет», ЗАО «Питер-ГОРпроект», «ВИСТ Групп» и другие. [30]

Эти предприятия используют компьютерное программное обеспечение известных мировых компаний («Datamine», «GEMCOM», «Vulcan», «Micromine», «Surpac» и др.) и с его помощью успешно выполняют блочное моделирование сложных геологических объектов, проводят многовариантную оценку запасов месторождений, выполняют оптимизацию и проектирование карьеров и подземных рудников.

По принципу построения и функционально они близки между собой. В их состав входит ядро (набор программ для управления ключевыми функциями и обеспечения общего интерфейса пользователя) и следующие модули: формирование баз данных (БД); моделирование; подсчет запасов; маркшейдерия; графика; анализ данных; геостатистика; оптимизация карьера по внешнему контуру; проектирование карьера; планирование горных работ (перспективное, текущее, оперативное); оперативное управление рудопотоками. Кроме указанных в составе пакетов могут быть дополнительные, узкоспециализированные модули (геомеханика, проектирование буровзрывных работ и др.). Наиболее известны системы GemCom (Канада), Surpac-2000 (Surpac Software International Pty Ltd, Австрия),

Techbase (США), Minemap, Minecom, Micromine и Vulcan (Австралия), Datamine (Великобритания) и т. д. [31]

Программные продукты компании MICROMINE [32,33] позволяют решать проблемы в геологоразведке и горной добыче, как правило, связанные со сбором, управлением и интерпретацией данных геологоразведки и добычи. (Рисунок 3) Геологам и горным инженерам предоставляется возможность определять перспективные участки, находить признаки минерализации, создавать модель и визуализировать распределение руды, а также проектировать горные работы. Система Geobank компании MICROMINE состоит из четырех модулей [34]:

CORE (ЯДРО). Модуль предоставляет все инструменты, требующиеся для создания надежной и одновременно гибкой системы управления данными. Он предоставляет доступ только к тем инструментам и отчетам, которые имеют отношение к их работе, гибкие инструменты импорта и экспорта облегчают преобразование, проверку и восстановление данных, поступающих из разрозненных источников, возможности подключения к Microsoft SQL Server, Microsoft Access и Oracle, многофункциональный генератор графических отчетов, конструктор макросов для автоматизации стандартных задач.

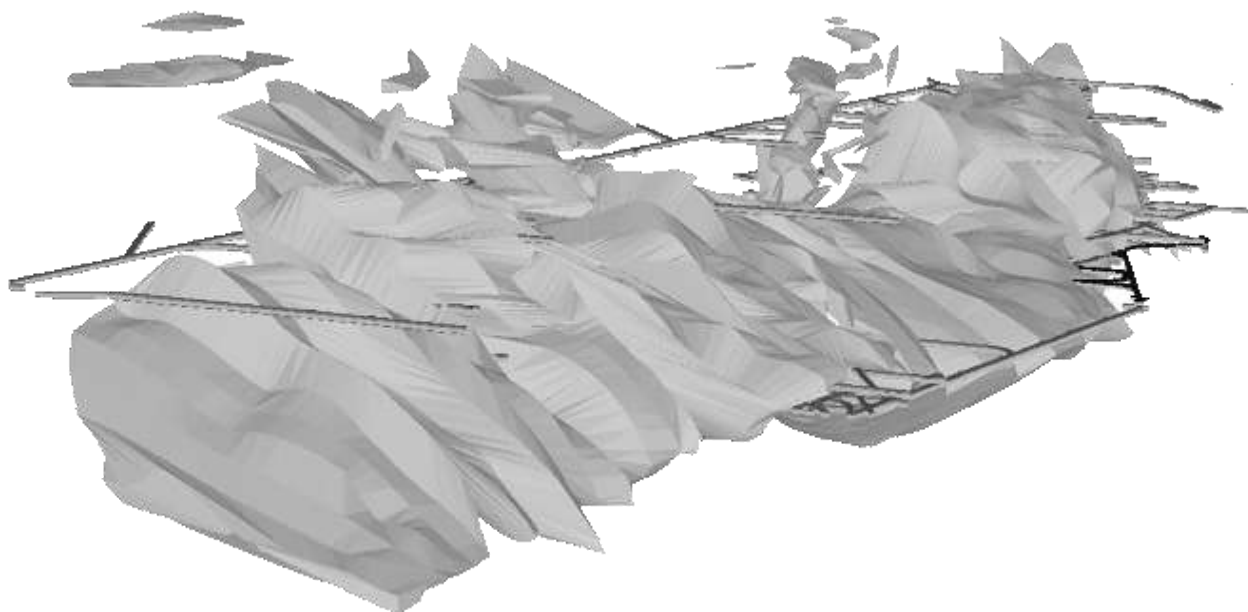


Рисунок 3. Визуализация рудного тела с существующими выработками.

PROFESSIONAL (ПРОФЕССИОНАЛ). Модуль предоставляет расширенный набор функций, предназначенных специально для геологоразведки и горных работ. В этот набор входят специализированные утилиты для отображения данных буровых скважин и работы с ними.

COAL (УГОЛЬ). Модуль предоставляет набор функций, предназначенных для повышения эффективности работы с данными об угольной породе. Он предоставляет учет данных частичной и суммарной обогатимости угля на фракциях разного размера, процедуры для компиляции стандартизированной матрицы размывания путем интерполяции значений на основе разрозненных наборов данных обогатимости, основные инструменты композитирования с возможностью просмотра кривых размывания, возможность расчета и экспорта таблиц размывания.

SAMPLE TRACKER (Лаборатория) Модуль Sample Tracker (Лаборатория) предназначен для хранения и обработки данных, относящихся к сбору, подготовке и анализу образцов.

Система Geobank отличается от других решений, для управления данными, высокой степенью настраиваемости. В системе имеется многофункциональный генератор отчетов, позволяющий специалисту-геологу не только просматривать и распечатывать отчет в знакомом формате (например, послойный геологический разрез скважины), но и просматривать базу данных с использованием этого же графического формата. Это означает, что пользователи могут перемещаться от одной скважины к другой и просматривать в режиме реального времени текущее представление данных в предварительно определенном формате, дополненном условными обозначениями, диаграммами ит.д. [35]

Комплекс «Datamine» [36] применяется геологической, маркшейдерской и конструкторской службами для соответствующего обеспечения горных работ. На первоначальном этапе создается база геолого–маркшейдерских работ по месторождению, которая используется для выполнения работ по

оконтуриванию рудных тел, подсчету запасов полезного ископаемого, составлению проектной документации для ведения горных работ, планирования горных работ, учету и движению запасов полезного ископаемого с выдачей данных в цифровом и графическом виде. Используются следующие программные модули «Datamine» [37]:

- 1) дейтамайн и Гайд (CORE);
- 2) моделирование каркаса (WFM);
- 3) моделирование блоков (MOD);
- 4) трехмерная графика (GVP);
- 5) геостатистика (EGS);
- 6) подземное проектирование (UGM),
- 7) оптимизатор продвижения забоя (FSO);
- 8) календарное планирование (SCH);
- 9) проектирование буровых работ (RINGS);
- 10) маркшейдерская съемка рудника (SRV).

В базу данных вводят результаты опробования всех скважин и горных выработок, полученных в процессе разведки и эксплуатации [38]. А также данные из первичной геологической документации и маркшейдерская съемка горных выработок..(Рисунок 4)

Контуров рудных тел строятся по утвержденным кондициям вручную, на экранах компьютеров и запоминаются, как файлы с соответствующим расширением и названием. При этом выбирается любое направление сечений рудных тел.

Создание каркасной модели производится автоматически (методом триангуляции) между соседними сечениями и объединением их в общий каркас рудного тела. В процессе этой операции осуществляется проверка корректности увязки контура рудного тела и на предмет полного использования всех пересечений.

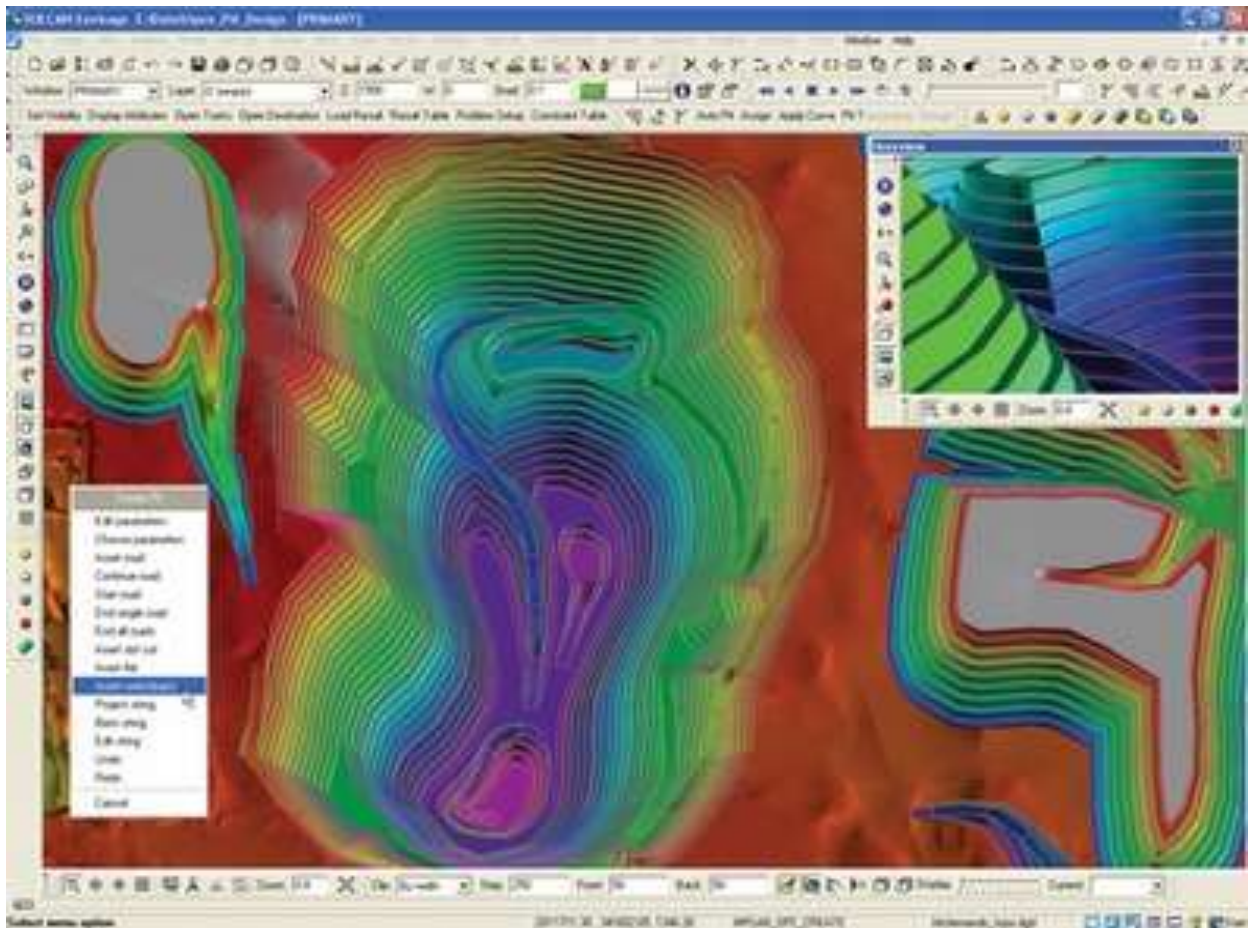


Рисунок 4. Вид рабочего окна Martek Vulcan

Статистические исследования проводятся по каждому рудному телу с построением гистограмм, которые показывают характер распределения подсчитываемых компонентов и вариограмм.

Создание блоковых моделей производится на основе вариограмм, с разбивкой пространства рудного тела на элементарные ячейки. Размер ячеек зависит от морфологии рудного тела и существующей сети разведки. Ячейки складываются в блоковую модель.

GEOVIA Surpac является одним из популярных горно-геологическим пакетом. ПО Surpac соответствует требованиям геологов, маркшейдеров и горных инженеров, работающих в горнодобывающей промышленности.[39]

Программное решение для подземных горных работ в горной системе Surpac может быть применено для любых систем разработок, таких как :

- отработка жильных /пластовых тел традиционными методами;

- отработка жильных /пластовых тел механизированными методами;
- традиционная выемка с отбойкой глубокими скважинами;
- выемка открытым забоем с обратным ходом и отбойкой глубокими скважинами;
- отработка методом выемка/закладка;
- подэтажное обрушение;
- блоковое обрушение.

Проектирование, планирование и анализ подземных горных работ включены в отдельные модули, входящие в систему GEOVIA Surpac™. ПО Surpac, его модули Advanced Underground Design (Продвинутое Подземное Проектирование) и GEOVIA MineSched™ (Горное Планирование) предоставляют горнякам инструменты трансформации геологических моделей рудных тел в оптимальные проекты горных выработок и планы горных работ, и позволяют найти рациональный способ отработки месторождения. (Рисунок 5)

Модуль усовершенствованного подземного проектирования предоставляет инженерам-технологам большую гибкость благодаря делению рабочего процесса на стадии и возможности копировать и модифицировать существующие проекты без всяких усилий [40]. Установки проектирования используются для создания окончательного или частичного проекта горных выработок в формате ПО Surpac. Программная среда проектирования избавляет инженеров от рутинного черчения, высвобождает время на оптимизацию проектов и тестирование альтернативных вариантов.

ПО MineSched используется на подземных рудниках всех типов и размеров при разработке долго-, средне- и краткосрочных планов и планировании усреднения качества через шихтовку. [41] Данная подсистема предоставляет широкий набор инструментов и выполняет такие операции как:

- интегрированное планирование подготовительных и добычных работ;
- повторное создание планов для выявления альтернативных сценариев работ с помощью простых схем ввода установок;

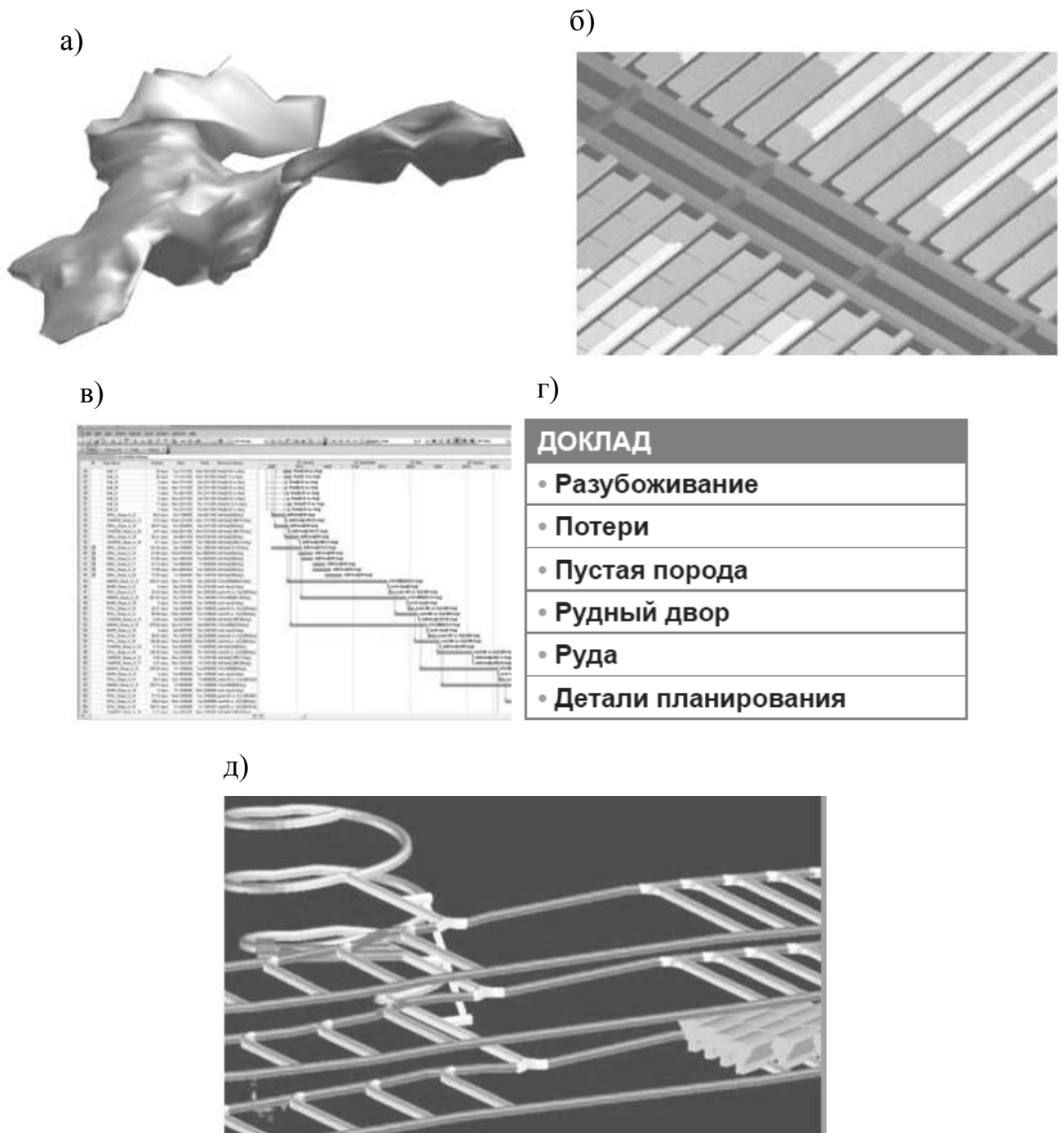


Рисунок 5. Этапы создания проекта горных работ:

- а) моделирование месторождения
- б) моделирование шахты
- в) проектирование горных выработок
- г) анализ модели
- д) окончательный проект, включающий транспортные уклоны, квершлагги и пункты выпуска.

- создание планов работ, нацеленных на усреднение качества и соотношения добываемых материалов с учетом реальных горных ограничений и применимости практических методов отработки;
- планирование с получением полного комплекса справок и графических результатов;
- распределить оборудование и рабочую силу по выработкам на основе пользовательских приоритетов и ограничений;
- возможность планирования на показателях длины выработок, объема и тоннажа горной массы или параметрах количества любого продукта в реальные сроки для получения максимально точных планов горных работ;
- отчетность (справки) по тоннажу и содержаниям в подготовительных выработках

GEOVIA MineSched™ используется поверхностной и подземной горной промышленностью для проведения долгосрочного и краткосрочного планирования в целях увеличения производительности и объемов разработки горной массы. [42]

Карьер. Подготовка и планирование объемов выемки полезного ископаемого при наличии MineSched автоматически упорядочивают место размещения горной промышленности. Интегрирование материала от других шахт, запасов и предприятий по переработке через многократные этапы в материальной сети потока. Определяет требования к вспомогательному оборудованию, включая перевозку, установку, зарядку взрывчатых веществ и многое другое. Расписание работ выводится геометрически одновременно с расположениями запаса в карьере. Создание триангуляции поверхности выработки карьера, которая может использоваться в другой геологии и пакетах планирования разработки месторождения [43]

Планирование подземной шахты. От генеральной идеи до производства очистных работ MineSched генерирует практичные и интегрированные подземные расписания разработки и производства для долгового и кратко-

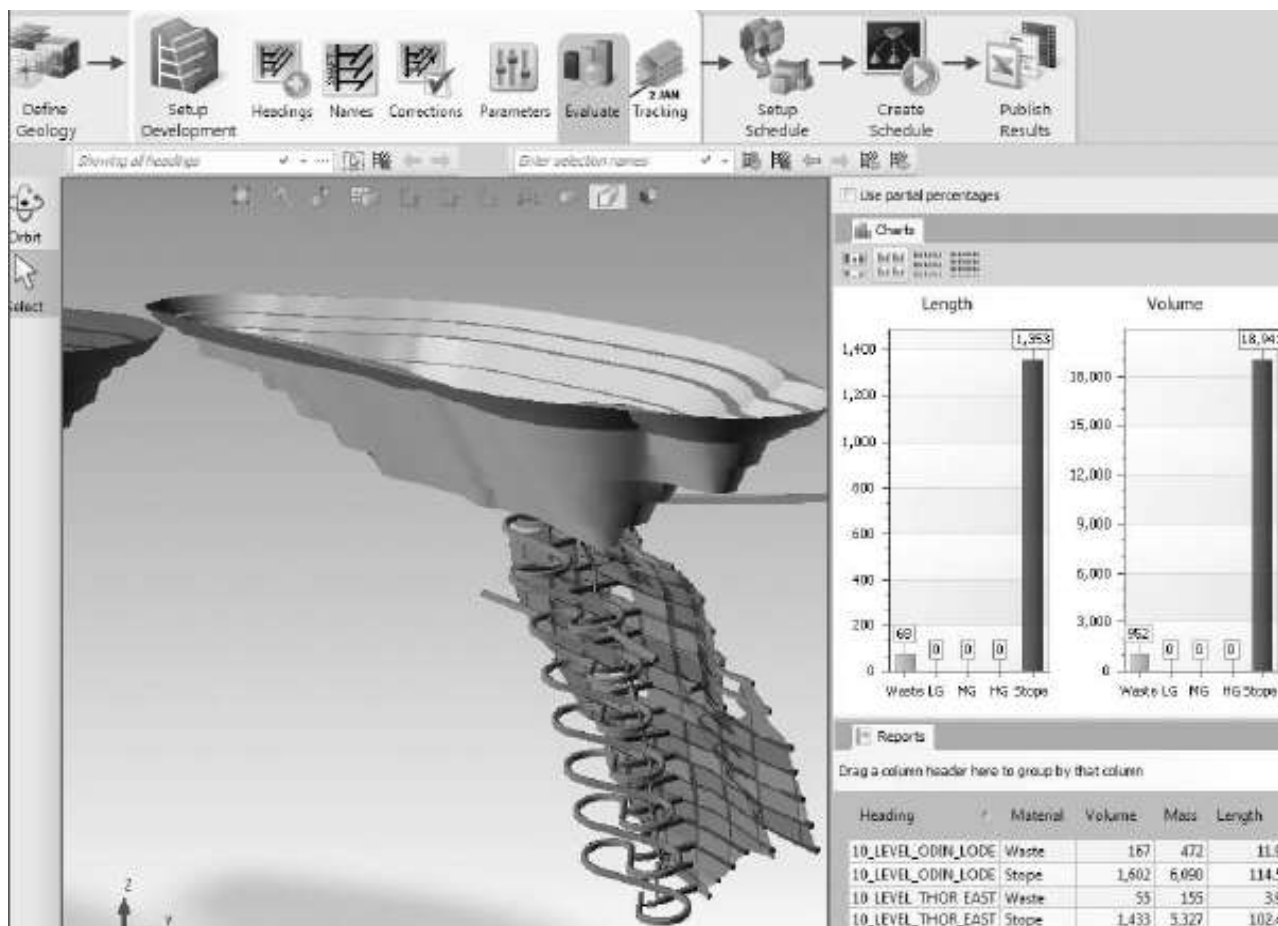


Рисунок 6. Диаграммам и отчет планирования горных работ

срочного планирования. Моделирует поток материала через модели передачи руды и существующие транспортные уровни. Установка связей между основными и вспомогательными работами при ведении очистных работ в одном программном модуле. Ведет расчет затрат на вспомогательные виды работ, такие как развертка, взрывчатая зарядка, выемка, нормирование очистной работы и т.д. Осуществляет прогноз времени ведения очистных работ, планируя производство и разработку одновременно. Разработка графика непосредственно от модели средней линии [43].

Использование различных методов разработки горного предприятия, позволит сэкономить время для моделирования вентиляционных каналов и рассчитать сроки их службы. Создание плана ведения горных работ, с помощью которого указывается, где разработка и очистные работы будут в конце каждого периода. На рисунке 6 показан вид программного окна.

К преимуществам использования пакета GEMS можно отнести [44]:

- централизованная база данных обеспечивает сохранность информации, исключает повторяющиеся данные, повышает точность;
- легкая доступность информации позволяет вести совместную работу в единой базе данных, что особенно важно в случае необходимости быстрого принятия решений;
- система easy-of-use - система подсказок, которая помогает пользователям во время рабочего процесса;
- интеграция с Microsoft-приложениями позволяет сделать рабочий процесс более удобным;
- PlotMaker позволяет вставлять в отчет листы графики, схемы, растровые изображения, таблицы Excel, документы Word и др. объекты.

С помощью GEMS можно управлять данными по скважинам, создавать графики, отчеты, модели топоповерхностей и каркасные модели, применять сложные геостатистические подсчеты для вычисления запасов, отображать и анализировать месторождения полезных ископаемых, а именно:

- защитить и структурировать информацию;
- использовать различные методы моделирования горных работ от простых полигонов до сложных трехмерных каркасных моделей для создания точной геологической модели;
- получить значение качества, которое берется из блок-модели или сеточных поверхностей, в зависимости от того, что подходит для Вашего типа полезного ископаемого;
- использовать полный набор различных методов оценки запасов;
- иметь полный контроль за процессом интерполяции для прослеживания анизотропии, геологических параметров и ураганных проб.

Планирование и проектирование горных работ в GEMS осуществляется как для открытого, так и для подземного способа добычи. С помощью данных, собранных в единой, постоянно обновляющейся базе данных, планы горных

работ создаются более точно. Использование инструментов долгосрочного планирования и тестирование (прогон) различных сценариев для того, чтобы выбрать наилучший план разработки на необходимый рабочий период. Ежедневный контроль производства с помощью современной маркшейдерии и управление контролем качества руды. Наблюдение за объемами с целью своевременного определения истощения запасов. [45]

Инструменты для открытых горных работ. (Рисунок 7) Расчет экономически выгодного контура карьера с помощью Gemcom Whittle™ для оптимизации контура карьера и его последующего расширения. Создание проекта бурения и контроль глубины скважин с помощью предварительного создания поверхностей, перенос устьев скважин на существующую поверхность с целью контроля высотных отметок.

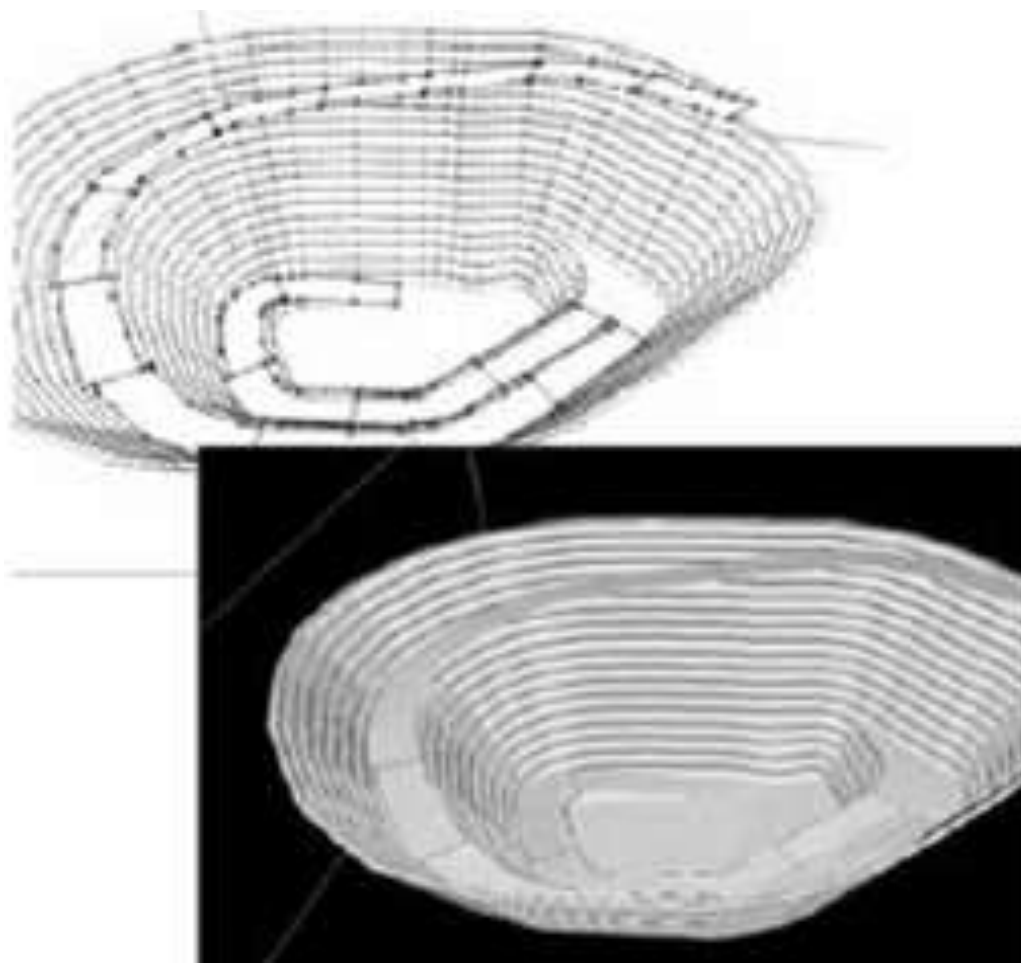


Рисунок 7. Проектирование ОГР (построение карьера).

Инструменты подземного проектирования.(Рисунок 8) Автоматизация процесса создания подземных горных выработок при помощи осевых линий, которые создаются с учетом соблюдения безопасных расстояний и сопряжений на пересечениях. Создание сложной системы подземных выработок, подсчет запасов, объемов, разубоживание. Гарантия точности данных при выполнении проекта бурения и моделировании выработок.

GEOVIA Minex™ предоставляет лучшие горно-геологические инструменты для угольных и других пластовых месторождений, обеспечивая точность оценки запасов и эффективность их отработки [46].

GEOVIA Whittle™ - всемирно признанное программное обеспечение для стратегического планирования горных работ, используемое для определения и оптимизации экономической эффективности проектов открытых горных работ [47].

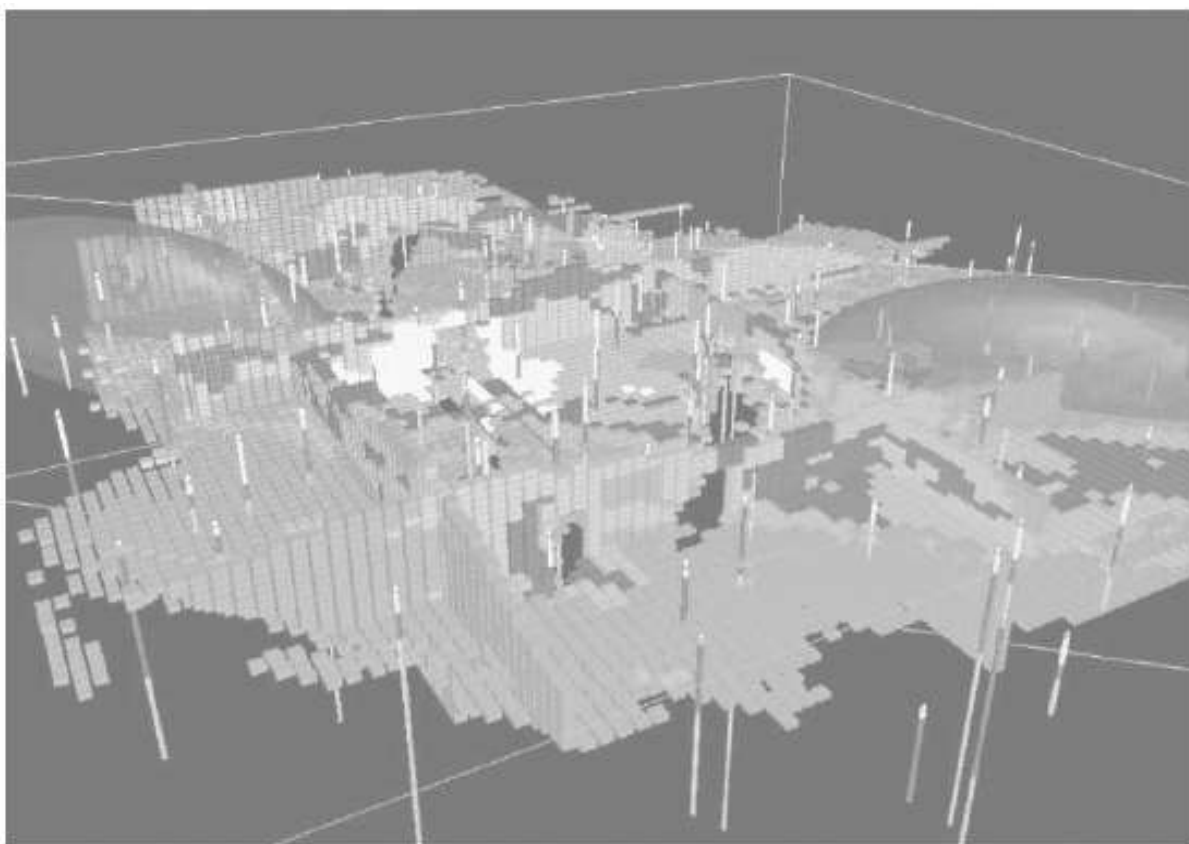


Рисунок 8. Результат блочного моделирования породного массива карьера.

GEOVIA PCBC™ используется практически всеми крупными горнодобывающими компаниями, применяющими систему блокового обрушения, полагаясь на комплексную функциональность программы, помогающую при описании технико-экономического обоснования, проектировании и управлении производством. [48]

GEOVIA Hub™ представляет собой оптимизированную систему управления данными разведки и производства.[49] GEOVIA Hub™ решает проблемы передачи данных для рассредоточенных пользователей даже в условиях ненадежного соединения, а также обеспечивает высокую степень безопасности, что позволяет пользователям надежно синхронизировать данные.

GEOVIA InSite™ предоставляет горнодобывающему предприятию инструменты получения данных в режиме реального времени – данных, позволяющих повысить эффективность управлением производственным процессом от стадии добычи до стадии получения конечного продукта. [50]

В список компаний и компьютерных систем, рекомендованных ГКЗ России для подсчета запасов, предоставляемого на государственную экспертизу, кроме мировых лидеров этой отрасли включены и отечественные компании, успешно разрабатывающие программное обеспечение для 3D-моделирования месторождений. Наибольшее распространение в горнодобывающей промышленности получили программные пакеты ЗАО «ИНТЕГРА» и ВНИИГЕОСИСТЕМ (Geostatistical Software Tool). [51]

Программа Geostatistical Software Tool (GST) — программа трехмерного моделирования недр и подсчета запасов твердых полезных ископаемых с использованием методов прикладной геостатистики. Программа реализует полный цикл операций блочного моделирования объема, полный цикл операций по управлению твердотельными моделями объема, взаимное проецирование блочных и твердотельных моделей, ряд операций по управлению моделями иных типов. Построенная таким образом модель месторождения может быть использована для подсчета его запасов,

оптимального проектирования горнодобывающего предприятия, а также долгосрочного и среднесрочного планирования горных работ на уже действующем предприятии. Уникальные компьютерные технологии компании «Интегра» позволяют построить оптимальный по прибыли и в то же время реально выполнимый по техническим ограничениям календарный график развития карьера и его финальную форму. [52]

Графическая оболочка программы создана как трехмерный «расширитель» ГИС INTEGRО. Основное преимущество ГИС ИНТЕГРО заключается в возможности хранения и визуализации разных видов информации и в наличии специализированных модулей работы с геолого-геофизической и геохимической информацией.

Существует программный комплекс, обладающий очень высокой степенью универсальности при решении геологических задач для любой отрасли горной промышленности — нефтяной, газовой, рудной, угольной или алмазодобывающей. Это система «ПАНГЕЯ» (Пр-во АОЗТ «ПАНГЕЯ», Россия) [53]. Столь широкий охват объясняется, прежде всего, тем подходом, на котором базируется ее информационная архитектура: поставленная геологическая задача (подсчет запасов, прогноз распространения продуктивных отложений, выбор точек заложения скважин или проектирование технологии разработки) решается путем создания трехмерной цифровой модели физических свойств горного объекта.

Информационной основой комплекса «ПАНГЕЯ» служит единая база геологической и геофизической информации. Это данные сейсморазведки, электроразведки, каротажа, структурные и геологические карты, карты рельефа дневной поверхности и космические снимки, карты аномалий силы тяжести и магнитного поля и многое другое. Средства работы с базой данных позволяют производить операции оперативной дозагрузки информации, ее редактирование и перемещение. Имеются также конверторы для импорта из других программных комплексов (СИЦС-3, PROMAX, LANDMARK и т. д.) [29].

Применяются алгоритмы факторного, компонентного, регрессионного анализа и многие другие. Например, исходные сейсмические профили могут быть пересчитаны в прогнозный разрез пористости, а гравиметрические наблюдения — в разрезы плотностей. При этом одновременно ведется оценка информативности получаемых результатов, как по отдельности так и в различных сочетаниях.

Применение построенной системы решающих правил к исходной информации дает в результате трехмерную динамическую цифровую модель горного объекта, которая в свою очередь является основой для работы пакета программ количественного прогноза CON-TOURING, или программных комплексов для проектирования систем разработки. Итоговый результат представляется в виде разрезов и карт исследуемых или прогнозных параметров. Каждый прогноз сопровождается количественными оценками его достоверности (также в виде карт или разрезов).

Система «ПАНГЕЯ» имеет модульную архитектуру. Этим допускается возможность настраивать конфигурацию системы под конкретную технологию. Многие модули могут быть легко преобразованы в автономно действующие программы, а вся система в целом легко адаптируется к любой существующей организационной структуре горного предприятия: отдел главного геолога использует головную часть системы, эксплуатационные участки — подчиненные. Возможны и сетевые решения.

«ПАНГЕЯ» постоянно совершенствуется. Уже сегодня она успешно эксплуатируется для решения задач нефтегазовой геологии на ряде предприятий Западной Сибири и за рубежом — ЗапСибНИИГеофизика (г. Тюмень), Северо-Западный Геологический институт (Китай, г. Ланчжоу).[29]

Таким образом, анализ разработок специализированного программного обеспечения на базе ГИС-технологий для угледобывающих предприятий показал, что помимо высокой стоимости разработки, сопровождения и эксплуатации предлагаемых решений, рассмотренное программное

обеспечение является сложным в настройке его на практике, согласно специфике конкретного предприятия и в освоение конечным пользователем. При этом исходный код коммерческих программных продуктов является закрытым, что в совокупности с плохо развитой системой дополнений отрицательно сказывается на возможностях интеграции в существующие информационные системы предприятия и с программными продуктами схожего назначения. Закрытый исходный код также отрицательно влияет на возможность расширения функционального наполнения и его улучшения путем проведения низкоуровневых оптимизаций.

Программных средств для комплексной интерпретации геологической и геофизической информации в мире совсем немного. Наиболее совершенные из них, такие как пакеты совместного производства фирм SCHLUMBERGER, GEOQUEST, LANDMARK и CGG, ориентированы на нефтегазовые задачи. В нефтяной и газовой промышленности традиционно велики объемы цифровых данных (сейсморазведки и каротажа) и на разработку программного обеспечения выделяется больше средств. Для решения задач ведения горных работ успешно применяются пакеты для моделирования недр, подсчета запасов твердых полезных ископаемых, планирования графика горных работ, создания сложных системы подземных выработок, создание планов работ т.п.

1.3. Анализ научных работ по моделированию процессов взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом.

Эффективность работы угольной промышленности России ниже результатов, достигнутых за рубежом. В комплексно-механизированных забоях России коэффициент машинного времени изменяется в пределах 0,43 – 0,55, тогда как за рубежом уже неудовлетворительным считается показатель 0,6. В 36% забоев применяемые комплексы не соответствуют горно-геологическим условиям. [54].

Одной из причин неудовлетворительной работы очистных забоев России является низкая адаптивность забойного оборудования, в частности механизированных крепей, к изменяющимся горно-геологическим условиям. Реальная ситуация такова, что шахта, затратив 150-200 млн. рублей на оснащение выемочного участка не может окупить затраты из-за низкой производительности забоя, снижающейся из-за большого количества аварийных ситуаций. Между тем силовой и энергетический потенциал механизированных крепей последнего поколения достаточно высок. В работе [55] показано, что этим потенциалом необходимо и возможно управлять.

На рисунке 9 представлены некоторые реальные аварийные геомеханические ситуации, возникавшие в процессе отработки пласта 3-9^{восток} шахты "Алардинская". Из рисунка видно, что при ведении выемочных работ, происходило разрушение пород кровли над секцией крепи с образованием куполов до 4 м и обрушение поверхности забоя. При наличии высокого горного давления на очистной забой наблюдался разрыв, и зажатие секций механизированной крепи. В результате большого обнажения кровли происходили вывалы породы в рабочую зону выемочных работ. Отжим угля носил местный характер, т.е. развивался на небольших участках по длине очистного забоя, а его глубина не превышала 0,2-0,3 м. На участках геологических нарушений глубина отжима достигала 0,5 - 1 м.

Высокое давление, возникающее в результате оседания пород непосредственной кровли, существенным образом сдерживает скорость продвижения очистного забоя. Из практических наблюдений были сделаны выводы, что наибольшее давление приходилось на среднюю и верхнюю часть лавы, в результате чего наблюдается отжим угля с поверхности забоя. Так, например, в районе с 18 по 35 секцию расстояние от края козырька до поверхности забоя достигает 3 метров.

В результате вывалов пород кровли над посадочным рядом гидростоек происходило наталкивание секций крепи на поверхность забоя. За полгода

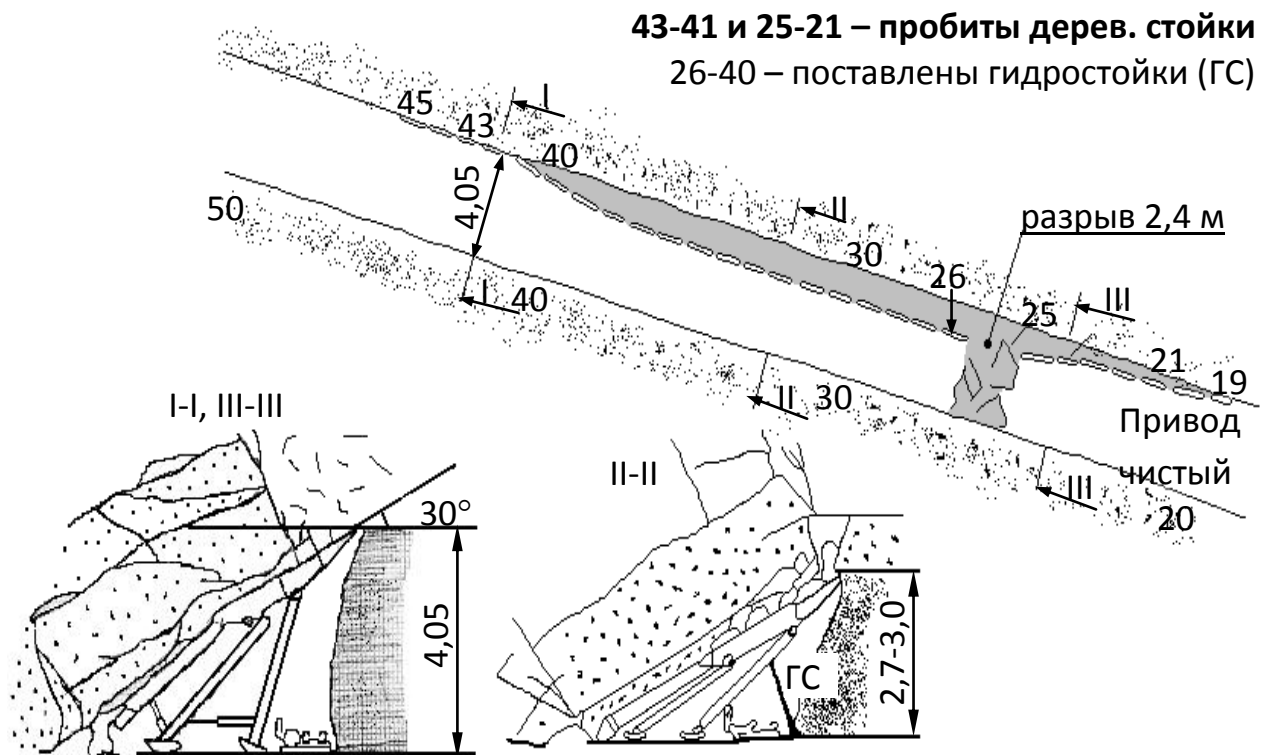


Рисунок .9. Обрушения пород непосредственной кровли по ширине лавы

работы лавы несколько раз приходилось поднимать секции крепи в рабочее положение. Такая ситуация объясняется обрушением кровли в завальной части лавы и наталкиванием секций на поверхность забоя.

Выход из такого рода ситуаций требует значительного времени, т.к. секции оказываются в положении "нажестко". Не все стойки крепи можно сразу выставить в рабочее положение, поэтому приходится отцеплять линейные домкраты и связи от ограждений, а лавный конвейер задвигать с помощью стоек ГВКУ.

Обрушение пород кровли приводило к аварийным ситуациям и дополнительным затратам на ремонтно-восстановительные работы. Однако, на стадии разработки проектной документации для этого участка по существующей методике аварийные ситуации исключались. Аналогичные ситуации наблюдаются и на других шахтах Кузбасса, например, на предприятиях "УК"Кузнецкуголь" более 30% комплексно-механизированных забоев работают не в оптимальном режиме.

Секции механизированных крепей содержат в себе гидростойки, которые основанием и перекрытием объединены в единую конструкцию. В работах [56,57,58] показано, что при использовании механизированных крепей необходимо управлять не только величиной, но и положением равнодействующей начального распора секции [59].

Управление положением равнодействующей начального распора должно осуществляться путем приближения ее к передним или задним гидростойкам. Это необходимо, прежде всего, для предотвращения обрушений кровли за угольным комбайном. В нашей стране более чем 70% лав на пластах с углом падения до 35° имеют неустойчивые нижние слои кровли. Это означает, что практически во всех случаях надо приближать равнодействующую распора к передним гидростойкам, т.е. работать с превышением величины распора передних гидростоек крепи.

Различными исследовательскими организациями России установлены некоторые закономерности взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом. Однако, они относятся в основном к забоям работающим с низкой нагрузкой (до 1000 тонн в сутки). Многие из них получены на основе классических положений теории упругости и упрощенных представлений о сложной системе "механизированная крепь – углепородный массив", не учитывают накопления деструктивных изменений нарушенности массива горных пород, изменения механических характеристик их материала [60] и, как следствие, не обеспечивают получения достоверных результатов.

Исследования процессов геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом, проводимые с начала пятидесятых годов, то есть с момента их появления, проводятся и до настоящего времени. И, тем не менее, до сих пор отсутствуют научно-обоснованные методы их математического моделирования [61-64]. Проведенные за этот период ведущими институтами России (ИГД им. Скочинского) и зарубежными учеными исследования позволили выработать рекомендации для совершенствования способов управления состоянием горного массива (активные, пассивные и др.) [55, 65-69].

Натурные (производственные) исследования проявлений горного давления в реальных выработках обеспечивают получение наиболее надежных и правдивых результатов о физических параметрах и процессах, а также о состоянии пород. Однако натурный метод остается одним из трудоемких и дорогостоящих, а использование полученных данных правомерно лишь для конкретных изучаемых условий.

Методы физического моделирования, как менее трудоемкие и дорогостоящие, позволяют расширить возможность изучения условий [70]. Вместе с тем, они не обеспечивают необходимой представительности данных о свойствах и состоянии реального массива – сложной многофазной среды, свойства которой непрерывно изменяются во времени и пространстве в

зависимости от напряженно-деформированного состояния. Достаточно напомнить, что массив горных пород в окрестности выработки из стадии упругого деформирования в объемном напряженном состоянии через стадии пластичности и ползучести как сплошное тело трансформируется на границе с выработкой в дискретную, отдельно блочную среду с соответствующими изменениями функциональных зависимостей между напряжениями и деформациями до полной потери закономерной связи.

Аналитические методы исследования позволяют определить напряженно-деформированное состояние массива в общем виде [71]. Известно, что для изучения геомеханических процессов перспективными являются методы механики сплошной среды (теория упругости, пластичности, ползучести, предельного равновесия). Однако из-за специфических свойств горных пород (анизотропии, неоднородности, трещиноватости), предопределяющих особенности процессов деформирования и разрушения, строгие аналитические методы не дают возможности оценивать количественные показатели, а следовательно, и принимать конкретные горнотехнические решения.

В связи с этим заслуживают внимания разработки компьютерных моделей геотехногенных систем (горных выработок) с использованием численных методов решения горнотехнических задач для прогнозной оценки геомеханических ситуаций, экспертизы проектов, разработки рекомендаций по обеспечению эксплуатационного состояния объектов [72 - 74] с использованием ГИС технологий.

В ГИС можно выделить четыре основные группы моделирования [75]:

1. Семантическое моделирование взаимосвязано с задачами кодирования и лингвистического обеспечения. Чем более разнородна входная информация по структуре и содержанию, чем менее она унифицирована, тем больший объем семантического моделирования применяется в подсистеме сбора данных.
2. Инвариантное моделирование основано на работе с полностью или частично унифицированными информационными элементами или структурами.

Этот вид моделирования предполагает использование групповых операций, что повышает производительность труда по сравнению с индивидуальным моделированием.

Инвариантность создает предпосылки для применения наборов программно-технологических средств безотносительно к конкретному виду (особенностям) моделируемого объекта. Она предусматривает использование общих свойств моделируемых объектов (свойств типов или классов) независимо от технических средств и специфических характеристик отдельных объектов. Другими словами, такое моделирование требует специализированного программного и лингвистического обеспечения, учитывающего свойства моделируемых объектов и возможность их структуризации на некие "графические примитивы".

В ГИС этот подход выражается в виде создания некоей основы для графического представления информации (карт) за счет использования специальных библиотек, например библиотек условных знаков и библиотек графических элементов.

3. Эвристическое моделирование применяется при необходимости экспертных решений, учете дуальных свойств объектов на видеоизображениях и при решении специальных нетиповых задач. В основном оно реализуется при интерактивной обработке. Такое моделирование осуществляется путем общения пользователя с ЭВМ на основе сценария, учитывающего, с одной стороны, технологические особенности программного обеспечения, с другой - особенности и опыт обработки данной категории объектов. Это повышает актуальность применения экспертных систем в ГИС.

4. Информационное моделирование связано с созданием и преобразованием разных форм информации, например графической или текстовой в вид, задаваемый пользователем. Оно эффективно только при предварительной разработке интегрированной информационной основы и использовании баз данных. В современных информационных системах реализация

информационного моделирования комплексно осуществляется путем создания подсистемы документационного обеспечения.

Локально проблема информационного моделирования решается средствами программного обеспечения. Решение многих проблем в теории горной технологии возможно на основе принципов имитационного моделирования [76]. Их использование позволяет в рамках единой теоретической схемы описать функционирование и взаимодействие технологических подсистем и горной среды с учетом пространственно-временной динамики горных работ.

Блок моделирования трансформации условий разработки включает две группы моделей в аналитической или матрично-цифровой форме [70]. Первая группа моделей описывает физико-механические, качественные, геометрические параметры горного массива, которые не подвержены трансформации и не зависят от интенсивности техногенного вмешательства в горный массив (например, поля, описывающие качества полезного ископаемого); вторая группа – динамические параметры горного массива, т.е. параметры, значения которых зависят от интенсивности техногенного вмешательства (к ним могут быть отнесены поля напряжений, смещений, интенсивные моменты времени, определяемые цикличностью ведения горных работ). В процессе моделирования происходит преобразование параметров полей, описывающих геомеханические и физико-математические характеристики горного массива.

В целях уменьшения затрат на проведение исследований и экспериментов возникает необходимость создания модельных структур с использованием ПЭВМ. В частности, перед началом очистных работ необходимо промоделировать поведение крепей в зависимости от геомеханических условий. В одной и той же лаве могут изменяться условия взаимодействия механизированных крепей с породами кровли, особенно на локальных участках, отличающихся по литографическому составу пород кровли, их

физико-механическим свойствам, что обуславливает различную тяжесть нагружения секций механизированных крепей, что может привести к аварийным ситуациям [77].

На стадии проектирования горных работ, учитывая высокую степень неопределенности, приходится использовать упрощенные имитационные модели систем разработки. Они позволяют представить общую картину ведения очистных работ в забое.

Группа моделей, имитирующих движение очистных забоев или фронта очистных работ, определяет характер динамики взаимодействия системы "механизированная крепь – углепородный массив" [78], потока добываемого полезного ископаемого по объему и качеству, а также основные технико-экономические показатели очистных работ

Современный этап развития компьютерных технологий позволяет осуществлять расчет различных конструкций крепей с широким использованием вычислительных методов, что дает возможность находить решение большинства задач, возникающих при проектировании крепей, многие из которых не имеют аналитического решения. Коллективом ученых ТулГУ разработана методика автоматизированного расчета и конструирования крепей, базирующаяся на стержневой математической модели [79]. Она позволяет путем численного моделирования с использованием ПЭВМ определять напряженно-деформированное состояние крепей при различных видах воздействий с учетом деформации звеньев, податливости связей, сил инерции и сопротивления среды.

Одним из недостатков данного метода является то, что он не отражает реальную картину всей системы взаимодействия крепи с углепородным массивом, так как при расчете используется нагружение единичной силой, последовательно прикладываемой в выбранных сечениях контура крепи.

Многие исследования проводятся при фиксированных положениях забоя без учета предыдущего напряженно-деформированного состояния и изменения

механических характеристик боковых пород. В действительности при проведении выемочных работ и циклическом движении очистного забоя геомеханические процессы, протекающие в породах, имеют достаточно сложный характер. В результате многократного приложения и снятия усилия секциями крепи к непосредственной кровле механические свойства породных слоев изменяются, что приводит к преждевременному обрушению пород кровли с образованием куполов и вспучиванию пород почвы.

При прогнозировании геомеханических параметров взаимодействия механизированных крепей циклически движущихся очистных забоев с углепородным массивом необходимо учитывать предшествующее состояние и прогрессирующую дезинтеграцию горных пород в зоне техногенного воздействия, что позволит получать более достоверные результаты.

На основании проведенного исследования взаимодействия системы "механизированная крепь - углепородный массив" с использованием имитационной модели и визуализации напряженно-деформированного состояния углепородного массива в пределах выемочного участка можно осуществлять выбор механизированной крепи из существующих серийно выпускающих моделей и дать рекомендации по управлению горным давлением в очистном забое для обеспечения безопасности ведения горных работ [80].

Таким образом, основные проблемы в области моделирования и разработки систем как основного элемента горной технологии сводятся к разработке принципов имитации динамических характеристик систем (моделирование во времени и пространстве технологических, геомеханических и физических процессов) и к разработке методов синтеза математических моделей систем на основе установленных закономерностей [62].

1.4. Обоснование создания специализированной ГГИС для моделирования геомеханических процессов при ведении очистных работ.

Ведение подземных горных работ всегда остается одной из наиболее опасных сфер трудовой деятельности человека, требующей постоянного внимания к обеспечению безопасности работающего персонала.

Развитие горной промышленности в России сопровождалось ухудшением безопасных условий труда в шахтах из-за увеличения загрязнения шахтной атмосферы, учащения возникновения подземных пожаров, взрывов метана и угольной пыли. К этому следует добавить повышение горного давления с углублением работ и, как следствие, высокий травматизм от обвалов и обрушений. [81] Действующие в горных отраслях России «ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ И ПЕРЕРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ» являются обобщением большого опыта, накопленного в горнодобывающей промышленности, а также последних достижений горной науки. В состав проектной документации должны быть включены разделы по безопасной эксплуатации объекта ведения работ, которые должны содержать: сведения о режимах нормальной эксплуатации объекта, предельные значения технологических параметров, подробные сведения о всех осуществляемых технологических процессах, анализ опасностей при возможном отклонении технологических процессов от регламентных. [82] В случае возникновения горно-геологических осложнений при ведении горных работ, необходимо разрабатывать мероприятия по безопасному производству работ в опасной зоне.

Многими институтами России выполняются фундаментальные и прикладные исследования для обеспечения рационального и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых с учетом сохранения окружающей среды. Прежде всего, это исследования свойств и напряженного состояния массивов горных пород, физических процессов горного

производства, обоснование геодинамической безопасности при ведении горных работ, а также управление геодинамическими рисками при добыче и транспортировки полезных ископаемых.

Необходимость учета последствий опасных геодинамических процессов обусловлена:

- горно-геологическими и горнотехническими характеристиками пласта и вмещающих пород;
- крупномасштабным воздействием на естественное равновесное состояние недр, приводящее к его нарушению и активизации опасных геологических процессов;
- развитием деформационных процессов пород продуктивных пластов и вмещающего массива выемки угольных пластов;
- мероприятиями, учитывающими специфические особенности системы разработки по креплению и управлению кровлей выработок и очистного пространства.

Эффективность внедрения высокоинтенсивных технологий выемки угля напрямую связана с проблемой обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев, которая может быть решена на основе компьютерного моделирования и прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ с использованием ГИС технологий.

Необходимо отметить, что достоверность прогноза технологических параметров очистного забоя с использованием традиционных методов моделирования геомеханических процессов на стадии проектирования и инженерной подготовки не превышает 60% для сложных горно-геологических условий, что приводит к несоответствию проектных и фактических технико-экономических показателей и возникновению аварийных ситуаций в комплексно-механизированных забоях.

Компьютерное моделирование геомеханических ситуаций с учетом положения СМК по длине выемочного столба возможно на основе исследования динамических процессов разрушения горных пород в целях получения новых знаний о закономерностях возникновения повышенного горного давления для предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт. Задача прогноза динамического обрушения массива горных пород при ведении очистных работ до сих пор остается актуальной т.к. она описывается комплексом моделей различной физической природы и аналитическими методами не может быть решена. Поэтому, для решения задач данного класса разумно применять информационные модели и технологии с использованием геоинформационных систем для последующего качественного управления технологическими процессами и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Диагностика массива горных пород основывается на всестороннем и систематическом изучении его состояния на всех стадиях ведения горных работ. Она включает анализ изменения геометрических размеров выработанного пространства по мощности и кратности подработки, различные инструментальные методы измерения физических параметров массива горных пород. Основными задачами диагностики являются: получение исходной информации о массиве; оценка текущего состояния массива горных пород; профилактическое обследование массива и прогнозирование геомеханических процессов, происходящих в нем; проведение необходимых наблюдений (измерений) по предупреждению внезапных обрушений. Знание потенциально опасных по обрушениям зон позволяет еще на стадии планирования и проектирования горных работ установить места возможных обрушений и заранее принять меры по их предотвращению.

Контроль состояния массива горных пород является следующим после диагностики этапом работ. Задачи контроля: выбор в пределах шахтного поля участков массива, подлежащих контролю; выбор и обоснование критериев

контроля массива или отдельных его элементов; разработка схем контроля и необходимых средств их совершенствования; оповещение обслуживающего персонала в случае возникновения опасных ситуаций. Контроль основывается на знании физических процессов, протекающих в массиве, и осуществляется различными видами мониторинга (аналитическими методами, инструментальными методами контроля за сдвижением горных пород, современными системами автоматизированного контроля, непосредственными визуальными обследованиями состояния выработок).

На сегодняшний день разработаны алгоритмы и реализованы на практике специальные программы для ЭВМ, обеспечивающие автоматизацию наблюдений. Однако, для информационно-аналитического обеспечения научно-инженерных работ и процессов управления целесообразно использовать специализированные ГИС позволяющие объединять пространственно-координатные данные, содержащиеся на общегеографических картах либо технологических схемах с эксплуатационными данными позволяющие определять местоположение в пространстве зон активных геомеханических процессов

Геомеханическое моделирование является одним из способов решения инженерных задач горного производства в периоде жизненного цикла разработки месторождения. На сегодняшний день, геомеханическое моделирование называют проблемной инженерией, обеспечивающей прогнозирование и предотвращение проблем в процессе выемки полезного ископаемого с использованием ГИС-технологий. Таким образом, возникает необходимость в создании специализированной ГИС позволяющей проводить интегрированное моделирование таких информационных сред как геологической и геомеханической, т.е. кросс-моделирование.

ГИС может рассматриваться как информационная основа (база данных) для изучения природных особенностей региона и как инструмент исследования динамики или прогноза явлений и процессов (система моделей).

Кроме этого, ГИС может использоваться как информационно-справочная система, по определенному запросу выполняющая поиск и выборку данных. Следующий момент работы ГИС связан с разработкой математических моделей или системы экспертных оценок с целью анализа динамики геосистем.

Для решения каждой из перечисленных задач необходима разработка алгоритмического и программного обеспечения, а также создание диалоговых человеко-машинных систем, поддерживающих работу пользователя и представление результатов моделирования в традиционном картографическом виде. Зачастую роль технологий ГИС в научных исследованиях сводится к работе с картографическими материалами и геометрическими характеристиками пространственных объектов. Целый блок научных работ посвящён методологическим и техническим аспектам разработки программного обеспечения на основе готовых ГИС. На практике, в большинстве случаев, приводится пример реализации компьютерной модели в редакторе ГИС общего назначения, функции которого используются для обработки картографических материалов.

Такой подход не позволяет использовать все преимущества ГИС как информационно-аналитической системы. Недостаточная проработанность методики компьютерной реализации и отсутствие обобщённой информационной модели ведёт к неполноте геоинформационного моделирования, нарушению принципа модульности системы и затрудняет достижение достоверности моделирования.

Основой создания специализированной ГИС является абстрактное представление ее структуры, определяющая ее наполнение в зависимости от предметной области. Обобщенная концептуальная модель специализированной ГИС, представленная на рисунке 10, условно включает в себя три слоя- слой представлений, функциональный слой и слой источников данных. Зачастую именно второй слой и определяет направленность геоинформационных систем.

Развитие автоматизированных систем, основанных на использовании компьютерных технологий, происходят на основе двух процессов: интеграции и дифференциации. Дифференциация заключается в разработке специализированных программно-аппаратных средств; интеграция – в объединении систем и технологий и создании на этой основе качественно новых систем.

Для решения различного рода производственных задач активно используются автоматизированные информационные системы (АИС), которые представляют собой организационно-техническую систему, использующую автоматизированные информационные технологии в целях информационно-аналитического обеспечения научно-инженерных работ и процессов управления. В отличие от АСУ в ГИС появляется множество новых технологий пространственного анализа данных, объединенных с технологиями тематического электронного картографирования.



Рисунок 10. Обобщенная концептуальная модель специализированной ГИС

ГИС как системы массового пользования позволяют использовать картографическую информацию на уровне деловой графики. Именно поэтому принятие многих решений на основе ГИС-технологий не сводится к созданию карт, а лишь использует картографические данные. Использование таких данных позволяет в рамках единой системы описать функционирование и взаимодействие технологических подсистем и горной среды с учетом пространственно-временной динамики горных работ. В итоге по полученным данным о состоянии массива горных пород осуществляется прогноз о потенциальной склонности участков месторождения к внезапным обрушениям горных пород, обосновываются наилучшие варианты технологии выемки угля и планируются мероприятия, исключающие проявления негативных явлений. Полученные данные могут быть использованы для ревизии выработанного пространства, составления и корректировки планов эвакуации людей в случае возможного обрушения.

1.5. Постановка задач исследования.

Использование высокоинтенсивных технологий выемки угля и существенное повышение нагрузок на очистной забой требует гибкого управления силовыми характеристиками механизированных крепей в соответствии с изменяющимися в пределах выемочных полей и блоков горно-геологическими и горнотехническими условиями и характером изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива очистного забоя при его циклическом движении. Решение этой задачи возможно на основе количественного прогнозирования параметров НДС в указанной зоне. Достоверность прогноза с использованием традиционных методов на стадии проектирования и инженерной подготовки составляет 42 - 86% в зависимости от горно-геологических условий.

В связи с тем, что протекание геомеханических процессов в углепородном массиве при ведении горных работ определяется множеством разнородных факторов, зачастую взаимообусловленных, для принятия проектных и технологических решений необходим системный подход к анализу взаимообусловленных геомеханических процессов в углепородном массиве, ослабленном сложными по геометрии и топологии выработками и испытывающего воздействие со стороны технологического оборудования. Такой анализ не представляется возможным без использования современных информационных технологий и компьютерного моделирования проектируемого горно-технического комплекса.

Практика ведения горных работ показала, что существующие методики не позволяют установить количественное влияние периодичности обрушения пород кровли на интенсивность отжима угля и степень разрушения пород кровли над верхним перекрытием секции механизированной крепи в движущемся очистном забое, что не обеспечивает стабильность высоких нагрузок на комплексно-механизированный забой (КМЗ) и безопасность ведения горных работ.

Для повышения стабильности показателей работы КМЗ необходимо разработать теоретические основы создания геоинформационных систем количественного прогнозирования НДС углепородного массива в окрестности очистного забоя на основе компьютерного моделирования сложной динамической системы движущегося очистного забоя "механизированная крепь с периодически изменяемым распором гидростоек – углепородный массив с накоплением деструктивных изменений". Результаты компьютерного моделирования периодического воздействия секций механизированной крепи на породы кровли целесообразно размещать на электронной карте ведения горных работ, что позволит рассматривать влияние процесса добычи угля в системе взаимодействия объектов с геопространственными характеристиками. Это потребует разработки специализированного программного обеспечения на

базе ГИС- технологий для информационной поддержки горного предприятия в целях обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев.

Таким образом, для проектирования устойчиво функционирующих высокопроизводительных предприятий по подземной разработке месторождений полезных ископаемых остаётся первостепенно актуальной проблема развития теоретических основ разработки геоинформационных систем, обеспечивающих компьютерное моделирование широкого класса физических и механических процессов в разрабатываемом углепородном массиве при его взаимодействии с технологическим оборудованием. Применительно к проблеме проектирования угольных предприятий наиболее актуальным остается моделирование геомеханического взаимодействия массива горных пород с угледобывающими механизированными комплексами, направленное на прогноз риска обрушения кровли выработок при ведении горных работ.

В соответствии с вышеизложенным была поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

Целью работы является разработка информационно-аналитического обеспечения геоинформационных систем компьютерного моделирования динамики напряженно-деформированного состояния углепородного массива, направленного на снижение риска аварийных ситуаций, вызванных недопустимо высокими напряжениями в горных породах при ведении очистных работ.

Идея работы состоит в системном подходе к компьютерному моделированию разрушения горных пород в процессе очистных работ с использованием электронного картографирования, с учетом фактических характеристик технологического оборудования и прогрессирующего снижения устойчивости пород кровли и вынимаемого угольного пласта.

Задачи исследований:

- на основе анализа ранее выполненных исследований разработать теоретические основы построения горных геоинформационных систем (ГГИС) поддержки принятия решений по снижению риска аварийных ситуаций, обусловленных геодинамическими процессами, при ведении очистных работ в высокопроизводительных комплексно-механизированных забоях угольных шахт;
- разработать методические основы создания специализированных программных средств электронного картографирования горно-геологического строения массивов горных пород угольных регионов, учитывающего прочностные свойства пород, слагающих массив;
- разработать принципы исследования горнотехнических систем на основе геоинформационного моделирования процессов взаимодействия углепородного массива и технологического оборудования;
- усовершенствовать метод расчета параметров нестационарного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя для различных режимов нагружения и разгрузки секций механизированной крепи при ведении очистных работ;
- разработать алгоритм формирования компьютерных геоизображений новых видов, адекватно отображающих результаты моделирования динамики изменения параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива при циклическом воздействии на него секций механизированной крепи;
- исследовать эффективность применения информационно-аналитического и программного обеспечения компьютерного моделирования динамики разрушения углепородного массива с учетом положения секции механизированной крепи при паспортизации выемочных участков на угольных шахтах Кузбасса.

2. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ, ПОЛОЖЕННЫЕ В ОСНОВУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

2.1. Архитектура ГГИС угледобывающего предприятия.

Проблема обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев на угольных предприятиях России на сегодняшний день остается одной из актуальных задач. Она может быть решена на основе компьютерного моделирования и прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ с использованием ГИС-технологий.

Современные исследования в области геомеханики, изучающие законы изменения напряженно-деформированного состояния углепородного массива не позволяют учесть всех особенностей конкретной выработки. Это связано с несколькими причинами: во-первых, при разведке горного массива для моделирования предоставляется ограниченный набор данных, полученный с помощью разведочных скважин. Бурение большего количества скважин, безусловно, делает модель более адекватной, однако такой подход применяется не часто в связи с высокими экономическими затратами на его реализацию. Во-вторых, по мере прохождения очистного комплекса, данные о массиве могут меняться. Например, в горном массиве могут быть выявлены тектонические нарушения (пустоты, подземные воды и т.п.), которые осложняют процесс экстраполяции данных и прогнозирования.

Для решения вышеизложенных проблем необходимо разработать специализированную горную геоинформационную систему, которая позволит проводить анализ напряженно-деформированного состояния горного массива при ведении очистных работ в различных зонах по длине выемочного столба. В

системе должна существовать возможность оперативного изменения данных о состоянии горного массива или добавления новых условий проведения горных работы. Основной задачей предлагаемой ГИС является выявление зон повышенного горного давления (ЗПГД), для последующего качественного управления технологическими процессами и предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт. Любая специализированная геоинформационная система должна обеспечивать работу с наборами электронных карт для интегрированного системного анализа, взаимодействие с базами данных различной направленности, представление и оформление результирующих материалов в соответствии с принятыми требованиями, а также долговременное хранение результирующих карт. Для этого необходимо согласование форматов входных-выходных данных, что в свою очередь позволит отобразить результаты исследования в других приложениях.

Специализированная геоинформационная система, предметной областью которой является информационная поддержка при ведении выемочных работ угледобывающих предприятий, должна решать следующие задачи:

1. Создание электронных карт различных масштабов на основе пользовательских изображений.
2. Преобразования между популярными форматами хранения электронных карт.
3. Работа с базами геопространственных данных и электронными классификаторами, характерными для предметной области.
4. Работа с объектами электронной карты, характерными для горной промышленности.
5. Анализ геофизических данных о состоянии пород.
6. Визуализация и сохранение требуемых геопространственных данных.

Для того чтобы корректно решать вышеперечисленные задачи в достаточном объёме, необходимо, чтобы система отвечала следующим требованиям:

1. Доступность.
2. Лёгкость в обучении.
3. Высокая скорость работы и степень надёжности.
4. Низкие системные требования.
5. Возможность расширения и модификации предметной области.
6. Работа с любыми базами геопространственных данных.
7. Корректная визуализация объектов, характерных для предметной области и процессов взаимодействия между ними.
8. Корректная работа с пространственной и1087 привязкой объектов.
9. Возможность расширения функциональных возможностей системы.

Для разработки системы, отвечающей предъявленным требованиям, необходимо выполнить следующие шаги:

1. Разработка полной внешней спецификации системы.
2. Выбор модели жизненного цикла разработки.
3. Декомпозиция системы.
4. Детализация подсистем.
5. Программная реализация.
6. Тестирование.
7. Формирование документации.

Для того чтобы геоинформационная система удовлетворяла требованиям пунктов 5-9, целесообразно предложить следующую структуру специализированной ГИС, представленной на рисунке 11.

Как и любая достаточно сложная система, ГИС состоит из нескольких подсистем, каждая из которых выполняет определённые функции. При декомпозиции специализированных ГИС систем целесообразно применять следующий подход. [83]

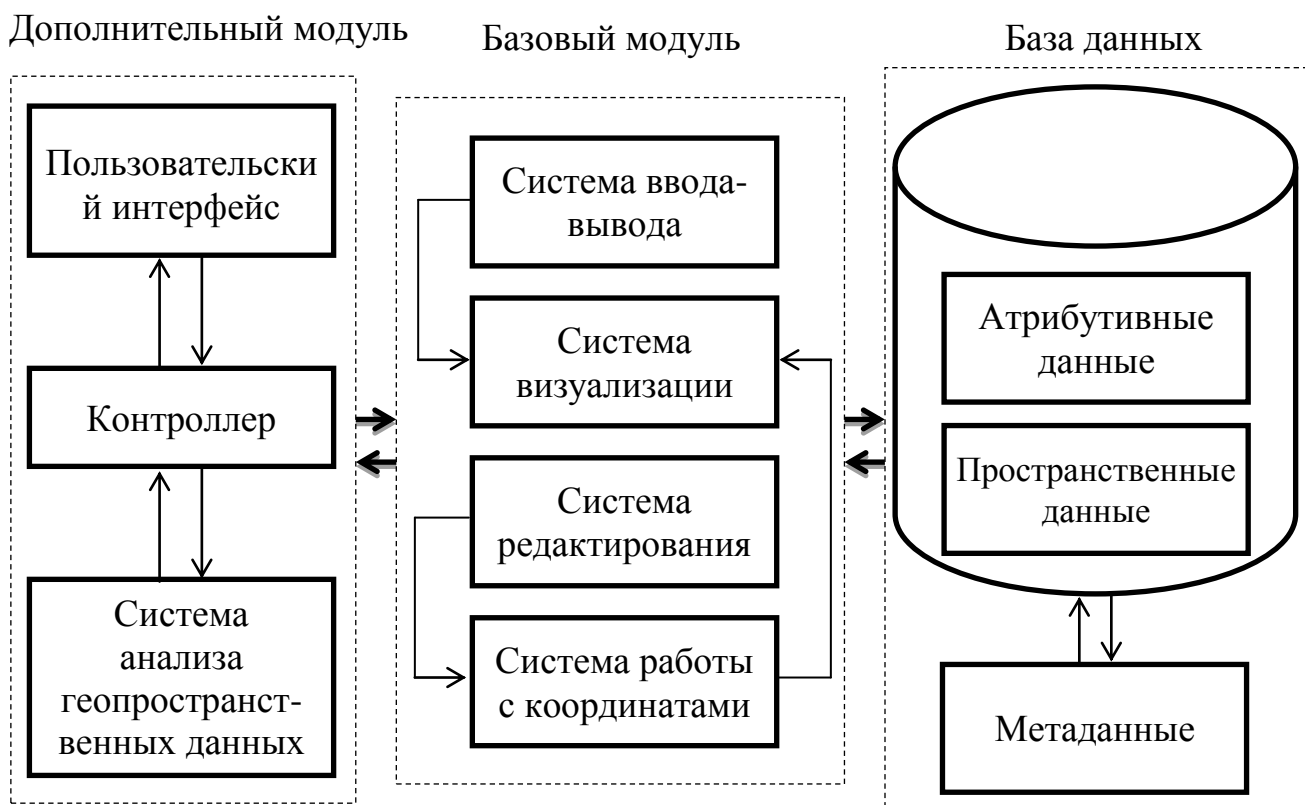


Рисунок 11. Структура специализированной ГИС в составе АСУ предприятия.

Выделяется базовый модуль – ядро ГИС, который предназначен для согласования работы прочих подсистем. Выделяются обязательные подсистемы:

- подсистема ввода-вывода;
- подсистема визуализации;
- подсистема редактирования;
- подсистема работы с координатами.

В качестве дополнительной подсистемы, может быть использована подсистема анализа геопространственных данных, которая проектируется отдельно и зависит от предметной области.

Проектируется база данных, необходимая для хранения атрибутивных и геопространственных данных. Выбираются форматы электронных классификаторов. Отдельными компонентами считаются контроллер, предназначенный для согласования работы подсистем, и пользовательский

интерфейс. Корректная работа контроллера и пользовательского интерфейса гарантирует, что система будет удовлетворять требованиям 1-4.

Функции подсистем базового модуля заключаются в следующем. Система ввода-вывода предназначена для преобразования структуры геопространственных данных таким образом, чтобы с ними могла корректно работать специализированная геоинформационная система.

Под системой ввода-вывода данных также понимают и аппаратные средства, спроектированные для переноса графических и атрибутивных данных на электронные носители. Система ввода-вывода должна поддерживать один из фундаментальных методов представления графических объектов - растровый или векторный. Данная система отвечает и за поддержку преобразований геопространственных данных между различными форматами хранения.

Подсистема хранения и редактирования ГИС обеспечивает набор средств для хранения, и поддержки цифрового представления данных. Совокупность данных о пространственных объектах образует множество пространственных данных и составляет содержимое баз геопространственных данных, определяет принципы построения информационного обеспечения ГИС. К созданию БД ГИС предъявляются высокие требования, связанные с пространственной формой организации и представления данных. Согласно предъявляемым требованиям, база данных ГИС должна быть полной, достаточно подробной для предполагаемого создания ГИС или картографического произведения; категории данных и их подразделения должны включать все необходимые сведения для осуществления анализа или математико-графического моделирования исследуемого объекта или явления.

Визуализации данных с помощью средств электронного картографирования является одним из основных разделов входящих в состав программного обеспечения ГИС. Созданию подсистемы визуализации данных, наряду с подсистемами хранения и редактирования данных, уделяется большое значение. Поскольку процесс визуализации данных представляет собой

графическое представление большого количества данных, полученных в результате компьютерного моделирования технологических производственных процессов, то в качестве основы (подложки) в подсистеме визуализации должен выступать набор электронных географической или тематической карт планирования и ведения горных работ. Такое представление возможно благодаря использованию методов и средств компьютерной деловой графики. Полученные визуализированные результаты анализа данных информационно-аналитической системы предметной области, могут интегрироваться в различные информационные системы поддержки и принятия решений.

Подсистема работы с картографическими проекциями и системой координат отвечает за координатные преобразования. В связи с тем, что наиболее широкое применение получили сферическая система координат и прямоугольная система координат, целесообразно обеспечить их поддержку.

Контроллер предназначен для согласования системы, реализующей пользовательский интерфейс с системой анализа, обязательными системами и базой геопространственных данных. Благодаря использованию контроллера, можно изменять подсистемы пользовательского интерфейса и подсистемы анализа, не затрагивая структуру и функционал базовых подсистем.

Пользовательский интерфейс специализированных ГИС должен быть эргономичным, понятным, минималистичным, и в тоже время предоставлять необходимый доступ к специализированным функциям. К тому же интерфейсная часть системы должна поддерживать работу с встроенным языком сценариев.

Подсистема анализа геопространственных данных является дополнительной, но она является наиболее важной для специализированных ГИС [84]. Подсистема анализа позволяет значительно упростить и облегчить анализ пространственно-связанных данных, практически исключить ручной труд и в значительной мере упростить расчеты, выполняемые пользователем. ГИС-анализ использует потенциал современных компьютеров, сравнения и

описания информации, хранящейся в базах данных которые дают быстрый доступ к исходным данным и позволяют агрегировать и классифицировать данные для дальнейшего анализа. Они способны комбинировать выбранные наборы данных уникальными и ценными способами. Функции данной подсистемы полностью зависят от выбранной предметной области. Чаще всего, данная система поддерживает следующие функции:

- общие аналитические операции;
- сетевой анализ и оверлейные операции;
- функции специализированного анализа.

При поддержке функций специализированного анализа, применяются методы нечётких множеств, нейронные сети, теория хаоса, теория катастроф, фрактальный анализ. В настоящее время всё более широко применяются искусственные нейронные сети. Это связано в большей степени с тем, что применение традиционных математических моделей затруднено, и зачастую сопряжено с дополнительными затратами, превышающими ожидаемый эффект.

Базы данных ГИС должны быть оптимизированы для хранения и выполнения запросов к данным о пространственных объектах. Пространственные объекты представлены такими абстракциями как точка, линия, полигон и другими. Важно учитывать, что приведённые абстракции лишь отчасти соответствуют аналогичным математическим понятиям. Отдельно стоит выделить поддержку работы с электронными классификаторами и метаданными.

На этапе детализации подсистем необходимо определиться с подходами их реализации. В этом случае целесообразно использовать концепции, основанные на объектно-ориентированном подходе к разработке программного обеспечения, что позволит эффективно реализовывать программы в терминах предметной области. Большое внимание необходимо уделить использованию специализированных библиотек компонентов, методов и т.п.

Для перехода к проектированию и разработке компонентов специализированной ГИС для угледобывающих предприятий, необходимо разработать концептуальную модель и структуру набора специализированных программ входящих в состав ГИС, с учётом требований предметной области. Согласно исследованиям [85-87] ведущих западных специалистов по архитектуре программных систем и принятому шаблону архитектуры, в качестве основы СПО ГИС принята структура, которая включает три слоя: представление, бизнес-логика и доступ к данным.

Слой представлений отвечает за формирование графической информации о структуре породных слоев и механизированных крепей, оказывающих влияние на техногенную ситуацию в зоне ведения выемочных работ. Представление отвечает за отображение результатов работы вычислительных функций системы, следовательно, оно должно иметь к ним доступ. Пользователь работает с предоставляемыми функциями посредством представлений, изменяя состояния модели данных. Это означает, что представление зависит от внутренней структуры модели данных. Модель данных учитывает состав интерфейса пользователя, что позволяет учитывать внешние связи между подсистемами различных уровней и использовать данные из различных программных модулей.

Для понижения связанностей между подсистемами необходимо выделить логику предметной области в отдельный слой и реализовать специальное функциональное наполнение в виде служб с различным наполнением функций предметной области. Примерами таких функций являются расчёт напряженно-деформированного состояния углепородного массива, автоматизация обработки полученных результатов, выработка рекомендаций о способах выемки угля, визуализация количественных данных посредством представления пользовательских сценариев и т.д. В пакете может быть использовано несколько моделей данных, которые используют данные службы в порядке приоритета или асинхронно, что подразумевает введение

дополнительных сущностей для реализации логики взаимодействия с контроллерами и службами.

Процедуры расчёта количественных значений показателей напряженно-деформированного состояния углепородного массива связаны с моделью предметной области и используют внешние источники данных, такие как классификаторы и базы данных хранящиеся в различных витринах данных. Поэтому, для сохранения модульности системы и понижения ее внутренней связанности, необходимо разделять источники данных от модели предметной области.

Учитывая перечень требований предъявляемые к разработке специализированного программного обеспечения входящих в состав ГИС, получаем концептуальную модель ГИС со следующим набором программных подсистем, представленных на рисунке 12.

Уровень представлений отвечает за взаимодействие пользователя с алгоритмической частью информационной системы посредством графического интерфейса пользователя. Согласно требованиям к архитектуре и в зависимости от назначения приложения, необходимо предусмотреть возможность предоставления web-интерфейса, интерфейса для классических настольных приложений и интерфейса для мобильных устройств.

Контроллер приложения и контроллер служб образуют тонкую прослойку, необходимую для согласования представления и бизнес-логики алгоритмической части информационной системы.

Контроллер приложений отвечает за согласование работы элементов системы или логику приложения, а контроллер функций непосредственно за согласование работы бизнес-логики и представления или логику предметной области.

Бизнес-логика системы реализуется в слое служб. В связи с необходимостью совместного использования различного функционального наполнения СПО ГИС, в отдельном слое выделены три группы функций:

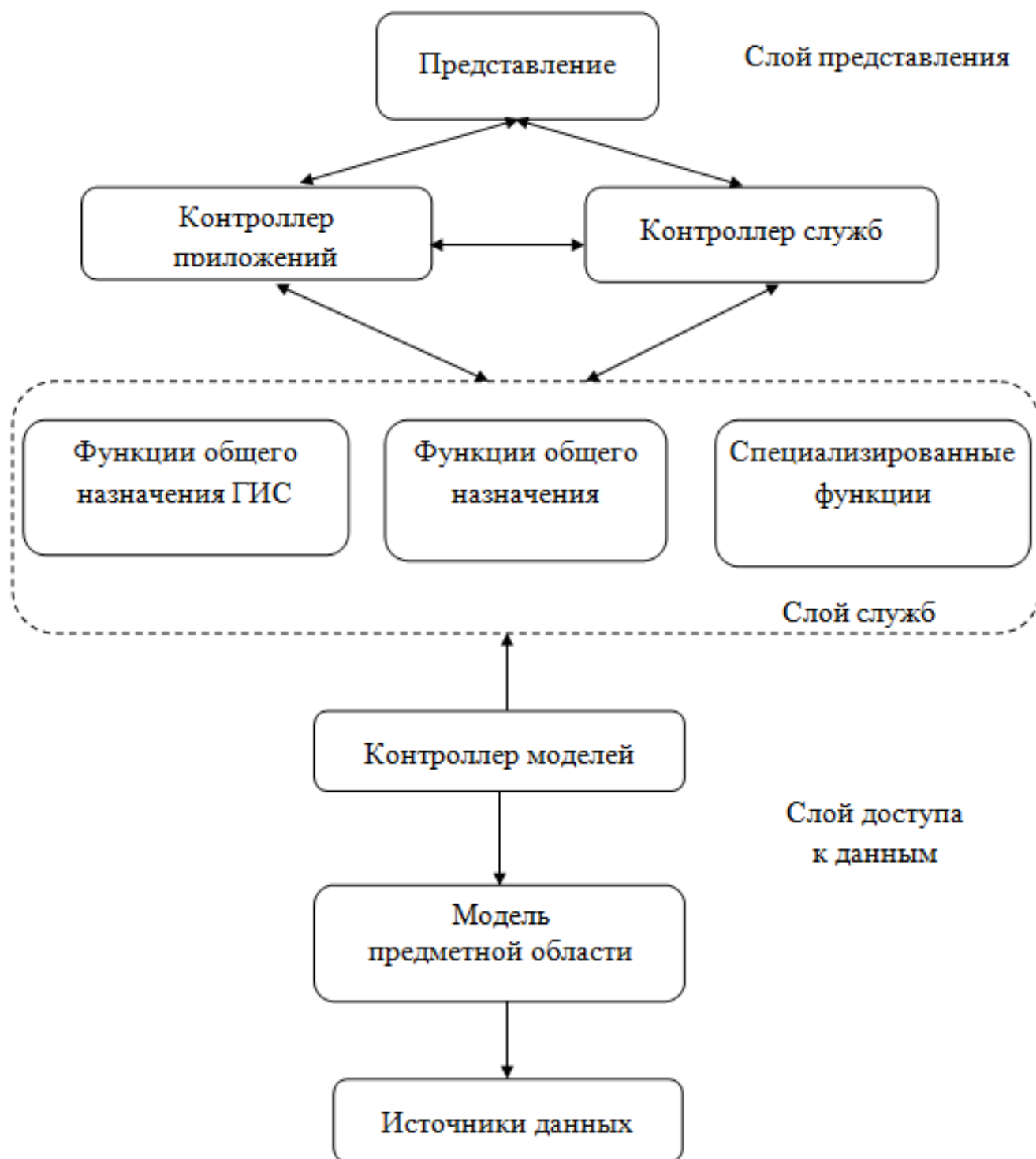


Рисунок 12. Концептуальная модель специализированного программного обеспечения ГИС

- функции общего назначения (ввод-вывод данных, работа с форматами данных, типовые математические операции);
- функции общего назначения ГИС (визуализация и геометрическая обработка электронных карт);
- специализированные функции характерные для выбранной предметной области (адаптированные численные методы, алгоритмы обработки специализированных объектов, функции настройки поведения объектов).

Контроллер моделей предназначен для согласования работы алгоритмической части информационной системы с моделями предметной области. Введение данного слоя связано с частым применением в программном обеспечении рассматриваемого класса адаптивных моделей, которые могут вести себя различным образом в зависимости от параметров системы. В рамках данного слоя необходимо учитывать возможность применения DSL для настройки адаптивных моделей. [88]

В данном случае, модель предметной области является активной. Это означает, что она содержит не только стояния и методы доступа к данным, но и логику предметной области. Такой подход способствует применению типовых решений в области проектирования архитектуры и позволяет создавать более наглядные модели на основе объектно-ориентированного подхода.

Слой источников данных инкапсулирует средства, необходимые для работы с электронными классификаторами, векторными и растровыми картами, пространственными СУБД и другими источниками данных. Чаще всего, данный слой взаимодействует только с моделью предметной области. Однако в зависимости от решаемых задач может возникнуть необходимость обращения функций общего назначения к источникам данных.

Разработанная концептуальная модель гарантирует слабую связанность элементов благодаря введению дополнительных слоёв логики, называемых контроллерами, что соответствует типовому решению MVC. За счёт разделения слоя служб на три базовые части, существует возможность осуществлять

поэлементное и комплексное тестирование системы, что положительно влияет на адекватность полученных результатов. Наличие контроллера моделей предметной области позволяет использовать сложные предметные модели, не зависящие от слоя специализированных функций. Остальные преимущества данной архитектуры будут видны при последующей детализации.

Поскольку в проводимом исследовании четко определена проблемно-теоретическая ориентация специализированной ГГИС служащей для моделирования динамики состояния угленосного массива при ведении очистных работ в различных зонах по длине выемочного столба, интерес представляет описание модели предметной области. По территориальному признаку создаваемая ГГИС будет относиться к региональному урону, так как решаются задачи по оптимальному управлению технологическими процессами для обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев. В этом случае будет использоваться масштаб карты 1:1000000 - 1:200000 с охватом территории 10^3 – 10^5 км².

Слой предметной области, описывающий модель специализированной геоинформационной системы, представляет собой стек уровневых моделей включающий в себя четыре уровня: представлений, проектный, информационный и уровень реализации. Эти уровни логически связаны между собой, т.е. каждый последующий уровень строится на основе предыдущего, и отображают формирование геоинформационной модели от абстрактной версии до практической реализации в виде программных модулей. Предлагаемая архитектура модели геоинформационной системы представлена на рисунке 13.

На уровне *представлений* составляется описание решаемой задачи, и систематизируются данные предметной области. Этот этап построения модели состоит из нескольких элементов:

Описание правил поведения. Описываются основные законы предметной области, характеризуются возможные поведения объектов (например, обрушения, напряженное состояние, изменения горного давления).

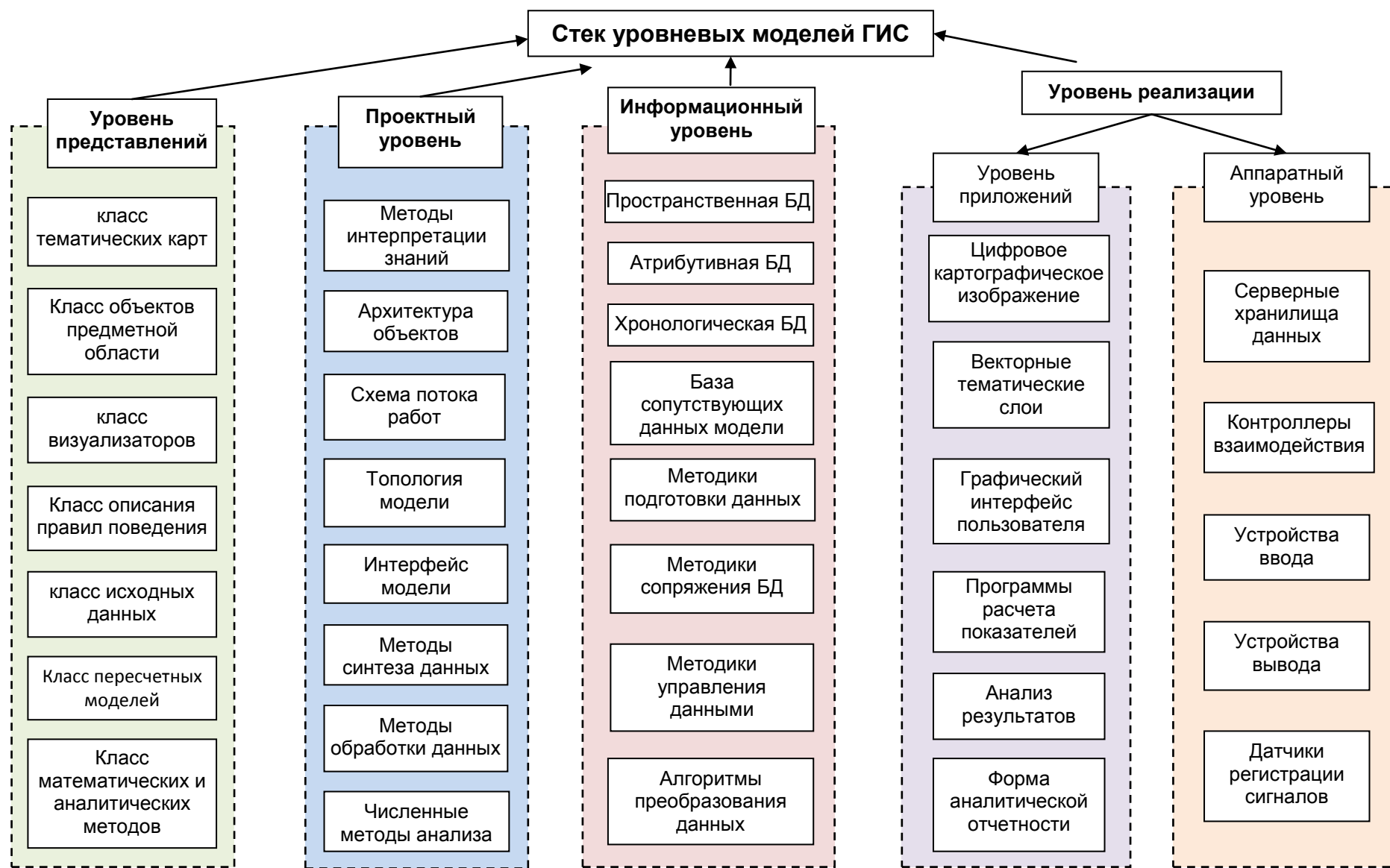


Рисунок 13. Структура специализированной ГИС для выявления зон разрушенного горного массива

Описание способов связи классов. Каким образом могут быть связаны объекты. Только ли единично (один к одному), может ли несколько разных объектов обладать уникальными свойствами. Либо, наоборот, могут ли кажущиеся на первый взгляд, подобные объекты обладать уникальными, отличными друг от друга свойствами (например, порода обладает рядом характеристик, но эта же самая порода имеет разный диапазон изменения этой характеристики в зависимости от местоположения залегания).

Описание исходных данных. Описываются и систематизируются все виды исходных данных, достаточных для построения модели адекватной степени абстрактности.

Описание цели. Для решения, каких задач должна служить геоинформационная система? Должна ли она быть специализированной или решать более универсальный круг задач (Например, специализированная ГИС для решения задач безопасности).

Описание шаблонов интерпретации результатов. Описывает основные паттерны, согласно которым на основе некоторых количественных данных можно выявить некоторые качественные показания. Например, если напряжения превышает допустимый уровень, но смещения остались неизменными – это говорит о появлении трещин в горном массиве.

На *проектном* уровне описанные и систематизированные данные преобразуются в более формализованную форму с помощью средств проектирования. Описание правил поведения информационной области преобразуются на этом уровне в *архитектуру объектов*. Здесь описываются свойства и методы поведения объектов.

Топология модели в виде структуры составных частей строится на основе возможных взаимодействий с помощью способов связи.

Схема потоков работ составляется как средство достижения цели. Эта схема отвечает на вопрос «как будет выглядеть последовательность действий для достижения нужного результата».

Описание шаблонов интерпретации результатов разделяется на *методы обработки* и *методы синтеза*. Именно на этом этапе уровня определяются используемые сферы, применяемы для решения задач: интеллектуальные, статистические или математические методы.

Поскольку процедура компьютерного моделирования геомеханических ситуаций с учетом положения секции механизированной крепи по длине выемочного столба включает в себя периодическое накопление исходных данных, следовательно, на **информационном** уровне необходимо осуществлять формирование хранилища данных, состоящего из системы баз данных и программ для преобразования данных в удобную для дальнейшего использования структуру. Хранилища включают в себя совокупность таких баз данных как:

Пространственная – для хранения пространственных характеристик – локальных и глобальных географических координат расположения промышленных объектов.

Атрибутивная - для хранения семантических и метрических свойств объектов.

Хронологическая – для хранения атрибута времени или номера проводимого исследования.

База сопутствующих свойств информационной модели - дополнительные метаданные, необходимы для выполнения операций, не связанных напрямую с достижением поставленной цели (шифрование, авторизация, ключи безопасности).

Эти базы данных связываются в хранилище данных с помощью специальных методик *сопряжения баз данных*, определяемых топологией нижнего уровня. Здесь же описываются *алгоритмы преобразования данных* разработанных на основе выбранных для решения задачи методов.

Уровень *реализации* состоит из двух подуровней – программного и аппаратного. Аппаратная часть описывается различными видами серверных

хранилищ, контроллеров для взаимодействия, линий связи, а также устройств ввода и вывода.

Программная часть определяет конкретную реализацию программного продукта, в рамках которого могут быть использованы, при допустимой целесообразности векторные тематические карты, совмещенные с растровыми географическими изображениями местности. Реализуется эргономичный адаптивный интерфейс пользователя, с помощью которого пользователь получает возможность, обладая знаниями первого уровня модели геоинформационных систем многократно получать различные рекомендации по улучшению деятельности горного производства

Рассмотрим структуру ГГИС на информационном уровне представленную на рисунке 14. Процедура компьютерного моделирования геомеханических ситуаций с учетом положения секции механизированной крепи по длине выемочного столба состоит из нескольких этапов.[89] На первом этапе осуществляется накопление исходных данных. Под исходными данными в предлагаемой геоинформационной системе понимаются:

- данные необходимые для построения полной модели шахты угольного предприятия;
- данные геологической разведки об углепородном массиве, полученные путем зондирования;
- электронные растровые карты местности с пространственными данными, полученные преобразованием аналоговых (бумажных карт) с помощью специализированных устройств и программного обеспечения.

Стоит отметить, что сбор этих данных не входит в задачи специализированной ГГИС. Разрабатываемая система осуществляет накопление, кластеризацию и преобразование данных в удобную для дальнейшего использования структуру, которое в данном исследовании, получило название «препроцессинг исходных данных».

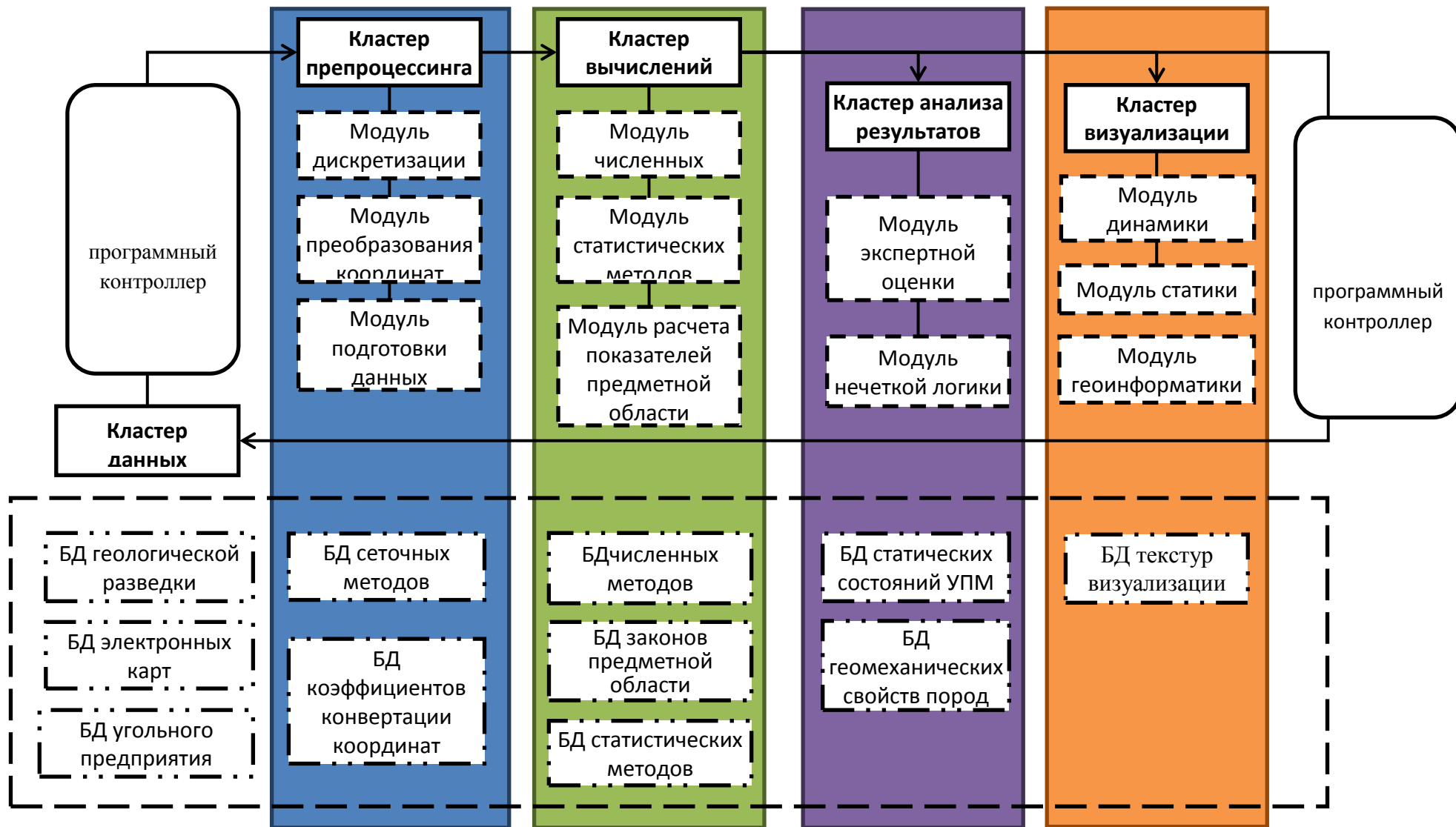


Рисунок 14. Структура специализированной ГИС на информационном уровне

В связи с тем, что каждый пункт исходных данных требует особого подхода (собственных методов обработки, собственных алгоритмов структуризации) необходимо создать отдельный модуль, отвечающий за каждую категорию исходных данных. Совокупность модулей на каждом этапе в данном исследовании получила название «кластер». Кластер - это набор из тематических заменяемых модулей, скомпонованных в одну автономную систему с унифицированным интерфейсом ввода и вывода данных.

Кластер «Исходных данных» отвечает за хранение сведений о состоянии модели горного предприятия. После выполнения всех манипуляций над исходными данными, сведения о состоянии модели снова помещаются в банк данных и дополняются хронологической меткой.

Кластер исходных данных объединяет единым интерфейсом все узкоспециализированные базы данных, перечень которых представлен на рисунке 14, в банк данных с жесткой структурой. Все остальные кластеры (и их модули) получают доступ к хранилищу данных через разработанный программный контроллер.

Данный кластер включает в себя три модуля, а также обеспечивает работу модулей других кластеров связанных с хранением данных.

Модуль «Электронные карты» отвечает за импорт электронной карты в виде растрового изображения. Дополнительно импортируется текстовый файл с указанием глобальных географических координат соответствующих узловым точкам (пикселям) на изображении. Промежуточные значения глобальных координат интерполируются непосредственно информационной системой в соответствии с географическим масштабом изображения (количество метров в одном пиксель) и масштабом пикселя (это поможет рассчитать пространственные данные при существовании необходимости в пропорциональном увеличении картографического изображения).

Модуль «Геологическая разведка» отвечает за построение геометрической модели углепородного массива. Исходными данными для этого

модуля являются обработанные сведения о разведочных скважинах (каротажные данные):

- координаты скважины на карте (x,y);
- высотная отметка устья (уровень земной поверхности, где началось бурение разведочной скважины);
- глубина скважины;
- пары высотных отметок (почва и кровля) залегающих пластов;
- тип породы.

По этим отметкам происходит геометрическое моделирование пласта. Построение геометрической модели состоит из нескольких этапов. На первом этапе в заготовленную структуру данных считываются каротажные данные. Для ускорения вычислений используются динамические массивы типизированных данных (GenericList, также известные как List T>)[90]. В результате считывания данных формируется трехмерное облако точек, на основе которых возможно построение геометрии залегающих пластов. На втором этапе, рассчитывается глубина залегания и границы простираения каждого типа пласта, а также устанавливается их последовательность залегания в углепородном массиве на уровне всего шахтного поля. Область шахтного поля разбивается на подобласти, соответствующие выемочным участкам. Соответственно, и общее облако точек, формирующее пласт, разбивается на подгруппы (соответствующие размерам выемочного участка), из которых возможно построить выпуклые оболочки. Таким образом, общая геометрия пласта строится из набора выпуклых многогранников.

Третий этап выполняется индивидуально для каждого залегающего слоя. Здесь среди облака точек одного пласта находятся «тройки дискрет», образующие грань выпуклого многогранника. Для того чтобы узнать, образует ли тройка точек грань, нужно определить положение всех остальных точек относительно плоскости, образованной текущей тройкой. Для этого находятся знаки смешанных произведений векторов, где два вектора определяют

плоскость, а третий зависит от точки, у которой и находится положение относительно плоскости. Смешанное произведение вычисляется как определитель матрицы, строки которой являются координатами векторов. Если знаки всех смешанных произведений одинаковы, то все точки находятся по одну сторону от выбранной тройки, и эта тройка образует грань. После построения всех выпуклых оболочек одного выемочного участка проводится «межслойный анализ», с помощью которого отыскиваются пересечения выпуклых оболочек пластов – коллизий, свидетельствующих о нарушении геометрии пластов. В случае нахождения коллизии геометрия выпуклых оболочек корректируется до неправильных оболочек с помощью методов интерполяции.

На четвертой заключительной стадии модуля геологической разведки осуществляется визуализация поверхности пластов. Все вершины последовательно анализируются по алгоритму, реализующему обход нерегулярного графа. Если очередная тройка точек при переборе образует правую тройку относительно нормали грани, образованной этой тройкой точки, то её можно использовать для визуализации. Это связано с аппаратной особенностью видеокарт и используемого инструмента для реализации, в которых условлено, что грань визуализируется, только в том случае, если её вершины соединены по часовой стрелке. Соединение против часовой стрелки считается внутренней стороной грани и игнорируется при визуализации поверхности.

Модуль «Угольное предприятие» кластера исходных данных отвечает за построение геометрической модели подземных выработок (рисунок 15). В процессе эксплуатации горно-технических систем уже были проведены вскрытие и подготовительные работы по монтажу механизированного очистного комплекса для начала ведения горных работ, т.е. имеются данные о расположении и направлении выработок и узловых соединений. Выработки в горном массиве визуализируются с помощью технологии «префабов».

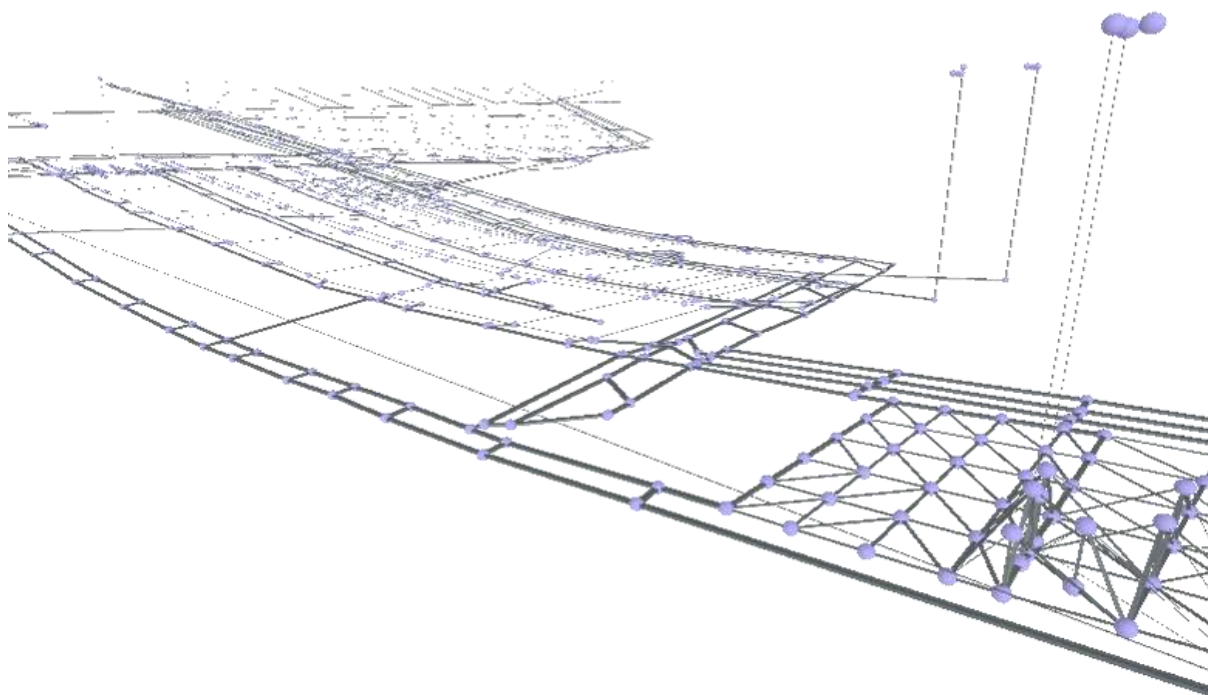


Рисунок 15. Пример построения геометрической модели выработок

Её идея заключается в инстанцировании копии заранее заготовленного объекта вместо постоянного создания нового – таким образом, происходит оптимизация отрисовки большого количества объектов с одинаковой структурой. Однако, каждый инстанцируемый объект может обладать модифицированной масштабной геометрией и положением в пространстве. Программно каждая выработка состоит из двух «узлов» и одной «ветви», данные о которых выгружаются в ГИС с помощью файла табличного процессора (MS Excel или Open Office Calc). Данные о каждом узле включают в себя пространственные данные, номер узла и логическую переменную оговаривающую, является ли узел выходом на поверхность. Сведения о ветвях включают в себя номера начального и конечного узлов, название выработки, площадь сечения, периметр сечения, высоту и ширину выработки. Трёхмерный угол в пространстве рассчитывается с помощью линейной интерполяции между узлами и кватернионов. На этом кластер подготовки исходных данных завершает свою работу и передает управление кластеру математического аппарата.

Кластер «Препроцессинг» предоставляет пользователю возможность визуальной оценки построенной модели. Пользователь может в ручном режиме отредактировать положения скважин, структуру горного массива, изменить цветовую гамму пород, положения крепей.

Модуль «Дискретизация» позволяет осуществить предварительное разбиение на элементы. Пользователь может изменить положение узлов и добавить новые элементы для более подробного разбиения. Это позволит увеличить точность расчетов, но замедлит скорость вычисления [91].

Модуль «Преобразование координат» отвечает за конвертирование локальных координат рабочего пространства (в трехмерной виртуальной среде) в глобальные географические координаты. Пользователь может отрегулировать масштаб и ограничить предел точности глобальных координат.

Модуль «Подготовка данных» осуществляет валидацию построенной модели, проверяет наличие полноты исходных данных для построения тематической электронной карты и запрашивает у пользователя недостающие данные для окончательного построения модели. После того, как модель завершила проверку заданных условий, а пользователь подтвердил её необходимую полноту, модель считается «валидной». Она сохраняется в специальную структуру, образуя сжатый бинарный файл. Этот файл позволит загрузить готовую модель в геоинформационную систему, не выполняя каждый раз этапы работы кластера исходных данных и кластера препроцессинга.

Кластер «Вычисления» отвечает за алгоритмическую составляющую работы системы. В этом кластере осуществляются все вычисления, необходимые для получения конечного результата. Модули этого кластера работают параллельно, так для получения качественного результата необходим симбиоз математических и статистических методов применяемы в рамках законов предметной области [92].

Известно, что любая модель может только приближенно отображать свойства моделируемого объекта и процессы, протекающие в нем. Для

обеспечения требуемой адекватности модели и повышения точности результатов моделирования модель (алгоритм ее работы) необходимо настраивать. В связи с этим, архитектура ГИС подразумевает возможность замены и калибровки численных и статистических методов. Учитывая сложный механизм взаимодействия в системе «механизированная крепь - углепородный массив» был выбран экспериментально-аналитический метод, сущность которого состоит в решении системы дифференциальных уравнений механики горных пород методом конечных элементов [93].

Полученные в результате работы кластера вычислений данные сохраняются в базу данных статических состояний углепородного массива. В дальнейшем эти данные могут быть использованы кластером анализа данных или кластером визуализации данных. Эти кластеры не используют результаты друг друга, поэтому их работа может выполняться параллельно.

Кластер «Анализ результатов» осуществляет помощь в аспекте интерпретации полученных результатов. В этом кластере интерполируются недостающие данные и предлагаются рекомендации по проведению выемочных работ на шахте угольного предприятия

Модуль «Нечеткая логика» позволяет компенсировать недостаточный объем сведений о работе в шахте. Это реализуется через систему статистических уравнений и условий конкретной предметной области. Например, при разведочных работах, тип породы в пространстве между скважинами вычисляется на основе утверждения о том, что в данном районе залегающие пласты – пологие (не больше 30 градусов). Именно с помощью алгоритмов нечеткой логики вычисляется значение предельного давления в породе (потому как повышенное давление в различных породах может и не приводить к обрушению пород кровли).

Модуль «Экспертная оценка» предоставляет рекомендации на основе полученных сведений от модуля интеллектуальных алгоритмов и модуля нечеткой логики. Эти рекомендации обрабатываются модулем нечеткой логики,

в результате чего классифицируются на «критические», «важные» и «рекомендуемые». Критические требования требуют срочного вмешательства специалиста, в то время как рекомендации носят не обязательный характер, но могут повысить эффективность. Важные рекомендации предоставляют сведения о способах повышения безопасности в работе.

Кластер «Визуализация» обрабатывает полученные результаты, предоставляя пользователю наглядное отображение сведений об изменении уровня выбранной характеристики. В процессе взаимодействия с горной информационной системой возникает необходимость анализа ряда поверхностей. Поэтому визуализация напряженно-деформированного состояния углепородного массива с учетом движения очистного забоя осуществляется с помощью картографической анимации [94]. Для этого выбирается глубина (для проецирования давления на карту) и пороговое значение, выше которого давление будет считаться «повышенным». Проигрывание анимации осуществляется последовательно, т.е. модуль динамики не может выполнить свою работу, пока не будет завершена работа модуля статики. Однако оба модуля используют геоинформационный модуль для проецирования результатов на географическую карту. Это позволит создавать тематические карты ведения горных работ.

Модуль «Статика» считывает ключевые точки для построения изолинии в трехмерном пространстве по одинаковым значениям давления в породе. Данные считываются из базы данных статических состояний углепородного массива. В эту базу данных сведения попали в результате работы кластера вычислений. Таким образом, можно оценить и подробно рассмотреть каждый момент времени работы в очистном забое. В данном случае модуль геоинформатики проецирует ключевые точки на поверхность карты, визуализируя семейство изолиний на карте. В результате использования данного модуля, пользователям предоставляется возможность проведения детального анализа процессов выемки полезного ископаемого, делая при этом

срезы полученных результатов математического моделирования в любом месте исследуемого выемочного блока.

Модуль «Динамика» интерполирует данные полученные в статическом модуле. Задача визуализации изменения состояния углепородного массива во времени решается путем выдачи на экран последовательности статичных изображений (кадров), представляющих собой набор анимационных поверхностей. Возможность проигрывания каждого кадра в отдельности позволит детально разбирать и осмысливать причины возникновения и возможности устранения аварийных ситуаций при движении очистного забоя. (Рисунок 16) Такая технология позволяет при повторном исследовании проводить моделирование технологического процесса (анимирование) по событиям, что увеличивает скорость обработки визуальных данных.

Таким образом, модульная архитектура системы подразумевает возможность замены или изменения составных частей системы. Это делает ГГИС расширяемой и масштабируемой, что позволяет учесть специфические характеристики и нестандартные условия работы очистного забоя.

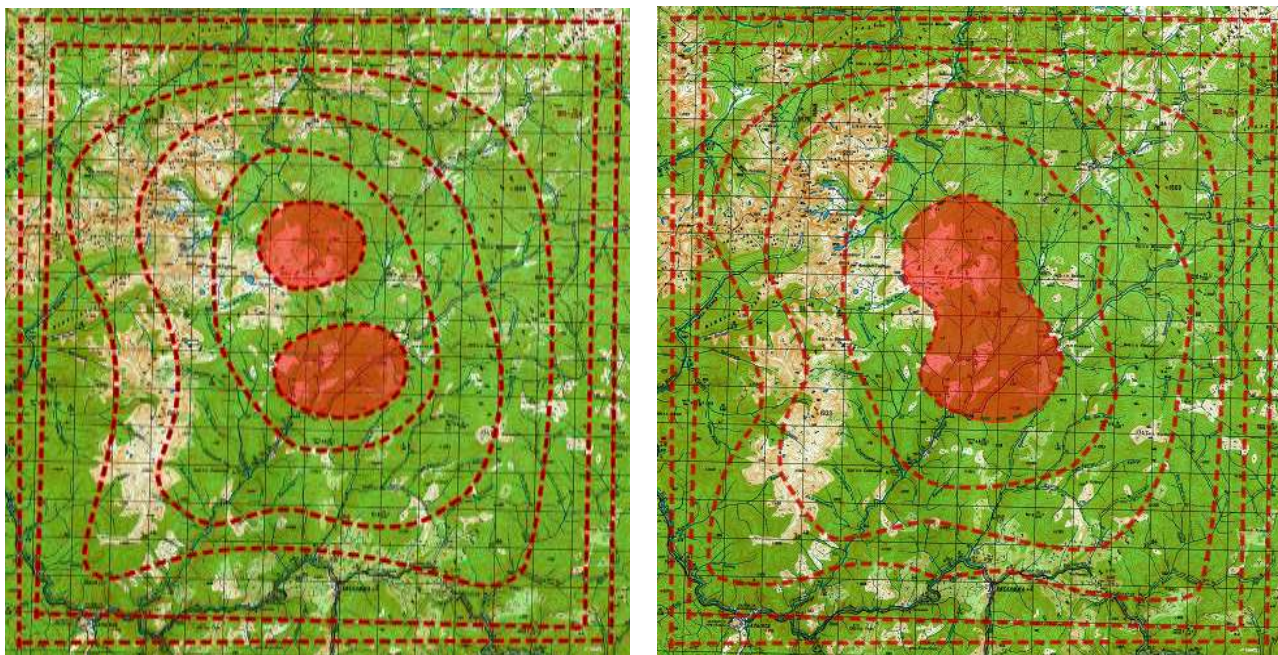


Рисунок 16. Динамика изменения зон повышенного давления

2.2. Концептуальная модель мониторинга и прогноза геомеханических процессов.

Современное горное механизированное предприятие, выполняя свои основные функции, связанные с добычей полезного ископаемого, его транспортированием и частичной переработкой, реализует большое количество разнообразных производственных технологических процессов, синхронизированных во времени и пространстве. Добыча полезного ископаемого сопровождается и различного рода геомеханическими процессами, в том числе горными ударами и внезапными выбросами угля и газа. Надлежащее качество управления (регулирования) таким сложным объектом может быть достигнуто только путем изучения пространства различных технологических и организационно-управленческих закономерностей. Для ускорения процесса приобретения знаний производятся различного рода эксперименты. Любой эксперимент на горном предприятии является энергоемким мероприятием. С точки зрения энерго-ресурсосбережения удобным способом изучения поведения объекта является моделирование или проведение компьютерных вычислительных экспериментов [95].

Моделирование, трактуемое в широком смысле как воспроизведение одних процессов другими, является наиболее распространенной функцией в учебной, научной и производственной деятельности и в соответствующих целенаправленных системах. Их многоэтапное создание, освоение и "рабочее" функционирование невозможно без широкого использования методов и средств мысленного, математического, физического, натурного и в особенности комплексного моделирования [96].

При исследовании сложных систем, подверженных случайным возмущениям, используются вероятностные аналитические модели и вероятностные имитационные модели. В вероятностном имитационном моделировании оперируют не с характеристиками случайных процессов, а с

конкретными случайными числовыми значениями параметров ПС (процесс или система). При этом результаты, полученные при воспроизведении на имитационной модели рассматриваемого процесса, являются случайными реализациями. Поэтому для нахождения объективных и устойчивых характеристик процесса требуется его многократное воспроизведение, с последующей статистической обработкой полученных данных. Именно поэтому исследование сложных процессов и систем, подверженных случайным возмущениям, с помощью имитационного моделирования принято называть статистическим моделированием. При реализации на ЭВМ статистического имитационного моделирования возникает задача получения на ЭВМ случайных числовых последовательностей с заданными вероятностными характеристиками. Численный метод, решающий задачу генерирования последовательности случайных чисел с заданными законами распределения, получил название "метод статистических испытаний".

Имитационное моделирование, как правило, связано с моделированием динамических объектов, процессов и явлений. Существуют два типа имитационных моделей: моделирование по времени и моделирование по событиям [97].

В первом случае в компьютере имеется датчик временных интервалов, разбивающий непрерывную шкалу времени на участки стандартной длины. Длина этих участков определяется спецификой моделируемого явления. Так, например, при исследовании первичных осадок непосредственной кровли в реальном объекте потребовалось бы несколько часов или даже суток.

Моделирование по событиям во многих случаях оказывается предпочтительным, так как оно позволяет экономить время моделирования. При моделировании по событиям заранее перечисляются виды критических событий, и только эти случаи фиксируются моделью. Например, если исследуемая механизированная крепь, находящаяся на испытательном стенде,

начинает деформироваться, то нас, как исследователей, интересует при каком усилии этот процесс начнется, не учитывая при этом временной показатель.

При прогнозировании геомеханических параметров взаимодействия механизированных крепей циклически движущихся очистных забоев с углепородным массивом необходимо учитывать предшествующее состояние и прогрессирующую дезинтеграцию горных пород в зоне техногенного воздействия при циклическом движении КМЗ, что позволит получать более достоверные результаты.

В связи с этим заслуживают внимания разработки компьютерных моделей геотехногенных систем (горных выработок) с использованием численных методов решения горнотехнических задач для прогнозной оценки геомеханических ситуаций, экспертизы проектов, разработки рекомендаций по обеспечению эксплуатационного состояния объектов. В целях уменьшения затрат на проведение исследований и экспериментов возникает необходимость создания модельных структур с использованием ПК.

Задачи эффективного интерактивного общения пользователя с ЭВМ весьма актуальны ввиду невозможности при решении ряда задач полностью автоматизировать процесс моделирования.

Метод имитационного моделирования - один из путей выбора оптимальных решений. [98]. Практическое использование этого метода в ГИС обеспечивается системами имитационного моделирования. Их использование позволяет в рамках единой теоретической схемы описать функционирование и взаимодействие технологических подсистем и горной среды с учетом пространственно-временной динамики горных работ [99].

Для хранения набора типовых моделей и их элементов, хранения информационно-справочной информации необходимо применение специализированных баз данных. Базы данных могут образовывать распределенную или централизованную систему типа банка данных. Для решения задач обмена информацией между базами данных требуется

интегрированная информационная основа. Для удобства общения пользователя с ЭВМ нужно лингвистическое обеспечение.

Блок моделирования трансформации условий разработки включает две группы моделей в аналитической или матрично-цифровой форме [70]. Первая группа моделей описывает физико-механические, качественные, геометрические параметры горного массива, которые не подвержены трансформации и не зависят от интенсивности техногенного вмешательства в горный массив (например, поля, описывающие качества полезного ископаемого); вторая группа – динамические параметры горного массива, т.е. параметры, значения которых зависят от интенсивности техногенного вмешательства (к ним могут быть отнесены поля напряжений, смещений, интенсивные моменты времени, определяемые цикличностью ведения горных работ). В процессе моделирования происходит преобразование параметров полей, описывающих геомеханические и физико-математические характеристики горного массива.

На стадии проектирования горных работ, учитывая высокую степень неопределенности, приходится использовать упрощенные имитационные модели систем разработки. Они позволяют представить общую картину ведения очистных работ в забое.

Таким образом, основные проблемы в области оптимизации и моделирования систем разработки как основного элемента горной технологии сводятся к разработке принципов имитации динамических характеристик систем (моделирование во времени и пространстве технологических, организационных и сопутствующих им геомеханических и физических процессов) и к разработке методов синтеза математических моделей систем на основе закономерностей (зависимостей, моделей, имеющих монодисциплинарный характер) [66].

В имитационной модели поведение компонентов сложных систем описывается набором алгоритмов, которые затем реализуют ситуации,

возникающие в реальной системе "механизированная крепь – углепородный массив". Моделирующие алгоритмы позволяют по исходным данным, содержащим сведения о начальном состоянии сложных систем, и фактическим значениях параметров системы отобразить реальные явления в системе и получить сведения о возможном поведении сложной системы для данной конкретной ситуации. На основании этой информации исследователь может принять соответствующие решения. Отметим при этом, что предсказательные возможности имитационного моделирования значительно меньше, чем у аналитических моделей.

Чаще всего имитация производится на уровне данных. Хорошая имитация в этом случае предполагает максимально возможную (или достаточную) близость данных, полученных на модели, к реальным данным. Имитационное моделирование должно наилучшим образом описывать изучаемые процессы с набором состояний каждого элемента системы. [100] При исследовании динамических процессов развития каких-либо изучаемых характеристик, визуализация получаемых результатов возможно при использовании средств компьютерной графики, анимации и мультимедиа.

Очень важно, чтобы при имитации было задействовано как можно больше каналов восприятия информации человеком: зрительный канал, по которому человек получает преобладающее количество информации, слух. Таким образом, набор и количество необходимых визуальных компонентов, определяется классом решаемых задач, а для воспроизведения имитации производственных процессов используется библиотека различных эффектов.

Компьютерная графика должна стать основой построения дружественного графического интерфейса, в наборе средств которого должно быть соединение чисто компьютерных и производственных визуальных компонентов. Графический интерфейс должен иметь средства навигации, анимации, мультипликации, генерации производственных шумов.

Визуализация отдельных компонентов на этапе подготовки исходных данных для моделирования геомеханических ситуаций, позволяет уменьшить количество ошибок в наборе данных, что позволит снизить стоимость вычислительного эксперимента. Совокупность различных визуальных компонентов и средства анимации позволяют “оживить” технологический процесс, активизировать мыслительный процесс исследователя. Использование графики и средств анимации требует определенных компьютерных ресурсов. Идеальным вариантом явился бы мультимашинный комплекс, сущность которого заключается в том, что на одном из компьютеров при этом осуществляется визуализация процесса, а на другом производятся необходимые вычисления. За время прорисовки анимированного изображения будут подготовлены данные для его дальнейшего использования.

При разработке специализированной ГИС производственной направленности, необходимо учитывать взаимодействие подсистемы, реализующей функциональность ГИС с подсистемой, реализующей специализированные функции. Для корректной реализации специализированных функций и моделей предметной области, необходимо тщательное изучение процессов и факторов влияющих на качество получаемых результатов. Соблюдение принципа модульности в структуре ГИС позволяет рассматривать систему как набор функциональных частей с набором оделей и алгоритмо предметной области. На рисунке 17 представлена концептуальная модель специализированной ГИС для моделирования напряженно – деформированного состояния углепородного массива с учетом циклического движения очистного забоя.

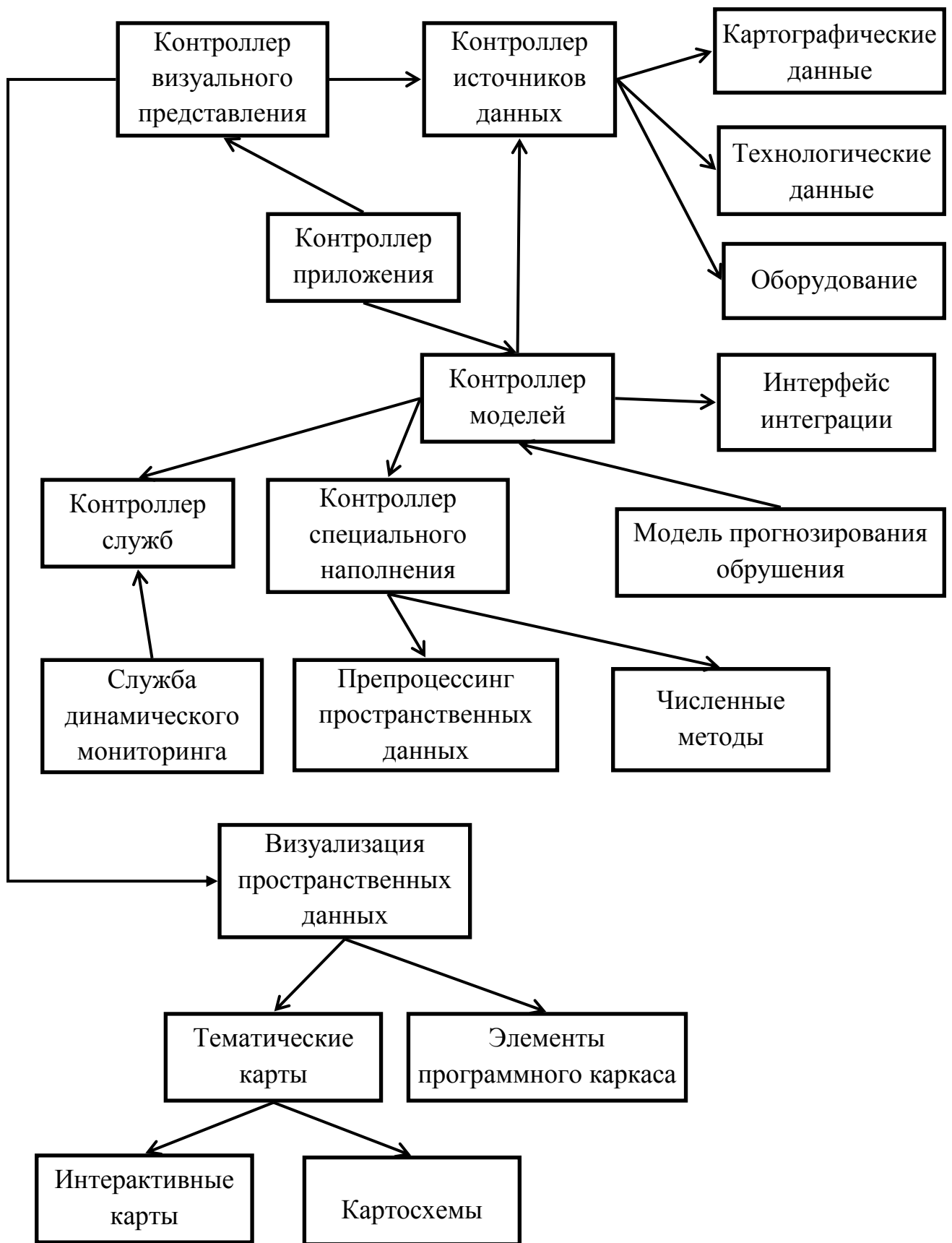


Рисунок 17. Концептуальная модель специализированной ГИС для моделирования геомеханических процессов в очистном заборе.

2.3. Концептуальная модель конечно – элементного анализа состояния углепородного массива при ведении очистных работ.

При исследовании геомеханических процессов, происходящих в сложной системе «углепородный массив с накоплением деструктивных изменений – механизированная крепь с периодически изменяемым распором гидростоек» моделирование представляет собой многошаговый процесс постепенной формализации, начиная от вербального способа описания [101].

Идея развития алгоритма метода конечных элементов для расчета геомеханических параметров углепородного массива и вмещающих пород циклически движущегося очистного забоя заключается в представлении каждого цикла выемки угля в виде трех тактов.

В первом такте подается давление в гидросистему и происходит распор верхнего перекрытия крепи и пород кровли. Породы кровли за счет сжатия деформируются на 10-50 мм и если в них возникают напряжения выше предельного состояния, то происходит их разрушение на отдельные куски с образованием трещин, т.е. наблюдается переход сплошной среды к дискретной.

Во втором такте происходит снятие угольной стружки. Крепь находится в пережнем состоянии, но увеличивается расстояние от поверхности забоя до механизированной крепи на 0,63 м. Над козырьком и впереди секции крепи возможно высыпание дискретного породного массива, что приводит к образованию куполов.

В третьем такте выполняется разгрузка крепи и вмещающих пород. Происходит снятие давления в гидросистеме и верхнее перекрытие крепи опускается на 50 – 70 мм и соответственно породы кровли также деформируются на эту же величину. Далее происходит передвижка разгруженной секции крепи в забое на расстояние 0,63 м, при этом объем незакрепленных пород увеличивается, а за передвинутую часть секции они вообще могут разрушиться.

Изучение характера изменений напряженно-деформированного состояния углепородного массива в зоне влияния движущегося очистного забоя производилась на математической модели представляющей собой объединение семейств конечных множеств, первое из которых является множеством функций, связывающих значения перемещений физических точек углепородного массива и варьируемых горно-геологических и (или) горнотехнических факторов, а второе – множеством функций, связывающих значения напряжений и варьируемых факторов [102]:

$$M = F(u_i, \Phi_i) \cup G(\sigma_i, \Phi_i), \quad i = 1, 2, 3 \dots k, \quad (1)$$

Каждое из семейств (1) распадается на k множеств, каждое из которых характеризует влияние i -го фактора на изменение характера напряженно-деформированного состояния углепородного массива в зоне влияния очистного забоя:

$$\begin{aligned} F_i(u, \Phi) &\subset F(u, \Phi_i), \\ G_i(\sigma, \Phi) &\subset G(\sigma, \Phi_i). \end{aligned} \quad (2)$$

Для выбранного горно-геологического или горнотехнического фактора множества $F_i(u, \Phi)$ и $G_i(\sigma, \Phi)$ представляют собой совокупности множеств мощности n , где n – количество значений варьируемого фактора.

В свою очередь, каждое из множеств этой совокупности представляет собой совокупность подмножеств – кадров для различных фиксированных положений очистного забоя и секции механизированной крепи, имитирующих движение в пространстве выемочного столба. Каждое из подмножеств представляет собой конечное множество мощности l значений перемещений в узлах (напряжений в конечных элементах), где l – количество узлов или конечных элементов.

Перемещения в выбранных узлах являются включением множества, представляющего собой поле перемещений в узлах области исследований.

Поле перемещений получаем путем решения системы уравнений, которые в матричной форме имеют вид:

$$|K| * \{U\} = \{F\}, \quad (3)$$

где $|K|$ – глобальная матрица жесткости,

$\{U\}$ – вектор перемещений,

$\{F\}$ – глобальный вектор-столбец нагрузок (внешних сил).

Такая система может быть получена путем минимизации полной потенциальной энергии системы.

Полная потенциальная энергия системы состоит из двух частей, одна из которых соответствует энергии деформаций в теле, а другая определяется потенциальной энергией приложенных нагрузок:

$$\Pi = D - PW \quad (4)$$

где D – энергия деформаций;

PW – работа внешних сил.

При разбиении области на элементы равенство (4) может быть записано в виде:

$$\Pi = \sum_{e=1}^E (D^{(e)} - P_W^{(e)}) = \sum_{e=1}^E \pi^{(e)} \quad (5)$$

Минимизация этой величины и соответствующие преобразования приводят к решению системы линейных алгебраических уравнений порядка $n*Q$: где n – число узлов в сети разбиений, а Q – число степеней свободы в каждом узле.

Глобальная матрица жесткости и глобальный вектор–столбец нагрузок определяются как:

$$|K| = \sum_{e=1}^E |k^{(e)}| \quad (6)$$

$$\{F\} = -\sum_{e=1}^E \{f^{(e)}\} \quad (7)$$

где $k^{(e)}$, $f^{(e)}$ соответственно матрица жесткости для конечного элемента и вектор нагрузок.

Локальная матрица жесткости отдельного конечного элемента представляет собой объемный интеграл вида:

$$|k^{(e)}| = \int_{V^{(e)}} |B^{(e)}|^T \cdot |D^{(e)}| \cdot |B^{(e)}| dV \quad (8)$$

где $|B^{(e)}|$ – матрица, получаемая путем дифференцирования интерполяционных функций;

$|D^{(e)}|$ – матрица, упругих констант материала.

В случае плоской деформации [92]:

$$|D| = \frac{E \cdot (1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \cdot \begin{vmatrix} 1 & \mu/(1 - \mu) & 0 \\ \mu/(1 - \mu) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - 2\mu)/2(1 - \mu) \end{vmatrix} \quad (9)$$

где E – модуль упругости

μ – коэффициент Пуассона

$|B^{(e)}|$ – матрица градиентов, связывающая деформации и перемещения.

Для решения плоской задачи имеем две степени свободы перемещения и напряжение внутри элемента, которые связаны зависимостью:

$$\begin{Bmatrix} U \\ V \end{Bmatrix} = \begin{vmatrix} N_i & 0 & N_j & 0 & N_k & 0 \\ 0 & N_i & 0 & N_j & 0 & N_r \end{vmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_{2i-1} \\ u_{2i} \\ u_{2j-1} \\ u_{2j} \\ u_{2k-1} \\ u_{2k} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Связь между деформациями и перемещениями определяются как:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{du}{dx}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{dv}{dy}, \quad \varepsilon_{xy} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \quad \text{или с учетом формулы (10)}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{vmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_k & b_k \end{vmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_{2i-1} \\ u_{2i} \\ u_{2j-1} \\ u_{2j} \\ u_{2k-1} \\ u_{2k} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

Из формулы (11) можно получить матрицу $[B]$ на основании того, что $\{\varepsilon\} = [B] * \{U\}$. Элементы матрицы вычисляются как:

$$\begin{aligned} b_i &= Y_j - Y_k, & b_j &= Y_k - Y_i, & b_k &= Y_i - Y_j \\ c_i &= X_k - X_j, & c_j &= X_i - X_k, & c_k &= X_j - X_i \end{aligned} \quad (12)$$

где i, j, k – номера сторон треугольника,

$X_i, Y_i, X_j, Y_j, X_k, Y_k$ – координаты вершин,

A – площадь треугольного симплекса – элемента.

Сумма интегралов $|f(e)|$ определяется по формуле:

$$|f^{(e)}| = - \left(\int_{V^{(e)}} |B^{(e)}|^T \cdot |D^{(e)}| \cdot \{\varepsilon_o^{(e)}\} dV + \int_{V^{(e)}} |N^{(e)}|^T \begin{Bmatrix} X^{(e)} \\ Y^{(e)} \\ Z^{(e)} \end{Bmatrix} dV + \int_{V^{(e)}} |N^{(e)}|^T \begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{Bmatrix} dS + \{P\} \right) \quad (13)$$

где $|N^{(e)}|$ – матрица функций формы,

$\{P\}$ – вектор-столбец узловых сил,

$P_x^{(e)}$, $P_y^{(e)}$, $P_z^{(e)}$ – поверхностные нагрузки,

$X \in$, $Y \in$, $Z \in$ – объемные силы.

Формулы (8) и (13) при этом получаются путем дифференцирования по $\{U\}$ выражения для полной потенциальной энергии, записанного в виде :

$$\begin{aligned} \Pi = & \sum_{e=1}^E \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} \{U\}^T \cdot |B^{(e)}|^T \cdot |D^{(e)}| \cdot \{B^{(e)}\} \{U\} dV - \int_{V^{(e)}} \{U\}^T \cdot |B^{(e)}|^T \cdot |D^{(e)}| \{l_0\} dV - \\ & - \int_{V^{(e)}} \{U\}^T \cdot |N^{(e)}|^T \begin{Bmatrix} X^{(e)} \\ Y^{(e)} \\ Z^{(e)} \end{Bmatrix} dV + \int_{V^{(e)}} \{U\}^T \cdot |N^{(e)}|^T \begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{Bmatrix} dS - \{U\}^T \cdot \{P\} \end{aligned} \quad (14)$$

Для разномодульной механики сплошной среды матрица жесткости определяется согласно исследованиям С.А. Амбарцумяна [103]. Он предлагает в этом случае рассчитывать напряжения по формулам плоской деформации:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{1}{A_1} \varepsilon_x - \frac{\mu_1}{A_1} \varepsilon + B_3 \left(\frac{\mu_1}{A_1} - \frac{m_1^2}{A_1} \right) * \sigma_2 \\ \sigma_y &= \frac{1}{A_1} \varepsilon_y - \frac{\mu_1}{A_1} \varepsilon + B_3 \left(\frac{\mu_1}{A_1} - \frac{m_2^2}{A_1} \right) * \sigma_2 \\ \tau_{xy} &= \frac{1}{2A_1} \varepsilon_{xy} - \frac{B_3}{A_1} m_1 m_2 \sigma_2 \end{aligned} \quad (15)$$

где σ_x , σ_y , ε_x , ε_y – нормальные напряжения и смещения по осям координат (рисунок 18);

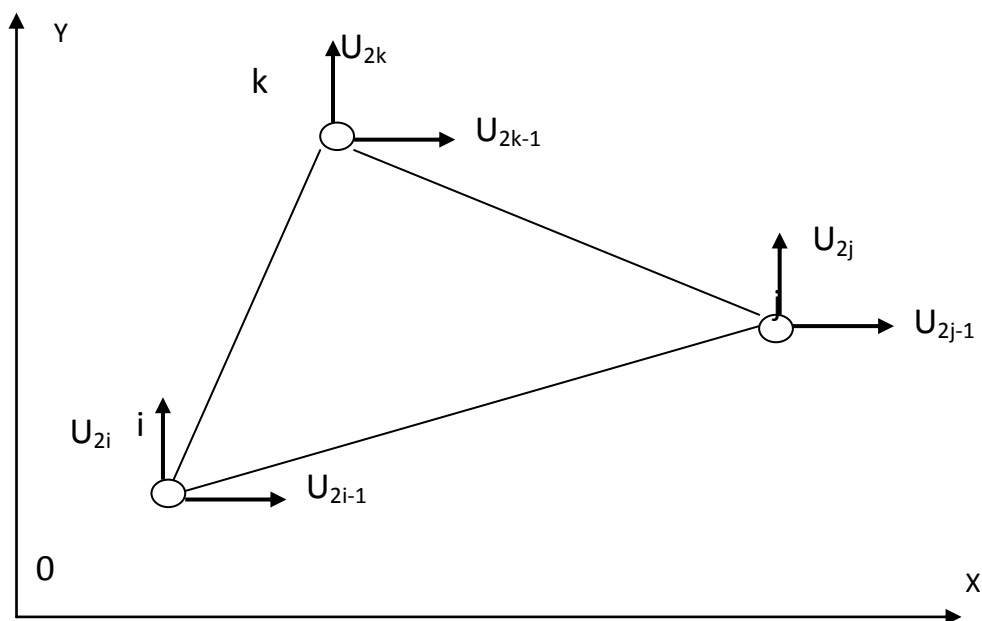


Рисунок 18. Двумерный симплекс – элемент

τ_{xy} , ε_{xy} – касательные напряжения и деформации;

σ_2 – главное минимальное напряжение в плоскости XY;

$$\varepsilon = \varepsilon_x + \varepsilon_y.$$

Согласно представленным формулам (15) и принятым обозначениям остальных параметров, матрица деформационных свойств разномодульного материала вместо (11) примет вид:

$$|D| = \frac{1}{A_1} \cdot \begin{vmatrix} (1-\mu) & (-\mu) & \frac{B_3}{\varepsilon_{xy}^*} (\mu_1 - m_1^2) \cdot \sigma_2 \\ (-\mu) & (1-\mu) & \frac{B_3}{\varepsilon_{xy}^*} (\mu_1 - m_2^2) \cdot \sigma_2 \\ 0 & 0 & 0,5 - \frac{B_3}{\varepsilon_{xy}^*} m_1 \cdot m_2 \cdot \sigma_2 \end{vmatrix} \quad (16)$$

После решения системы уравнений, определения смещений вершин треугольников и вычисления деформаций ε_x , ε_y , ε_{xy} определяются для каждого момента главные напряжения σ_1 и σ_2 в виде:

$$\sigma_1 = \frac{A_2}{2\omega_b} (\varepsilon_x + \varepsilon_y) + \frac{b_{22} + b_{12}}{2\omega_b} \sqrt{\varepsilon_{xy}^2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2},$$

$$\sigma_2 = \frac{A_2}{2\omega_b} (\varepsilon_x + \varepsilon_y) + \frac{b_{11} + b_{12}}{2\omega_b} \sqrt{\varepsilon_{xy}^2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2}.$$
(17)

На заключительном этапе, если это требуется по условиям задачи, вычисляются напряжения по осям координат согласно приведенным формулам (15). По разработанному алгоритму была составлена компьютерная программа расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного комплексно-механизированного забоя, позволяющая учитывать знакопеременное воздействие секции механизированной крепи на боковые породы при ее циклическом движении.

2.4. Концептуальная модель построения пространственных геоизображений для анализа и прогнозирования геомеханических процессов в очистных забоях.

Невозможность восприятия человеком цифровых моделей, представляющих пространственные данные в ГИС, и использование их исключительно в ПК обуславливает необходимость визуализации данных. На практике графическое воспроизведение данных приобретает черты картографического изображения, поэтому почти всегда, говоря о визуализации данных в ГИС, имеется в виду их картографическая визуализация. Ее объект чаще всего не сами данные (цифровые модели), а описываемые ими реальные пространственные объекты.

Графика в ГИС становится собственно картографической с введением в нее математической основы и традиционной для карт символики. Назначение картографической графики в ГИС различно. Большая ее часть генерируется пользователем в утилитарных целях реализации геоинформационного проекта

и служит рабочим материалом для разработчиков и пользователей. Главная функция картографической графики в ГИС — служить интерфейсом между человеком и машиной.

Спектр взаимодействия картографии и геоинформатики в части разработки новых типов карт и других геоизображений, существующих в цифровой среде или порождаемых ею, чрезвычайно широк. Генерация электронных карт поддерживается более или менее многофункциональным программным средством типа картографических визуализаторов и браузеров (браузеров, просмотрщиков, обозревателей), а также визуализационными модулями систем настольного картографирования или ГИС. Поэтому производители продукции электронного картографирования, как системы, поддерживающей генерацию электронных карт для внешнего использования вне программной среды их создания, стали понимать под ними не сами актуально визуализированные данные (изображения), а цифровые записи, предназначенные для их картографической визуализации, вместе с программным средством, ее обеспечивающим [104].

Обычно подразумевается, что данные при нанесении на карту отображаются на какую-либо подложку. Например, какие-либо характеристики накладываются на территорию. Посмотрим на это с новой стороны и предположим, что подложка порождается с использованием самих данных. Отобразив данные специальным образом, мы получим их визуальное представление в виде некоторого многообразия, например, в виде пленки натянутой на многомерные данные. Пленку затем спроецируем на поверхность. Данные же отображаются ближайшей точкой пленки. В результате и получим подложку для данных, функций над данными, производных, показателей значимости, классификаций, отношений данных, различных тематик и др. [105, 106] Такая визуализация многомерных данных осуществляется понижением размерности с сохранением некоторых специфических особенностей исходного пространства данных.

Картографирование является прямым следствием визуализации данных [107]. Объекты, с которыми оперирует метод, отображаются в слои, если угодно одной территории данных, с которыми можно проводить аналитические операции, принятые в ГИС. Если существует географическая привязка, то ничто не мешает отображать результат анализа дополнительно ко всему прочему на реальные территории. Перейдем к формальному описанию задачи визуализации и картографирования данных. Она заключается в отображении многомерных данных в представимую человеком размерность, например, на плоскость так, чтобы точки данных, близкие на плоскости (на карте), были близки и в исходном пространстве

Для создания встроенной визуализации многие поставщики реализуют визуализационную функциональность в виде компонент, встраиваемых в различные инструменты, приложения, программы и web-страницы (в том числе инструментальные панели и персонализированные страницы порталов)

Более совершенные методы визуализации данных часто включают в себя диаграмму или любую другую визуализацию как составной уровень. Пользователь может углубляться (drill down) в визуализацию, исследуя подробности обобщенных ею данных, или углубляться в OLAP, Data Mining или другие сложные технологии [108].

Сложное взаимодействие позволяет пользователю изменять визуализацию для нахождения альтернативных интерпретаций данных. Взаимодействие с визуализацией подразумевает минимальный по своей сложности пользовательский интерфейс, в котором пользователь может управлять представлением данных, просто "кликавая" на элементы визуализации, перетаскивая и помещая представления объектов данных или выбирая пункты меню в командной строке.

Инструменты OLAP или Data Mining превращают непосредственное взаимодействие с визуализацией в один из этапов итерационного анализа данных. Средства Text Mining или управления документами придают такому

непосредственному взаимодействию характер навигационного механизма, помогающего пользователю исследовать библиотеки документов. [109]

Новые визуализационные программы обновляют контент за счет периодически повторяющегося считывания данных. Фактически пользователи визуализационных программ, отслеживающие линейные процессы, нуждаются в загрузке данных в режиме реального времени или близком к нему режиме.

Исследуемая область ведения очистных работ дискретизируется прямоугольными проекциями. Размер дискреты определяется геометрическими размерами секции механизированной крепи и шагом подвижки очистного забоя. Результаты математического моделирования размещаются в различных базах данных, так как для нахождения каждого параметра выводятся свои массивы данных [110].

В результате использования выше описанных технологий, пользователям предоставляется возможность проведения детального анализа процессов выемки полезного ископаемого, делая при этом срезы полученных результатов математического моделирования в любом месте исследуемого объекта [111].

Построение трёхмерных моделей углепородного массива. Такая модель должна соответствовать отображению трёхмерной реальности, по возможности близкой к абстрактной модели расположения и структуры породного массива в пределах выемочного блока. В настоящее время существуют два основных способа представления трёхмерных моделей в ГИС. (Рисунок 19)

Первый способ, назовем его псевдотрёхмерным, основан на том, что создается структура данных, в которых значение третьей координаты Z (обычно высота) каждой точки (X, Y) записывается в качестве атрибута. [112]

При этом значение Z может быть использовано в перспективных построениях для создания изображений трёхмерных представлений. Поскольку это не истинное трёхмерное представление, его часто именуют 2,5-мерным.

Второй способ - создание истинных трёхмерных представлений - структур данных, в которых местоположение фиксируется в трех измерениях (X, Y, Z) . В этом случае Z - не атрибут, а элемент местоположения точки.

Результаты моделирования
различных параметров

Электронная карта

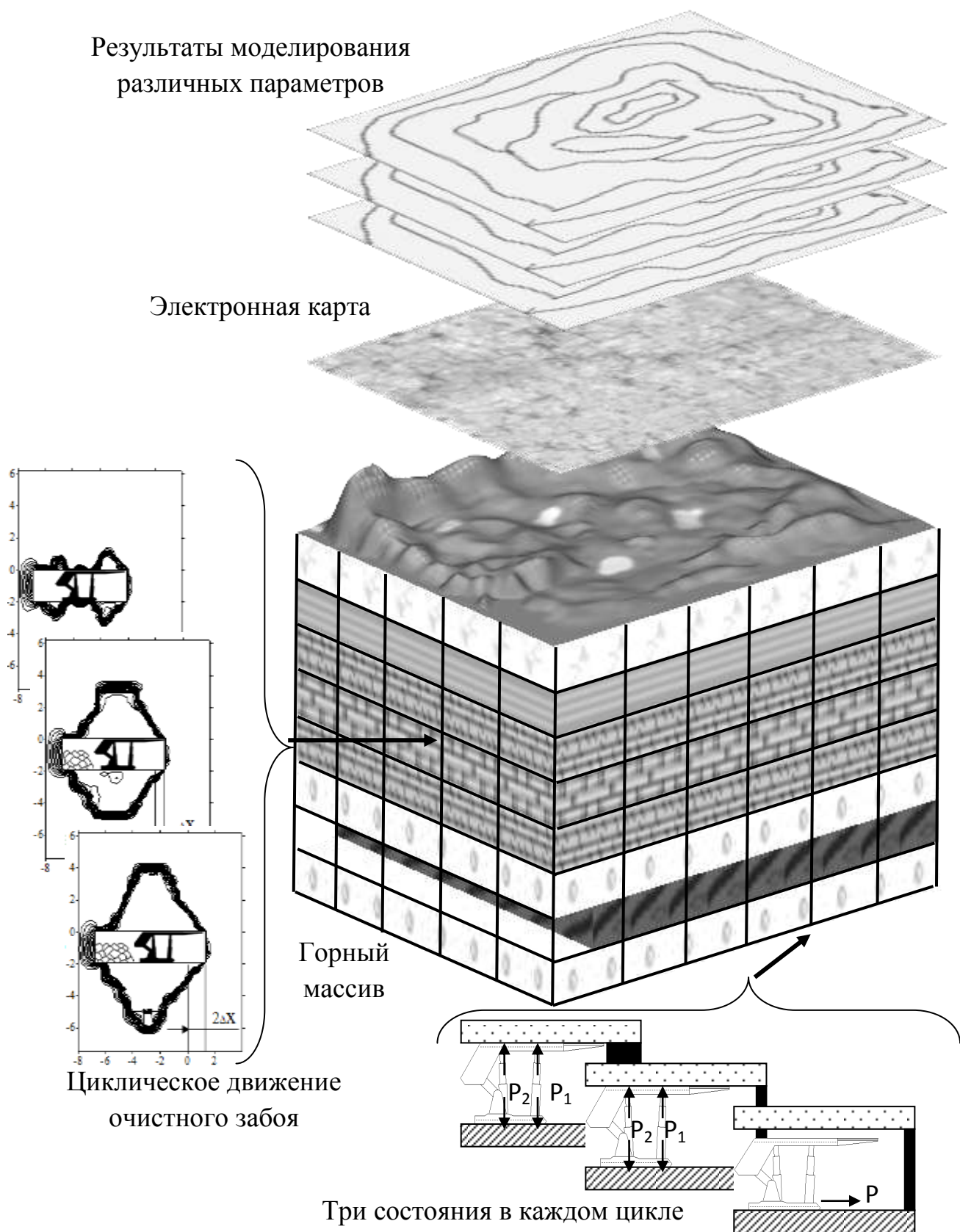


Рисунок 19. Модель построения пространственных геоизображений.

Такой подход позволяет регистрировать данные в нескольких точках с одинаковыми координатами X и Y , например, при определении объемов горных выработок.[112] Истинные трехмерные представления позволяют:

- наглядно изображать (визуализировать) объемы;
- решать задачи, связанные с моделированием объемов;
- решать новый класс задач - разработка трехмерных ГИС;
- производить синтез трехмерных структур.

Оба способа трехмерных представлений пространственной информации имеют несколько важных приложений:

- проектирование промышленных сооружений (шахты, карьеры и т.д.);
- моделирование геологических процессов ведения очистных работ;
- моделирование трехмерных потоков выделения метана или перемещение воздушной массы при проветривании шахты.

В ГГИС наряду с цифровыми моделями разработки полезного ископаемого, которые, как правило, отражают статические свойства, широко используются динамические модели, например модель появления и развития опасных зон высокого горного давления. Для отображения результатов анализа данных в ГИС необходимо реализовать ряд способов, которые применяют при создании тематических карт. В нашем случае результаты математического моделирования геомеханического состояния углепородного массива при ведении очистных работ целесообразно выводить в виде набора изолиний.

Способ изолиний - один из широко распространённых способов отображения различных показателей [113]. С их помощью формируют карты изогипс (топографические и гипсометрические), карты распределения напряжений или смещений углепородного массива и др. С помощью изолиний выделяют территории с одинаковыми свойствами (одновременностью наступления событий, равной величиной аномалий, и др.) При этом различают две группы изолиний: истинные изолинии (характеризуют непрерывное изменение какого-либо показателя, к ним относятся горизонтали) и

псевдоизолинии, отображающие данные, имеющие статистическую природу (например, дискретные значения от источников выбросов). Для представления изолиний применяют разные изобразительные средства: линии разных типов, толщины и цвета, послойная цветовая окраска фона (либо штриховка) промежутков между изолиниями.

В процессе взаимодействия с горной информационной системой возникает необходимость анализа ряда поверхностей. Анализ разновременных состояний поверхности угленосного массива и выявление динамики развития исследуемых показателей путем визуальных наблюдений и классической картометрии практически невозможен. Для проведения подобных исследований необходимо использование специализированного математического аппарата. Применение математических методов само по себе затруднительно, да и не слишком наглядно. Зачастую, особенно если необходимо лишь уяснить суть происходящих изменений и их скорость, можно упростить данную задачу путем использования анимации поверхности [114].

Анимации применяют для показа динамических процессов, т.е. последовательный показ рисованных статичных изображений (кадров), в результате чего создается иллюзия непрерывной смены изображений.

В настоящее время двухмерные динамические анимационные карты, как правило, обладают всеми атрибутами классической карты (масштабом, проекциями, сеткой меридианов и параллелей и пр.).

Основная часть анимации создается с расчетом на неизменность проекции. Смена проекции при создании двухмерных анимации практически всегда приводит к необходимости изменения компоновки карты, ее масштаба, смещению легенд и прочим изменениям, настолько значительным, что в результате приходится переделывать весь фильм. Относительно просто поменять проекцию и компоновку анимированной карты можно в том случае, если мы имеем дело с последовательностью векторных карт, переводящихся в растр и выводимых на экран в реальном времени.

Следует отметить, что вести речь о проекции для анимированных анаморфоз можно лишь условно, так как в ходе анимации контуров происходит динамическое изменение пространства, которое не может быть описано одной проекцией. Здесь можно лишь напомнить о семействе проекций, в рамках которых происходит покадровое изменение пространства [115].

Использование подобного подхода позволяет чрезвычайно наглядно и эффектно продемонстрировать основные тенденции развития поверхности во времени и провести визуальную оценку этих изменений.

Эффективное использование и развитие ГИС невозможно без высокого уровня автоматизации и применения экспертных систем. Экспертные системы можно рассматривать как класс автоматизированных информационных систем, содержащих базы данных и базы знаний, способных осуществлять анализ и коррекцию данных независимо от санкции пользователя, анализировать и принимать решения, как по запросу, так и независимо от запроса пользователя и выполнять ряд аналитически-классификационных задач. Например, разбивать входную информацию на группы, консультировать, делать выводы, обучать прогнозированию, идентифицировать, интерпретировать, и т. д [116].

2.5. Разработка средств автоматизации формирования и обработки электронных тематических карт

В рассматриваемом классе программных систем, вместо типовых электронных карт используются тематические электронные карты, акцентирующие внимание пользователя и разработчика на закономерностях пространственного распределения атрибутивных признаков[117]. Зачастую такая направленность приводит к созданию различных картосхем, картограмм и псевдокарт. Таким образом, в поле зрения пользователей тематических карт практически не попадают картометрические характеристики. Следовательно, в процессе создания тематических карт используются топологические модели

объектов предметной области. Это могут быть модели взаимодействия слоёв полезных ископаемых, модели, описывающие имитационное моделирование процессов добычи полезных ископаемых.

Процесс создания тематических карт сопряжён с привлечением специалистов в смежных областях. Учитывая специфику моделей, применяемых в тематических картах, специалистам необходимо работать в большей мере с логикой, чем с визуальным представлением, и производить оценку результатов адекватности работы. Работа с логикой (бизнес-логикой) связана с необходимостью взаимодействия специалистов в предметной области и разработчиков программной системы. В связи с этим, актуальным является применение технологий языко-ориентированного программирования (LOP) для разработки программных средств, облегчающих взаимодействие экспертов и разработчиков, посредством предоставления высокоуровневых абстракций, характерных для рассматриваемой предметной области.

LOP направлено на создание языковых средств разработки – предметно-ориентированных языков программирования (DSL) [118, 119]. DSL представляет собой язык программирования, предназначенный для решения задач предметной области, использующий особые принципы представления или решения задач. Использование DSL в процессе создания тематических карт, для специализированного программного обеспечения на базе ГИС, обладает рядом преимуществ. [120] Применение рассматриваемого класса языков на этапе проектирования дает возможность создания решений в терминах предметной области, благодаря чему специалисты не знакомые с языками программирования могут создавать и модифицировать DSL программы. Программы, написанные с использованием DSL лаконичны. DSL позволяет на уровне абстракции проводить оптимизацию и проверку корректности [121, 122].

Рассмотрим основные этапы разработки DSL для создания тематических электронных карт на примере разработки языка программирования,

позволяющего создавать электронные карты и учитывающего специфику структуры и взаимодействия объектов. В языке должны быть предусмотрены типовые операции над объектами электронных карт.

Некоторые объекты электронных карт могут иметь сложную по числу связей и количеству элементов внутреннюю структуру. Структурные компоненты могут состоять из других элементов. Таким образом, целесообразно реализовать операции над множествами объектов, характерные для выбранной предметной области. В данном случае необходимо реализовать типовые операции объединения (в том числе и без повторений), пересечения, добавления и удаления.

Следующим этапом разработки является реализация модели данных. При этом для каждого понятия предметной области создаётся соответствующая концепция языка программирования, называемая грамматикой. Прежде чем приступить к формированию грамматик, необходимо определить формальный синтаксис языка программирования [123].

В разрабатываемом приложении с использованием DSL фигурируют понятия карты, объекта и свойства объекта. Следовательно, необходимо создать шаблоны для приведённых понятий предметной области. Создание объекта электронной карты представляется наиболее простым действием. Это связано с тем, что для его создания необходимо знать только имя создаваемого объекта и его тип. Однако объект тематической карты обладает множеством свойств, специфичных для класса подобных ему объектов. Такими свойствами обычно являются пространственные характеристики (координаты, форма, объём и так далее). В специализированном ПО к пространственным характеристикам добавляется набор свойств, характерный для рассматриваемой предметной области. Примером особых свойств объекта могут быть коэффициенты крепости горных пород, создаваемые антропогенные факторы, поведенческие характеристики и так далее.

Следующим этапом создания DSL является разработка лексического анализатора. Придерживаясь концепции создания прототипов, для быстрой разработки, целесообразно использовать готовые генераторы синтаксических анализаторов (lex, JLex, ANTLR и другие). Однако решения учитывающие специфику предметной области могут оказаться более быстрыми и менее ресурсоёмкими [124, 125].

Основная задача лексического анализа состоит в чтении потока входных символов исходной программы, группировании их в лексемы и вывод последовательностей символов (токенов) для каждой лексемы. Во время обработки потока символов, лексический анализатор взаимодействует с таблицей символов. В некоторых случаях лексический анализатор может получать из таблицы символов дополнительную информацию, которая способствует определению передаваемого токена. Обычно лексический анализатор входит в состав интерпретатора. В связи с этим лексический анализатор частично реализует некоторые функции интерпретатора, что способствует уменьшению сложности реализации.

Во время стадии лексического анализа может возникнуть ситуация, при которой одному шаблону соответствуют несколько лексем. В этом случае, лексический анализатор должен обеспечить дополнительную информацию о токенах для последующей фазы интерпретации. Имя токена будет влиять только на принятие решения во время фазы синтаксического анализа, а его значение на решения, принимаемые во время фазы интерпретации. Следовательно, необходимо ввести атрибут, отвечающий за сохранение значения токена. В подобной ситуации обычно используют таблицы символов.

Таблица символов хранит имена токенов и связанную с ними информацию. Создание таблицы символов является одной из приоритетных задач при разработке DSL. Основное назначение рассматриваемой таблицы – хранение и быстрое извлечение данных о переменных, используемых при реализации программы.

Для упрощения реализации таблицы символов, в рассматриваемом примере, целесообразно использовать простую структуру данных, содержащую значение переменной и тип переменной. В структуре данных не предусмотрено отдельно поле для имени. Это связано с тем, что имя будет использоваться в качестве ключа, что позволит избежать дублирования данных. Таблица реализуется в виде отдельного класса. Внутри таблицы выгодно использовать ассоциативные массивы, так как в этом случае гарантируется линейное время получения значения по ключу. Современные языки программирования поддерживают стандартные реализации ассоциативных контейнеров, например, в данном случае был использован контейнер `map` стандартной библиотеки шаблонов языка C++.

При реализации таблицы символов необходимо предусмотреть два метода для добавления данных. Первый метод необходим для добавления переменной без инициализации и принимает один строковый параметр – имя переменной. Для одновременного объявления инициализации переменной необходимо использовать второй метод, принимающий два параметра – имя переменной и её параметры. Оба метода в случае успешного добавления переменной возвращают булево значение 1, и значение 0, если элемент уже существует или его невозможно добавить. В связи с тем, что рассмотренные методы не могут изменить значение переменной, необходимо предусмотреть реализацию метода для изменения значения переменной. В данном случае, такой метод принимает два параметра – имя изменяемой переменной и её новое значение. Необходимо реализовать и метод поиска переменных.

Предложенное решение для таблицы символов гарантирует линейное время поиска и обладает простым интерфейсом. Возможность расширения таблицы символов, способствует её применению в других специализированных программных продуктах на базе ГИС-технологий. [126]

Следующим этапом разработки DSL является выбор или создание синтаксического анализатора. Существует множество готовых синтаксических

анализаторов (парсеров), наиболее известными из них являются ANTLR, Yacc, Coco/R и другие. Синтаксический анализ сводится к построению дерева разбора выражения и передачи управлению следующему компоненту программной системы (в рассматриваемом DSL – интерпретатору).

Исходя из небольшого размера грамматик и легкости синтаксического анализа, целесообразно использовать один из вариантов синтаксически управляемой трансляции – синтаксически управляемое определение (СУО) . [127] Для реализации СУО необходимо назначить атрибуты символам грамматик, представляющих определённые конструкции языка программирования. Значение атрибутов СУО указывается при помощи связывания синтаксических правил с грамматическими продукциями. В полученной при этом грамматике, большинство атрибутов будут синтезируемыми, это означает, что если нетерминальный символ А в узле дерева N определяется семантическим правилом, то он может быть определён только с использованием дочерних узлов дерева разбора.

Создание DSL завершается разработкой транслятора или интерпретатора. Разработанный язык программирования для создания тематических карт является интерпретируемым и обладает небольшой вычислительной мощностью. Следовательно, целесообразно использовать однопроходную интерпретацию. Это означает что символ, полученный для обработки из лексического анализатора, либо сразу интерпретируется (если присутствует такая возможность), либо ожидается следующий символ для применения семантического правила. Выражение интерпретируются с использованием СУО. У данного к интерпретации есть один недостаток, который заключается в отсутствии возможности восстановления процесса интерпретации в случае семантической, синтаксической или лексической ошибки.

Разработанный предметно-ориентированный язык программирования может использоваться для упрощения процесса создания тематических карт разной направленности. Открытость программного продукта позволяет

создавать новые программные решения на его основе. Дальнейшим направлением развития разработки является её интеграции со специализированным программным обеспечением на базе ГИС-технологий. Рассмотренные этапы разработки входят в технологию проектирования и реализации дополнительных средств создания программного обеспечения на базе ГИС-технологий с использованием объектно-ориентированного подхода.

2.6. Выводы по главе

Использование высокоинтенсивных технологии выемки угля напрямую связано с проблемой обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев, которая может быть решена на основе компьютерного моделирования и прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ с использованием ГИС технологий. В связи с этим в работе сформулирована концептуальная основа методологии проектирования ГГИС для прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ. Проведена декомпозиция разрабатываемой методологии на ряд подзадач, связанных с разработкой архитектуры ГИС угледобывающего предприятия с разработкой методов моделирования горных работ, технологией проведения конечно-элементного анализа при моделировании движения очистного забоя и визуализацией результатов имитационного моделирования геомеханических процессов. Разработанная концептуальная модель построения пространственных геоизображений, позволяет изучать динамику появления и развития зон повышенного давления. Алгоритм расчета параметров НДС углепородного массива в окрестности очистного забоя может быть реализован на основе классического метода конечных элементов, используемый для решения краевых задач различной физической природы и адаптированный к системе "механизированная крепь - углепородный массив".

3. РАЗРАБОТКА И АДАПТАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

3.1. Разработка структуры горных информационных систем на базе ГИС-технологий

Для эффективной реализации функционального наполнения концептуальной модели специализированной ГГИС моделирования геомеханических процессов в очистном забое, описанной во второй главе настоящей работы, требуется согласованная работа как минимум трёх программных подсистем: графического представления пространственно-атрибутивных данных, функционального наполнения и моделей данных. Такое согласование подразумевает использование пакетной структуры системы, компоненты которой взаимодействуют посредством универсальных интерфейсов. На рисунке 20 отображен поток работ в ГГИС.

Указатель в виде стрелки представляет собой интерфейс-контроллер, с помощью которого данные преобразуются в специальную структуру и передаются от модуля к модулю. Обмен сведениями с хранилищем данных осуществляется на каждом этапе работы ГГИС.

При расчёте параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива для использования различных алгоритмов расчёта, в зависимости от интенсивности воздействия, геометрических характеристик и внешних факторов, без перекомпиляции программной системы, целесообразно создать пакет функций, содержащий соответствующие компоненты. [128] Для достижения адекватного отображения результатов моделирования зон повышенного давления в окрестности очистного забоя, вне зависимости от типа приложения, целесообразно создать пакет графических представлений и реализовать соответствующий интерфейс.

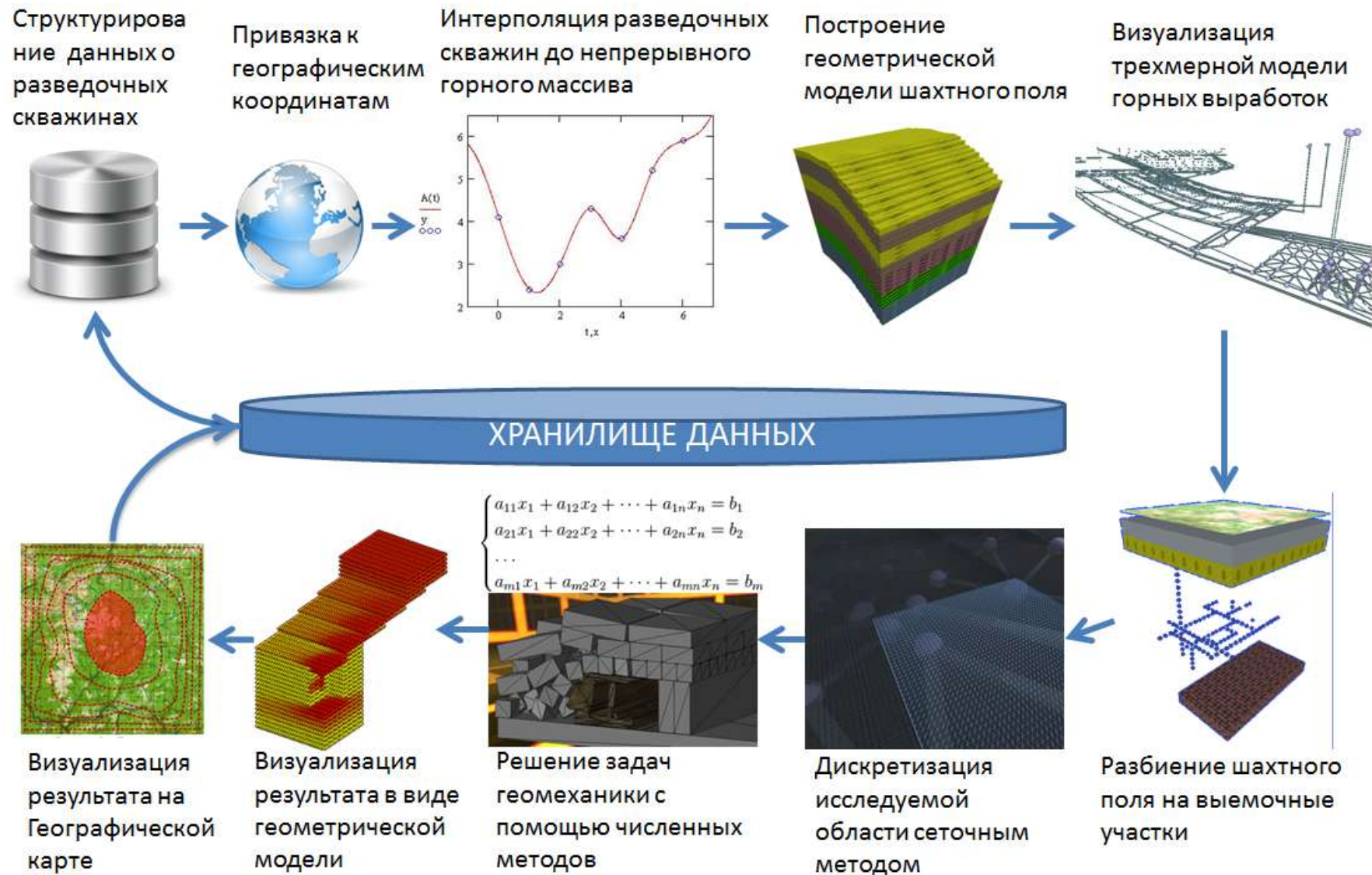


Рисунок 10. Поток работ в горной геоинформационной системе

В этом случае, адаптивность архитектуры позволит использовать различное функциональное наполнение в зависимости от параметров конфигурации (особенности рельефа, расположение породных слоев, геометрические ограничения). Учитывая актуальность использования удалённых и локальных (предметные классификаторы) источников данных, целесообразно создание контроллера баз данных и подключающихся к нему компонентом для работы с различными типами источников. Согласно концептуальной модели, данный компонент должен реализовывать интерфейс работы с активной моделью данных [129].

В связи с повсеместным использованием готовых программных библиотек и каркасов (например, GRASSGIS, для обработки статистических данных НДС), в компонентную модель необходимо заложить возможность их подключения. Данная возможность реализуется посредством универсальных интерфейсов, отдельно для пространственных и общих функций.

Программные системы для проведения исследований состояния горного массива при ведении очистных работ подразумевают интеграцию с существующими ИС предприятия. Для обеспечения такой возможности компонентная модель должна учитывать реализацию соответствующих внешних интерфейсов, позволяющих использовать специальное функциональное наполнение ГИС сторонними приложениями. В результате может быть построена компонентная модель ГГИС для проведения исследований напряженно-деформированного состояния углепородного массива. В зависимости от типа приложения, платформы и применяемых технологий, некоторые элементы программной системы и интерфейсы могут быть изменены, однако концепция останется прежней. В частности, если строится горная информационная система, в основе которой лежат специализированные программы расчета различных параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива, в результате геомеханического взаимодействия породных слоев с циклически движущимся

очистным забоем, то набор электронных карт нужен только для визуализации полученных результатов. В этом случае программный каркас подключен к общей модели ГГИС как библиотека. Компонентная модель соответствующая объектной декомпозиции ГГИС представлена на рисунке 21.

Если строится ГИС в качестве основы, в которой, лежит электронная карта ведения горных работ с использованием различных видов пространственно-атрибутивных данных и по мере необходимости подключаются различные специализированные программные модули, определяющие направленность исследований, то в этом случае программный каркас подключен к общей модели ГИС как каркас. Соответствующая компонентная модель представлена на рисунке 22.

Рассмотрим основные компоненты архитектуры СПО ГГИС. Промежуточные слои, предназначенные для согласования элементов, и отвечающие за реализацию бизнес-логики, представлены компонентами пакета «Соединительные компоненты». Контроллер «Графика» отвечает за согласование взаимодействия пользовательских интерфейсов и основной системы посредством обработки пользовательских действий и принятия решений о реакции системы. Данный контроллер может изменять элементы графических представлений, в зависимости от действий пользователя. Компонент «Контроллер функций» обрабатывает запросы на предоставление функций и моделей, обеспечивая вариативность функционального наполнения. Компонент «Контроллер баз данных» согласует работу системы с локальными и удалёнными источниками данных.

Компонент «Главный приложения» отвечает за согласование взаимодействия элементов системы. Вынесение контроллеров в отдельные компоненты, на практике, позволяет значительно понизить связанность элементов системы и улучшить возможности интеграции. Это достигается за счёт отдельной обработки действий пользователя и универсальных интерфейсов.

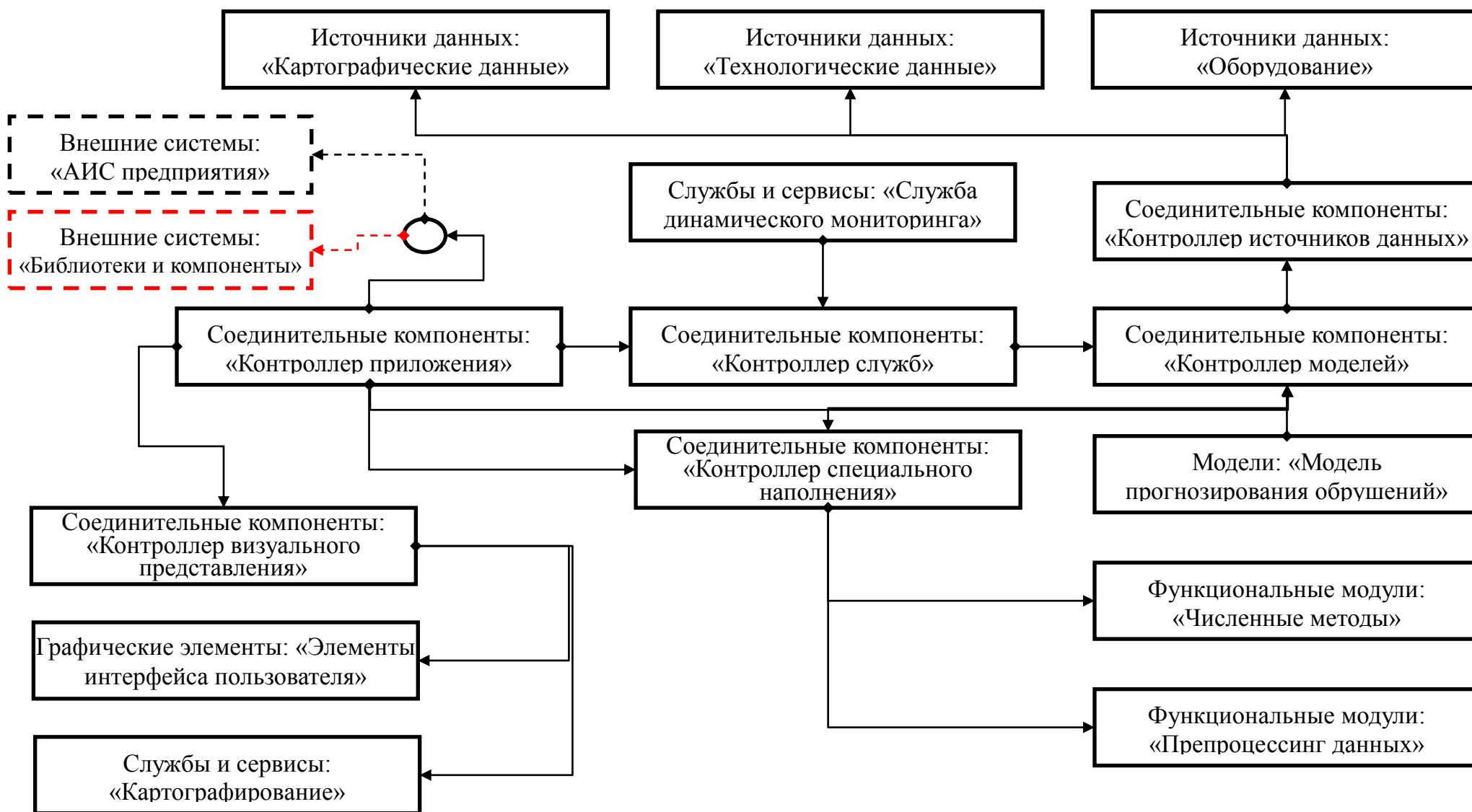


Рисунок 21. Компонентная модель ГИС (программный каркас подключен как библиотека)

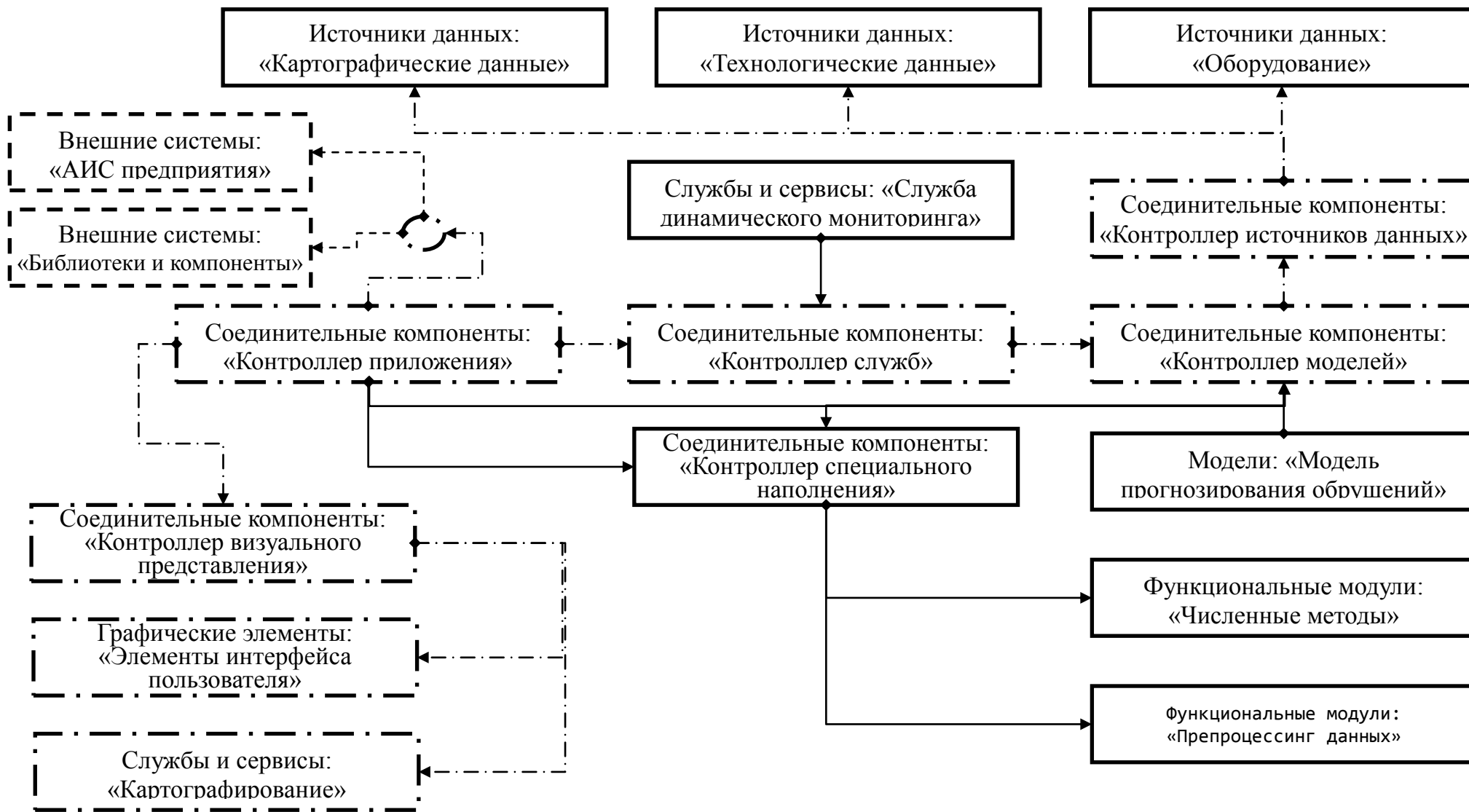


Рисунок 22. Компонентная модель ГГИС (программный каркас используется непосредственно как каркас).

Компоненты пакета «Источники данных» отвечают за взаимодействие с источниками данных. Разделение компонентов на локальные и удалённые обусловлено тем, что в специализированных приложениях на основе ГИС технологий, часто используются локальные классификаторы, имеющие уникальную структуру данных. Функции для работы с такими классификаторами значительно отличаются от функций, необходимых для получения данных из удалённых источников. Предложенный подход, основанный на разделении обязанностей, позволяет упростить интерфейс компонентов и более чётко обозначить абстракции.

На схеме представлены два компонента пакета «Службы и сервисы» – «Основные» и «Специализированные». Компонент «Основные» отвечает за реализацию функционального наполнения общего назначения, которое может зависеть от платформы или стандартных библиотек и программных каркасов. Компонент «Специализированные» реализует весь спектр функций, характерных для рассматриваемой предметной области. Данный компонент предоставляет открытый интерфейс. Это решение способствует интеграции приложения с другими продуктами ГИС. Разделение функционального наполнения между двумя независимыми компонентами позволяет осуществлять поэлементное тестирование, добиваясь максимальной точности результатов работы программы.

Компоненты пакетов «Модели» и «Контроллер моделей» отвечают за согласование взаимодействия с функциями работы с типовыми источниками пространственных данных и функциями ГГИС. К типовым источникам данных можно отнести, например, share-файлы, а к стандартным функциям ГГИС – работу с системами координат и проекций. На этапе проектирования чаще всего не ясно, какие конкретно классические источники данных и функции будут использованы. В связи с этим важно предоставить возможность их добавления и удаления, с минимизацией изменения остальной системы. В рамках данной архитектуры, вариативность источников пространственных

данных достигается за счёт выделения пакета «Пространственные» и наличия внешнего интерфейса для работы с внешними библиотеками

Представленная архитектура практически без изменений может применяться при разработке классических настольных приложений. Однако, при реализации web-приложений, необходимо учитывать особенности используемого программного каркаса. В этом случае, целесообразно принять архитектуру фреймворка, а специализированные сервисы выделить в отдельный модуль. Современные программные каркасы, как правило, основаны на концепции MVC, в связи с чем, логика взаимодействия компонентов практически не изменится, и будет соответствовать предложенному архитектурному решению.

Таким образом, представленная компонентная модель полностью соответствует сформулированным требованиям к архитектуре рассматриваемого класса программного обеспечения, и может применяться при разработке СПО ГИС. К недостаткам данной архитектуры можно отнести сложность в реализации и необходимость привлечения квалифицированных специалистов. Это затрудняет её реализацию при разработке небольших приложений. Следовательно, в рамках предлагаемого подхода, небольшое приложение целесообразно разрабатывать в виде дополнительного модуля (плагины) к существующей ГИС общего назначения.

Сначала определяется направленность разработки: разработка модуля, плагина, специализированной ГИС и так далее. Затем описывается конкретная предметная область. Описание предметной области предварительно специфицируется функциональное наполнение, и определяются ограничения, накладываемые на систему. Затем рассматривается стратегия взаимодействия с пользователем.

На следующем этапе определяются форматы источников данных (растровые, векторные, классификаторы, смешанные) и их типы: (локальные или удалённые). Далее определяется целевая платформа, начиная от АСУ

предприятия, заканчивая типом операционной системы. Процесс подготовки к формированию компонентного состава ГГИС представлен на рисунке 23.

После определения целевой платформы, целесообразно предварительно выбрать технологии разработки (это окажет наиболее существенное влияние на компонентную модель): каркасы, базы данных библиотеки и дополнительные средства проектирования и реализации.

По окончании выполнения выше описанных этапов окончательно формируется перечень требований к компонентной модели.

При создании региональной геоинформационной системы были выработаны концептуальные требования и разработана структура геоинформационной системы имитационного моделирования ведения горных работ для оценки целесообразности и мониторинга ведения горных работ и выработки комплекса мероприятий по обеспечению стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев. Такая геоинформационная система должна включать в себя следующий набор программных модулей [130]:

- электронный атлас ведения горных работ;
- учет геологоразведочных данных;
- графический редактор объектов электронных карт;
- база горношахтного оборудования;
- подсистема моделирования напряженно деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя;
- инструментальные средства визуализации результатов.

Дальнейшая разработка каждой программной системы требует детализации её составляющих посредством создания диаграмм классов отдельных компонентов.

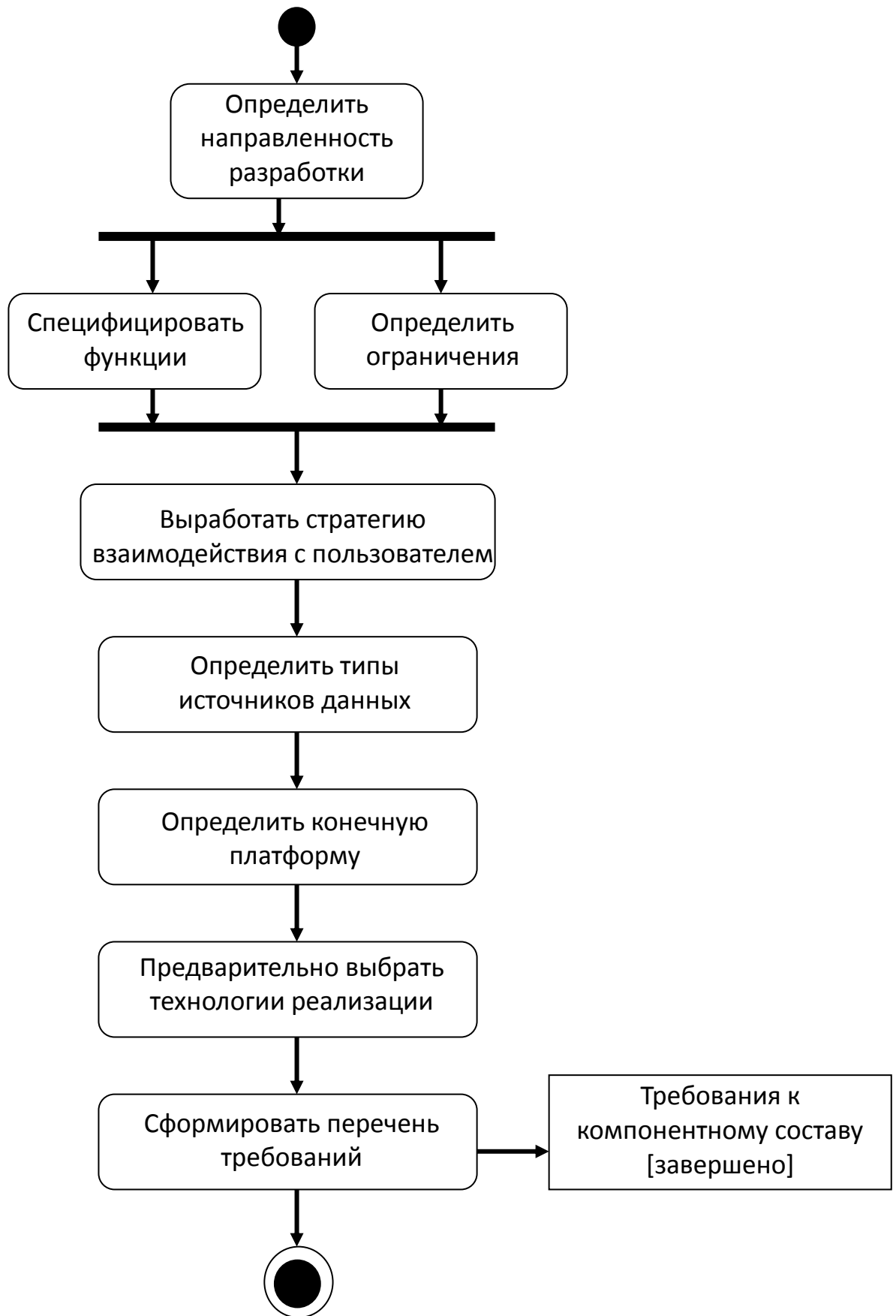


Рисунок 23. Процесс первичной настройки компонентного состава ГГИС.

3.2. Разработка баз геофизических данных и горношахтного оборудования для создания специализированных ГГИС.

В процессе ведения горных работ возникает необходимость в управлении большими объемами данных, обеспечивающих информационные потоки между объектом и системой управления угледобывающего предприятия. Величина этого объема обусловлена несколькими составляющими.

Во-первых, необходимо учитывать как можно больше факторов для построения адекватной модели. Разнородность в структуре данных, единицах измерения и сложная соотносимость разных предметных областей порождает необходимость в разработке дополнительных способов хранения и обработки данных.

Во-вторых, при ведении горных работ географическая привязка может изменяться от сотен метров до нескольких километров, как в ширину, так и в глубину. Это увеличивает пространственную составляющую информационной модели. От способа хранения пространственных данных зависит методика построения геометрической модели горного массива или подземной части угледобывающего предприятия.

В-третьих, для динамического моделирования процессов разрушения горных пород необходимо сохранять несколько статических состояний модели, снабжая каждую часть информационной модели темпоральным атрибутом. Следовательно, объемный массив данных увеличивается пропорционально количеству зафиксированных статических состояний модели.

Таким образом, математическая модель, описывающая в общем случае пространство данных угледобывающего предприятия U , имеет вид:

$$U = F(X, Y, Z, L, C)$$

,где $\{X, Y, Z\}$ – множество координат трехмерного пространства;

L – атрибутивная составляющая, описывающая множество сведений об изучаемой предметной области;

C – хронологическая составляющая, описывающая пространство времени, которое лежит в основе мониторинга и прогнозирования данных.

Каждая компонента пространства описывается непрерывной величиной. Совокупное количество элементов этого пространства бесконечно, при этом изменение может происходить по каждой компоненте системы: размер изучаемого пространства, время наблюдения, атрибутивные характеристики. Соответственно, меняется и объем данных, необходимый для обработки. Для фиксации этого пространства целесообразно провести квантование, т.е. разбить «поверхность» пространства на дискретности, более удобные для анализа и экстраполяции. Даже после дискретизации исследуемой области, объем данных для обработки остается довольно внушительным. Для решения этой проблемы разработана информационная модель манипулирования данными, состоящая из трех частей: систематизации, анализа и хранения (рисунок 24).

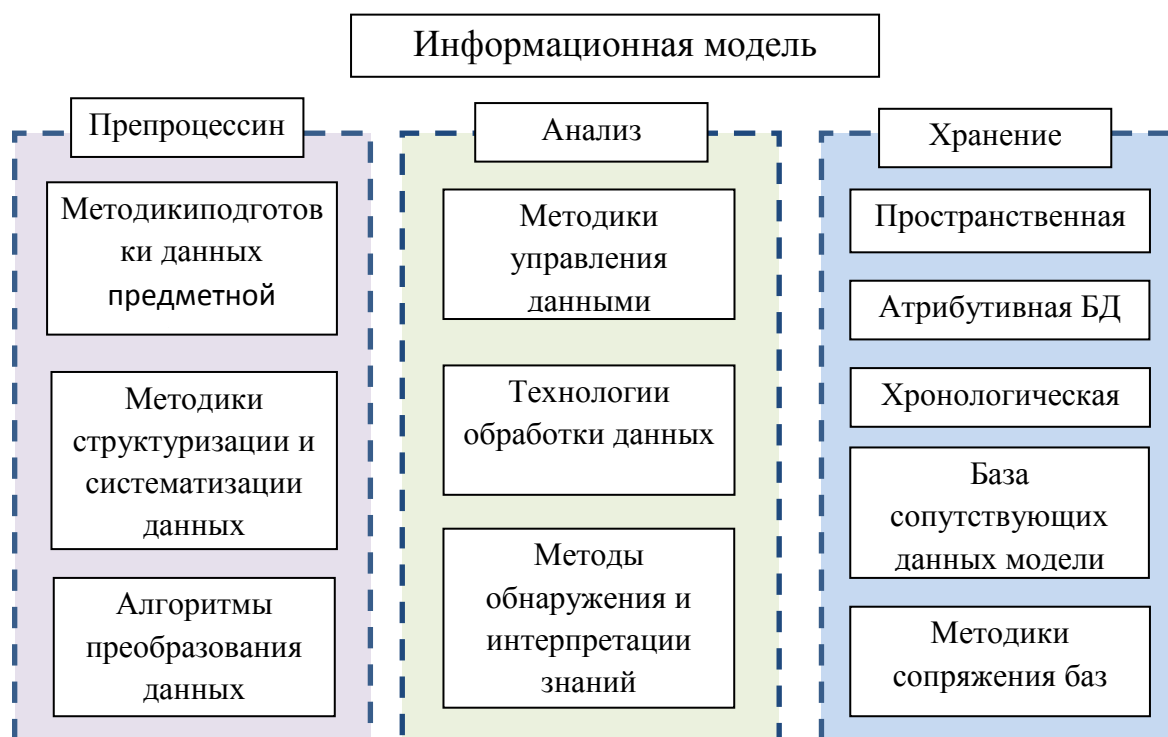


Рисунок 24. Структура информационной модели данных для ГГИС угледобывающего предприятия

Прежде чем использовать специализированное программное обеспечение в ГГИС необходимо выполнить препроцессинг данных, т.е. подготовить сведения для использования внутри программных модулей. Эта задача заключается в систематизации массива данных, который был собран различными измерительными способами. Полученная в результате систематизации структура данных должна обладать достаточным уровнем абстрактности и гибкости, и при этом точно описывать модель внутри предметной области. Речь идет о структурировании геологических данных, полученных на основе анализа образцов горных пород, извлеченных из разведочных скважин. Каждая скважина обладает рядом характеристик: географические координаты, высотная отметка устья, глубина скважины. На основе стратиграфического керна фиксируются данные о глубине залегания и мощности каждого пласта.

Анализ данных всегда проводится с целью извлечения полезной информации и принятия решений. Целью анализа в нашей информационной системе является проектирование горных выработок и оценка напряженного состояния в нетронутым массиве. Сложность проектирования горных выработок заключается в их пространственном расположении – очистные выработки должны находиться вдоль линии простирания пласта. В случае горизонтальных выработок необходимо учитывать наличие небольшого угла для облегчения транспортировки и обеспечения стока воды к водосборнику, соответственно необходим способ для оценки местонахождения начала и конца каждой выработки относительно друг друга.

Изучение напряженно-деформированного состояния углепородного массива необходимо для оценки безопасности ведения горных работ. Однако, помимо уровня напряжения горных пород, существуют и другие факторы, влияющие на безопасность: физические (температура, влажность, уровень шума и вибрации), химические (раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные) и др. После сбора всего массива данных со всех исследуемых

участков очень трудно проанализировать полученные сведения в совокупности. Для этого необходимо использовать специальные методы обработки: OLAP и DataMining.

Очевидно, что такой большой объем данных предъявляет повышенные требования к носителям информации: объему и скорости работы жесткого диска. Следовательно, целесообразно использование аппаратного сервера с установленной СУБД и программным интерфейсом для подключения клиентских машин. Однако на клиентской машине тоже необходимо использование базы данных, в которой будут содержаться сведения для оперативной обработки – построения общей модели углепородного массива. В качестве серверной СУБД было принято использовать PostgreSQL. Серверная СУБД позволяет разграничить уровни доступа пользователей с помощью ролей. Еще одним плюсом Postgre является наличие расширения PostGIS, которое позволяет реализовать пространственную составляющую базы данных. Стоит также отметить, что база данных должна быть темпоральной (хранить хронологический атрибут) и реализовывать накопительный принцип. На клиенте этого не требуется, следовательно, необходима база данных без серверной части, однако с более гибким программным интерфейсом для подключения и работы на разных операционных системах. Из существующих компактных встраиваемых реляционных баз данных больше всего в эту концепцию укладывается SQLite. Поскольку передаваемые данные могут представлять собой коммерческую или государственную тайну на сервере и клиенте необходимы механизмы криптографической обработки данных.

При выборе конкретной области отображаемые данные будут детализироваться или обобщаться в зависимости от действий пользователя. Все расчеты и анализ данных производится на сервере, а результаты обработки отправляются на клиентское приложение, задачей которого остается только преобразование полученных данных и отображение с помощью таблиц,

диаграмм, изолиний на географической карте или средств трехмерной компьютерной визуализации.

Рассматривая данные по отношению к описываемым ими объектам, говорят о цифровых моделях объектов, а применительно к пространственным объектам в ГИС — о цифровых моделях пространственных объектов. Цифровая модель - набор логических правил построения системы из слагающих ее элементов — в данном случае элементарных (атомарных) пространственных объектов, имеющих аналогии в компьютерной графике и называемых там графическими примитивами, пространственные данные. Они состоят из двух взаимосвязанных частей: позиционной (тополого-геометрической) и непозиционной (атрибутивной) составляющих, которые образуют описание пространственного положения и тематического содержания данных соответственно.[114]

Пространственные объекты как абстрактные представления реальных объектов и предмет информационного моделирования (цифрового описания) в ГГИС разнообразны и традиционно классифицируются сообразно характеру пространственной локализации отображаемых ими объектов реальности, мерности пространства, которое они образуют, модели данных, используемой для их описания, и по другим основаниям. В рамках объектно-ориентированных моделей данные могут конструироваться в новые классы объектов, отличные от базовых или созданных ранее. Базовыми (элементарными) типами пространственных объектов оперируют современные ГИС. Наименованием объекта служит его географическое наименование (имя собственное, если оно есть), его условный код и/или идентификатор, присваиваемый пользователем или назначаемый системой [131].

В зависимости от типа объекта его местоположение определяется парой (триплетом) координат (для точечного объекта) или набором координат, организованным определенным образом в рамках некоторой модели данных, о которых речь пойдет ниже. Это геометрическая часть описания данных,

геометрия (метрика) рассматриваемых пространственных объектов, отличная от их семантики (непозиционных свойств).

Перечень свойств соответствует атрибутам объекта, качественным и количественным его характеристикам, которые приписываются ему в цифровом виде пользователем, могут быть получены в ходе обработки данных или генерируются системой автоматически (к последнему типу атрибутов принадлежат, например, значения площадей и периметров полигональных объектов). Существует расширенное толкование понятия атрибута объекта; последнему могут быть поставлены в соответствие любые типы данных: текст, цифровое изображение, видео- или аудиозапись, графика (включая карту), что, по существу, реализуется на практике в мультимедийных электронных атласах. Под атрибутами понимаются именно содержательные, тематические (непозиционные, непространственные) свойства объектов.

Под отношениями понимают, прежде всего, топологические свойства (топологию). К топологическим свойствам пространственного объекта принято относить его размерность (мерность, пространственную размерность), сообразно которой выше были выделены 0, 1, 2 и 3-мерные объекты; замкнутость, если речь идет о линейных объектах в широком смысле слова; связность; простота (отсутствие самопересечения линейных объектов и «островов» в полигоне); нахождение на границе, внутри или вне полигона; признак точечного объекта, указывающий, является ли он конечным для некоторой линии. Примерами топологических отношений объектов являются их свойства «пересекаться», «касаться», «быть внутри», «содержать», «совпадать» [132].

Топология вместе с геометрией образует тополого-геометрическую часть описания данных, его позиционную часть. Таким образом, в самом общем виде в пространственных данных следует различать и выделять три составные части: топологическую, геометрическую и атрибутивную — «геометрию», «топологию» и «атрибутику» цифровой модели пространственного объекта.

Четкое разделение позиционных и непозиционных данных — историческая традиция, имеющая определенные технологические корни. Управление атрибутивной частью данных обычно возлагается на средства систем управления базами данных (СУБД), встроенных в программные средства ГИС или внешних по отношению к ним [133]. В наиболее яркой форме оно реализовано в рассмотренной ниже векторной модели данных, атрибуты которой представлены таблицей, хранятся и управляются СУБД, поддерживающей реляционную модель данных, а их позиционная часть, связанная с атрибутивной через идентификаторы пространственных объектов, управляется другими средствами. Модели пространственных данных такого типа получили широкое распространение и наименование геореляционных. Современной альтернативой геореляционной модели является интегрированный подход, когда и атрибутивная, и тополого-геометрическая части данных хранятся и управляются в единой среде СУБД, а также объектный и объектно-реляционный подходы [134, 135].

Современный подход к построению баз данных, используемых для хранения пространственных, тополого-геометрических и атрибутивных характеристик моделируемых объектов, основан на интегрированном подходе. При таком подходе предполагается разработка и использование единой (одной) базы данных, как правило, поддерживающей объектно-реляционную модель и позволяющую эффективно работать как с пространственными, так и с атрибутивными данными. Разработка концепции единой базы геофизических данных, используемых при моделировании напряженно-деформированного состояния углепородного массива с учетом проведения выемочных работ, может быть показана как процесс последовательного перехода от общих понятий предметной области к более уточненным и конкретным сущностям, образующим информационное представление реальных объектов.

На первоначальном – наиболее общем уровне концептуальной схемы единой базы геофизических данных можно выделить следующие элементы

(Рисунок 25): исходные и расчетные данные каждой модели и общие данные, которые используются в каждой модели.

Среди общих данных можно выделить две категории: данные технологического оборудования и характеристики горных пород. Отметим, что наиболее востребованные свойства объектов, относящихся к выделенным категориям, не содержат пространственных параметров и полностью являются атрибутивными. В процессе моделирования из разнообразного технологического оборудования востребованными являются механизированные крепи и их характеристики.

Фрагмент концептуальной схемы базы данных, предназначенных для представления характеристик механизированных крепей, приведен на рисунке 26. Отметим, что согласно представленной схеме, с каждой механизированной крепью помимо данных о производителе и типе крепи может быть связано множество характеристик, каждая из которых является значением определенного параметра.

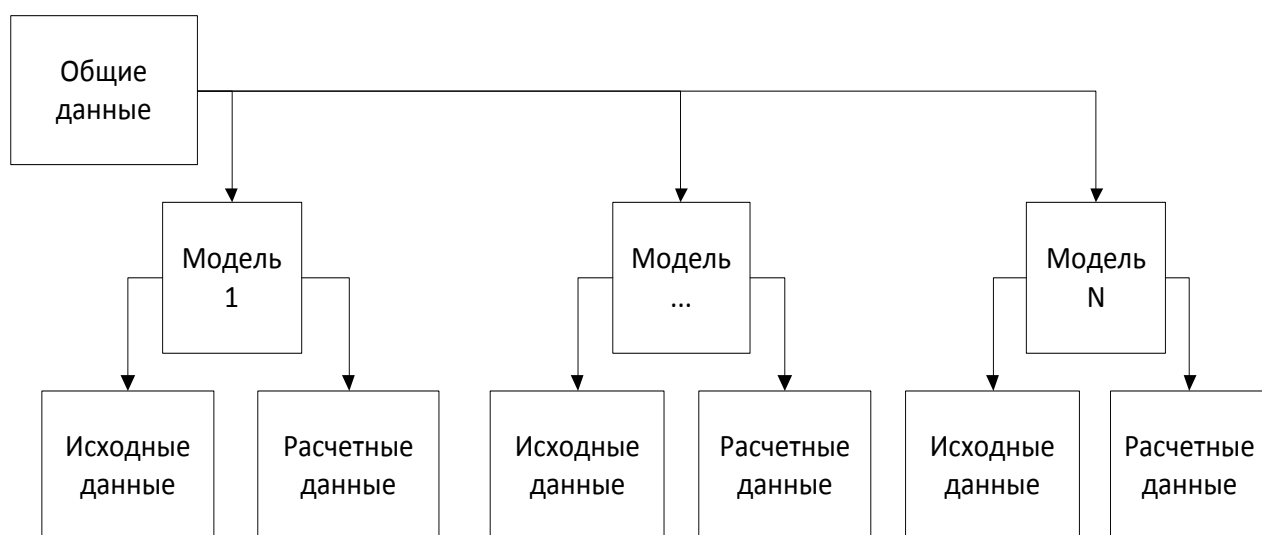


Рисунок 25. Первый уровень концептуальной схемы базы данных

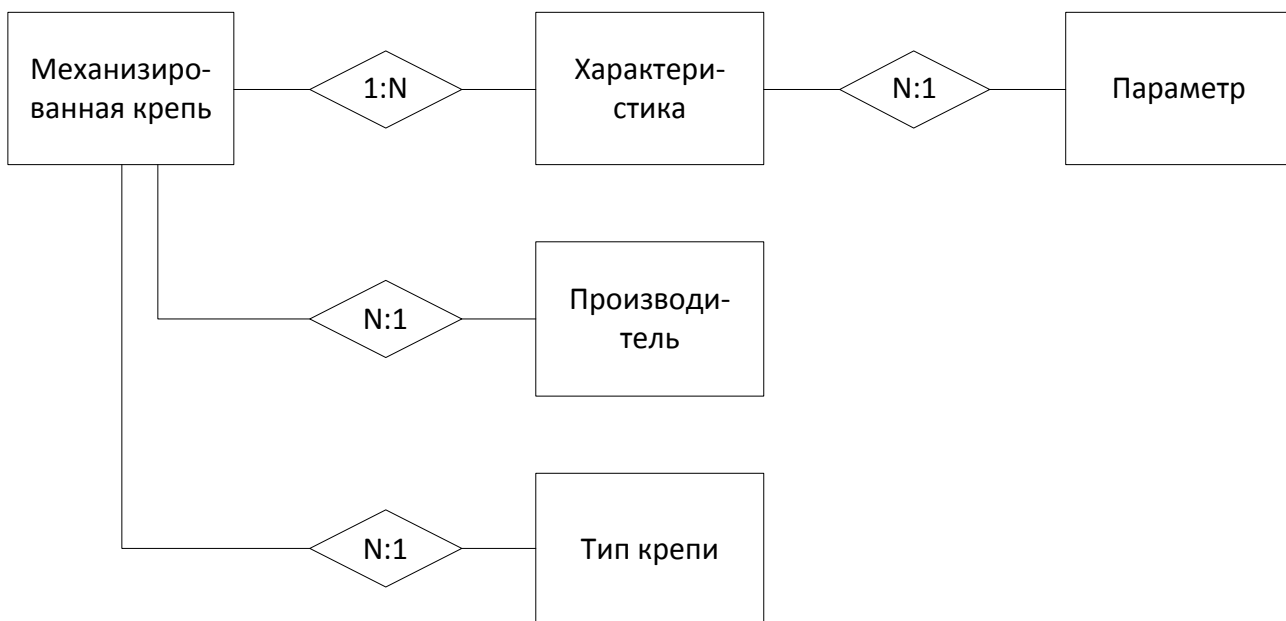


Рисунок 26. Концептуальная схема объекта «Механизированная крепь».

На рисунке 27 показана концептуальная схема фрагмента единой базы геофизических данных, позволяющей представлять характеристики горных пород и принадлежность их к определенным классам.

В исходные данные каждой модели включаются сведения о выемочном блоке, концептуальная схема которого приведена на рисунке 28. Каждый объект «Выемочный блок» содержит множество стратиграфических колонок, которые кроме атрибутивных параметров – множества слоев горных пород, включают и пространственные параметры.

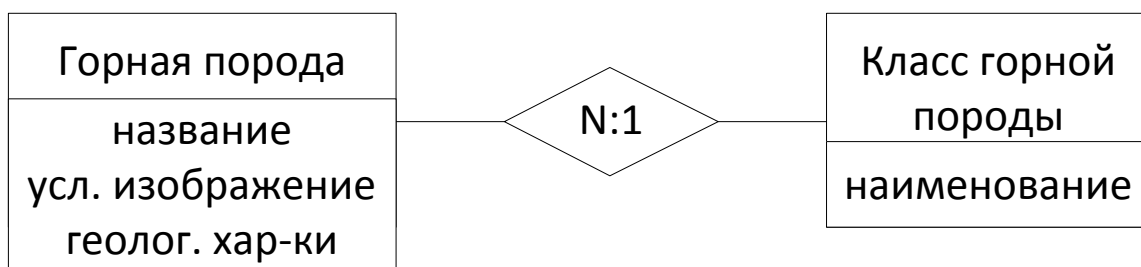


Рисунок 27. Концептуальная схема объекта «Горная порода».

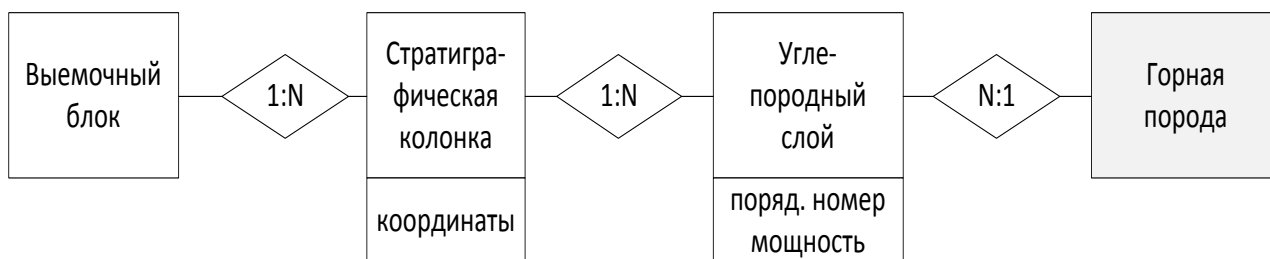


Рисунок 28. Концептуальная схема объектов «Выемочный блок» и «Стратиграфическая колонка».

Расчетные данные каждой модели могут быть сгруппированы по «срезам» области исследования, в отношении которых фактически производится моделирование. Обобщенные геофизические данные по каждому «срезу», подлежащие хранению в единой базе данных, представлены на рисунке 29. Среди исходных данных каждого «среза» может присутствовать объект «Стратиграфическая колонка», модель которого показана на рисунке 28.

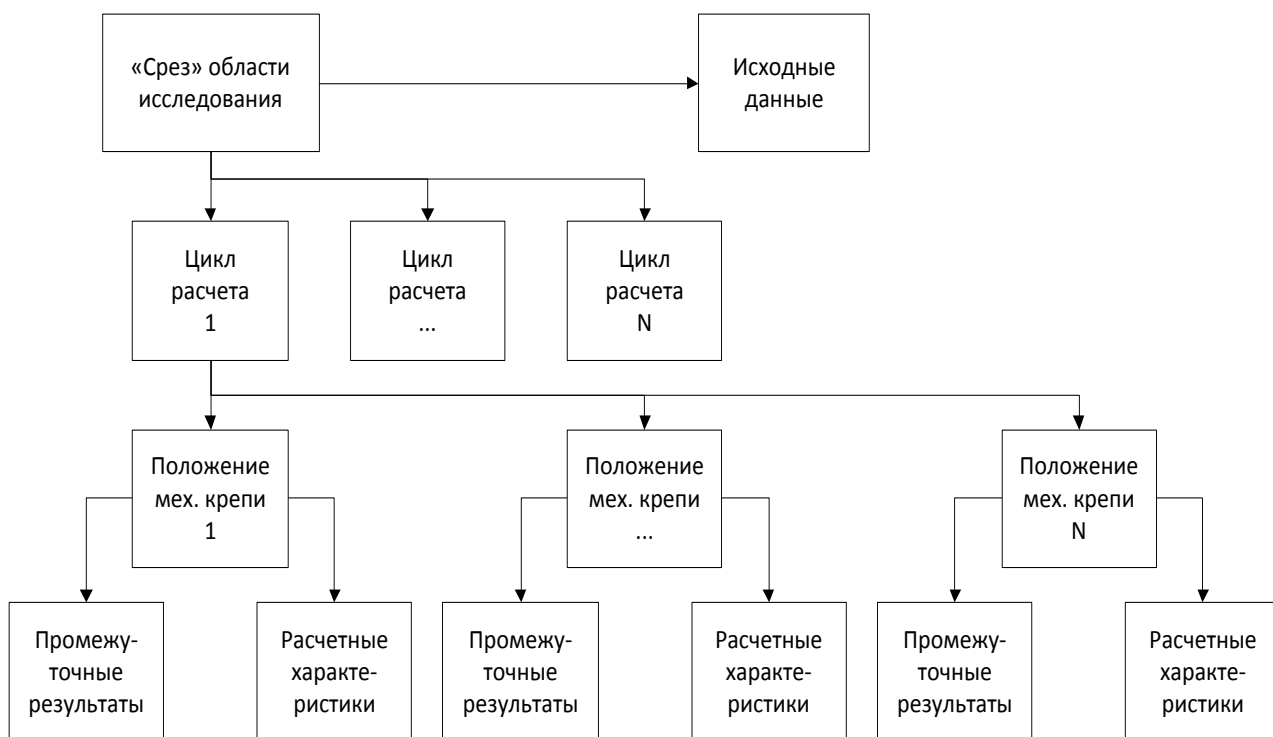


Рисунок 29. Общая схема геофизических данных «среза» области исследования.

Для формирования хранилища данных необходимо обработать исходные данные представляющие собой, как правило, чертежи горных выработок или проектную геологическую документацию и представить их в виде таблицы 1. Помимо пространственных данных о геометрии разведочной скважины, описываются каротажные данные каждой разведочной скважины: тип породы, глубина и мощность залегания каждого пласта (таблица 2).

После построения геометрической модели углепородного массива, каротажные данные связываются с базой данных свойств горных пород (водно-физических, механических, упругих и др.) и базой данных механизированных крепей (название и основные характеристики каждого вида крепи). Эти три базы данных соединяются в хранилище данных со сложной структурой представленной на рисунке 30, в связи с чем, возникает необходимость в применении специализированной технологии обработки данных. [136]

Таблица 2

Таблица характеристик разведочных скважин

Номер скважины	Координаты скважины (или географические координаты)		Глубина скважины, м	Высотная отметка устья (уровня земной поверхности, где начали бурить скважину), м
1	327,5	17,5	500	150
2	127,5	117,5	600	25
...

Таблица 3

Таблица каротажных данных

Номер скважины	Породы в скважине		
	Глубина начала залегания породы, м	Порода	Мощность, м
1	500	Аргиллит	50
	450	Алевролит	300
	150	Уголь	5
	123	Глина	100

2	600	Аргиллит	70
	530	Алевролит	300
	230	Уголь	12

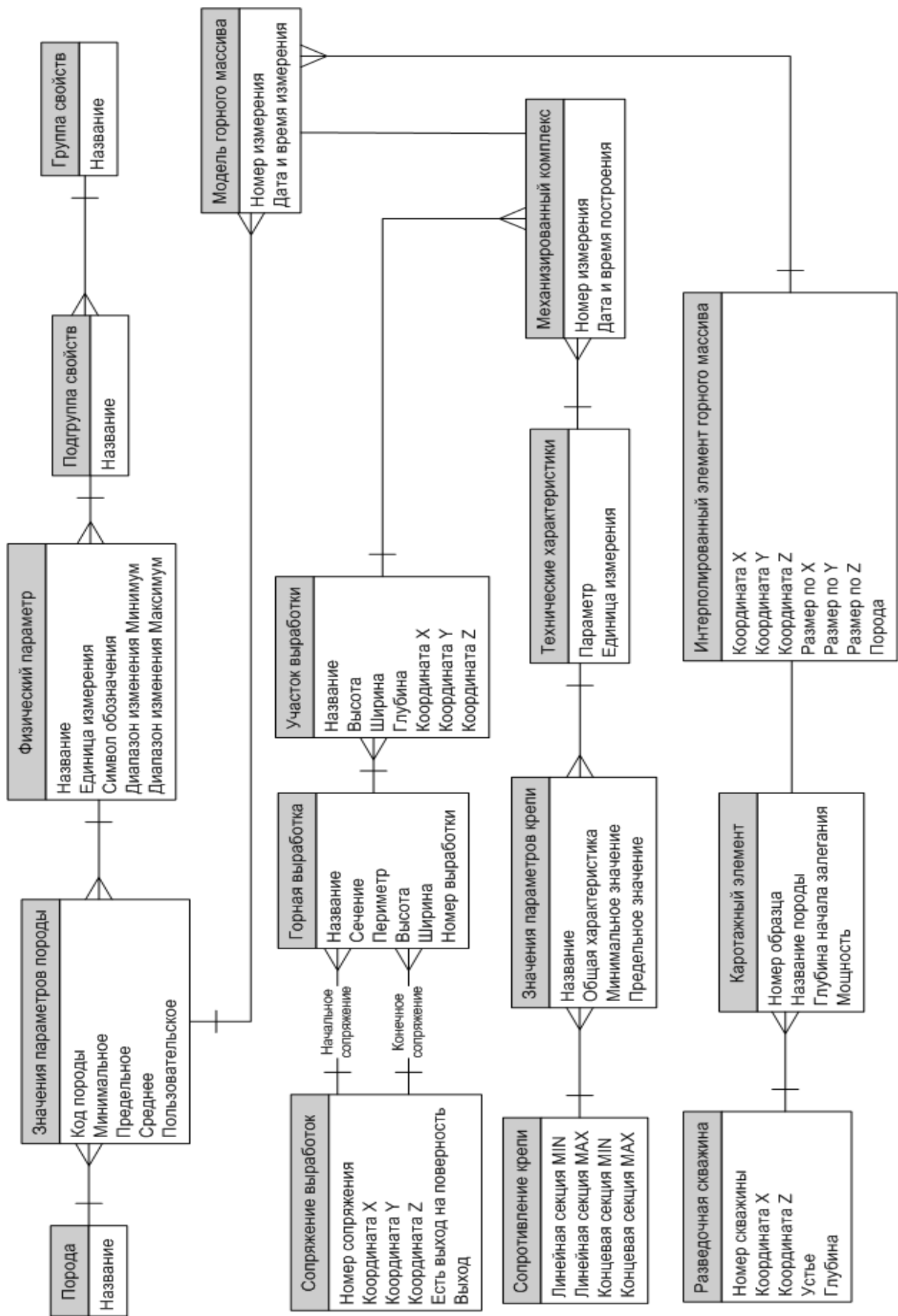


Рисунок 30 - Структура хранилища данных

В связи с этим возникла необходимость в использовании технологии OLAP, которая применяется для подготовки суммарной (агрегированной) информации на основе больших массивов данных, структурированных по многомерному принципу.

Поскольку результаты запроса (агрегаты) будут необходимы на стадии выполнения динамической части визуализации их необходимо хранить в отдельных таблицах созданных внутри хранилища данных. Это увеличит быстродействие работы информационно-аналитической системы за счет увеличения объема занимаемого места. Таким образом, в информационно-аналитической системе применена гибридная технология OLAP (HOLAP), которая использует реляционные таблицы для хранения базовых данных и многомерные таблицы для агрегатов. С каждым агрегатом дополнительно сохраняется тайм-код и номер расчета. Такая технология хранения данных обеспечивает оперативный доступ к результатам обработки большого массива сведения для построения хронологических рядов, отображающих динамику изменения исследуемой характеристики. Хранилища данных с реализованной HOLAP обеспечат возможность создания витрин данных, каждая из которых представляет собой срезы данных по OLAP-гиперкубу: массив узконаправленных сведений, который ориентирован на конкретную группу специалистов[137].

Специфика представления результатов геологоразведочных работ обусловлена не только многомерностью данных, но и сложностью их формализации. При вводе больших массивов исходных данных могут возникать различного рода ошибки, такие как: нахождение значения вне допустимого диапазона, нарушение порядка расположения вводимых чисел и т.п. Возможность включения интеллектуальных подсистем в структуру региональной ГИС придает ей новое качество – способность интерпретировать пространственные данные, т.е. осуществлять переход из одной системы понятий в другую систему понятий, выражаемых в терминах целевого свойства

(литолого-петрографического состава пород, координат перспективных участков, ожидаемых ресурсов полезных ископаемых и т.п.). Среди исходных данных каждого «среза» может присутствовать объект «Стратиграфическая колонка».

Таким образом, включение в ГГИС интеллектуальных подсистем может обеспечить многомерное районирование территорий, прогнозирование и картографирование ситуаций, планирование и оптимизацию полевых наблюдений. При таком подходе ГГИС в геологии будет не только средством преобразования формы представления информации и справочно-аналитического обслуживания, а прежде всего средством достижения конечных целей геологических исследований и получения новых геологических знаний.

3.3. Адаптация методов моделирования напряженно деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя

Поскольку, при решении задач инженерной геологии и геомеханики горной массы вводится некий набор ограничений, то основной задачей получения количественных показателей напряжений и смещений заключается в получении общей картины распределения тектонических сил в процессе выемки угольного пласта, т.е. в проведении качественного моделирования, нежели в количественном анализе [138]. В соответствии с методологией имитационного моделирования, одна и та же задача решается несколько раз не для улучшения точности, а для того, чтобы увидеть, как изменяется решение при возможном вероятностном изменении одного или нескольких исходных параметров [139]. В таких условиях требуется гибкий вычислительный инструмент, который позволял бы легко модифицировать задачу, подлежащую решению, а также обеспечивал бы достаточно быстрое нахождение ответов.

Большинство задач геомеханики, решаемых с помощью МКЭ, связаны с анизотропными средами. Так при нахождении усилий, действующих на

механизированную крепь со стороны боковых пород, мы изучаем состояние системы, состоящей из анизотропного углепородного массива, выработанного пространства и секции механизированной крепи.

Принципиальным отличием этой системы является изменение ее геометрических и механических параметров во времени и в пространстве. В этих условиях применение современных численных методов моделирования изменения параметров окружающей среды и изменения положения механизированной крепи требует постоянного изменения формы, размеров и деформационных свойств материала конечных элементов.

Многие исследователи для решения реальных задач используют известные готовые пакеты с различным функциональным наполнением, способами обработки данных, возможностями представления результатов в зависимости от постановки решаемых задач.

Методика, предлагаемая нами, отличается от имеющихся, прежде всего тем, что нагружение крепи производится не с помощью набора типовых статических или динамических воздействий, а моделированием реальной нагрузки, возникающей в процессе выемки угля механизированным комплексом [140].

Как известно, идея метода конечных элементов основана на аппроксимации непрерывной функции (давления, перемещения и т.д.) дискретной моделью, которая строится на множестве непрерывно-кусочных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых элементами [141, 142]. В качестве функции элемента чаще применяется полином, порядок которого зависит от числа данных о непрерывной функции используемых в каждом узле элемента. Симплекс-элементам соответствуют полиномы, содержащие константу и линейные члены [92].

Число элементов в таком полиноме на единицу больше размерности координатного пространства. Полином $\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y$ представляет собой симплексную функцию для двумерного треугольного элемента. Этот

полином линейен по X и Y и содержит три коэффициента, потому что треугольник содержит три узла. Следовательно, двумерный симплекс-элемент – это треугольник с прямолинейными сторонами и тремя узлами.

Для того чтобы найти перемещения в узлах конечных элементов, необходимо провести логическую нумерацию вершин треугольников. Правильная нумерация узлов сокращает объем машинной памяти.

На рисунке 31 показан один из способов нумерации узлов конечных элементов дискретной области в сечении области взаимодействия механизированного комплекса с боковыми породами. Векторная величина "перемещение" имеет как величину, так и направление.

Поэтому в каждом узле необходимо определять более одной неизвестной (две степени свободы). В этом случае векторную величину представляют ее компонентами, которые рассматриваются как неизвестные скалярные величины. Обозначение компонент вектора изображено на рисунке 32.

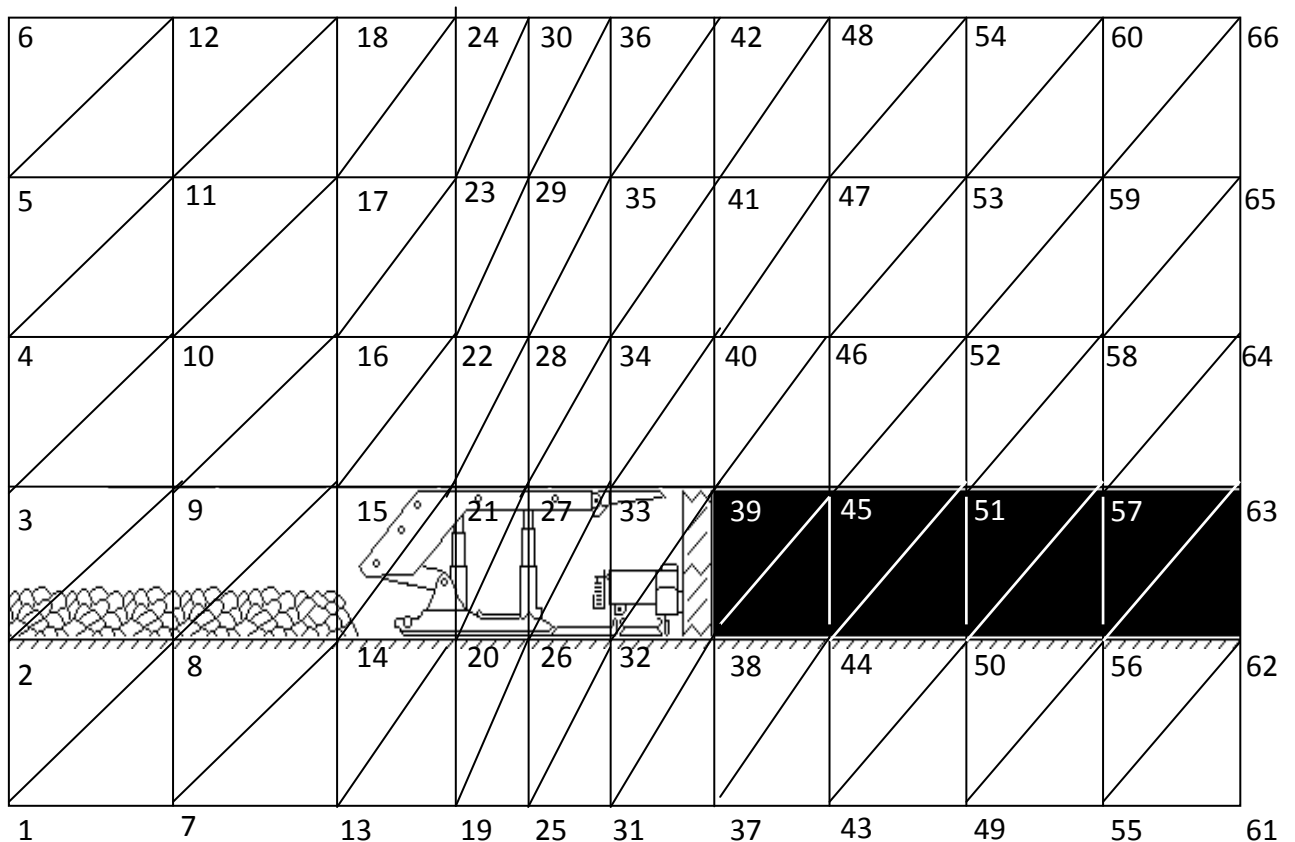


Рисунок 31. Схема нумерации узлов конечных элементов

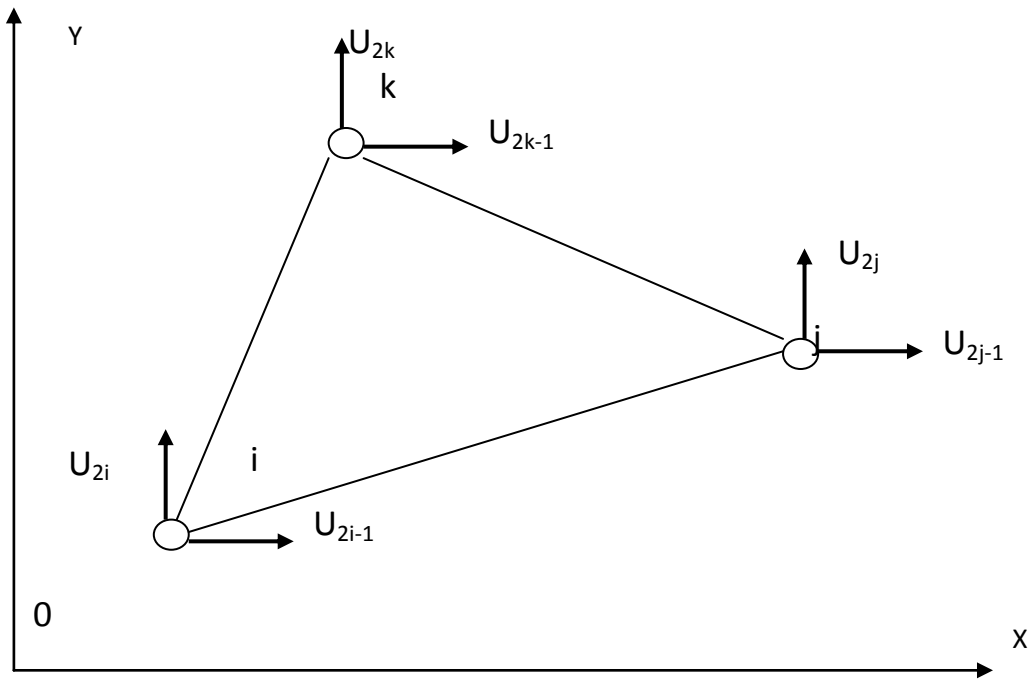


Рисунок 32. Обозначение узловых векторных величин

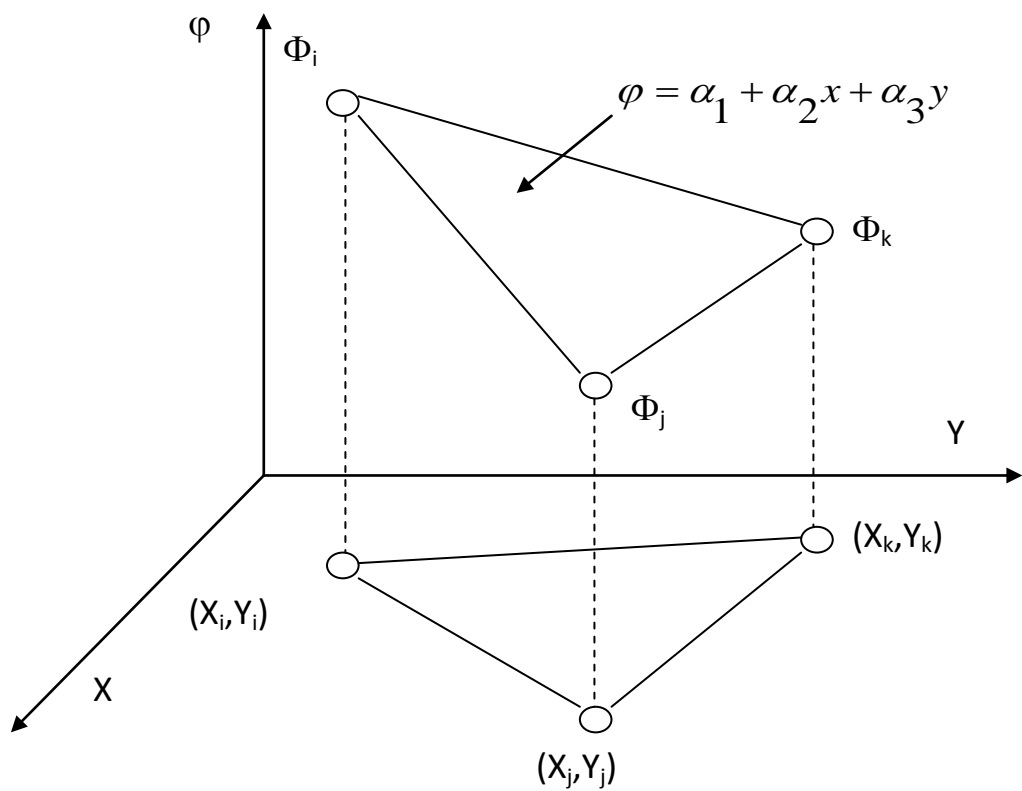


Рисунок 33. Двумерный симплекс-элемент

Узловые значения скалярной величины φ (Рисунок 33) обозначаются через Φ_i, Φ_j, Φ_k , а координатные пары трех узлов – через $(X_i, Y_i), (X_j, Y_j), (X_k, Y_k)$. Интерполяционный полином элемента имеет вид $\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y$.

Решая систему линейных уравнений, получаем интерполяционные функции в узлах элементов. В общей форме интерполяционный полином имеет вид:

$$\varphi^{(e)} = [N] * \{\Phi\} = [N_i^{(e)}, N_j^{(e)}, N_k^{(e)} \dots N_r^{(e)}] * \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \\ \vdots \\ \Phi_r \end{Bmatrix} \quad (18)$$

Общепринятая формулировка метода конечных элементов предполагает отыскание полей смещений путем минимизации потенциальной энергии системы. В результате, уравнения, определяющие элементы, сводятся к системе алгебраических уравнений равновесия, которые можно решить относительно узловых перемещений методом Гаусса. После того, как будут найдены узловые значения вектора перемещений, производится расчет напряжений в центрах конечных элементов [92].

Описанная процедура "классического" метода конечных элементов была принята в качестве основы алгоритма расчета напряженно-деформированного механизированного забоя. Совершенно очевидно, что любая модель может только приближенно отображать свойства моделируемого объекта и процессы, протекающие в нем. Для обеспечения требуемой адекватности модели и повышения точности результатов моделирования модель (алгоритм ее работы) необходимо настраивать.

В данной работе для настройки алгоритма использовали результаты натуральных измерений конвергенции основания и перекрытия секций механизированных крепей. Для повышения достоверности результаты натуральных измерений подвергали предварительной обработке: осуществляли

визуальный анализ данных, отфильтровывали выбросы, производили расчет необходимых статистик. Технология настройки алгоритма состояла в использовании итеративной процедуры корректировки параметров алгоритма на основе отклонений расчетных смещений горных пород в окрестности очистного забоя от предварительно обработанных фактических. Кроме того, адаптация МКЭ к условиям конкретной задачи предполагает:

- выбор формы и размеров конечных элементов, адекватно отражающих конфигурацию исследуемой системы;
- создание алгоритма перестройки триангуляционной сети в соответствии с формой и размерами секции механизированной крепи;
- трансформирование сети конечных элементов в соответствии с периодическими подвижками секций механизированной крепи;
- трансформирование сети конечных элементов в соответствии с периодичностью зависания и обрушения пород кровли;
- изменение сети конечных элементов в соответствии с формой и размерами зон отжимов поверхности забоя и вывалов пород кровли впереди и над секцией механизированной крепи;
- многократное повторение этапа решения системы линейных алгебраических уравнений, для реализации упруго-пластичной модели и изменения прочностных свойств конечных элементов, перешедших в запредельное состояние, для корректировки положения узлов конечных элементов в соответствии с очертаниями проекций элементов механизированной крепи.

В соответствии с вышеизложенным, можно сделать вывод о том, что большее количество мероприятий, связанных с адаптацией метода конечных элементов, относится к препроцессингу, т.е. к комплексу мероприятий, проводимых перед вычислением смещений в узлах триангуляционной сети. Это потребовало разработку различного рода сеточных генераторов для

автоматического формирования триангуляционной сети и интерактивных графических редакторов [143-145].

При вычислении параметров геомеханического взаимодействия секции механизированной крепи с углепородным массивом использовалась упруго-пластичная модель напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Адаптация модуля решения была направлена, кроме того, на использование алгоритма накопления деструктивных изменений в породах, напряжения в которых превысили порог их прочности.

При разработке программных средств применялись динамические структуры данных, использование которых, снимает с пользователя дополнительные проблемы, связанные с разбиением и подкачкой данных.

В основу выбора инструментальной системы была положена парадигма объектно-ориентированного проектирования с использованием средств быстрой разработки программ и визуального программирования [146 - 149].

Данный блок содержит в себе большое количество различных компьютерных программ для реализации самого метода, включающий в себя:

Препроцессор – программа производит дискретизацию области исследований на конечные элементы. Область исследований разбивается воображаемыми линиями или поверхностями на огромное количество конечных элементов, связанных между собой в конечном числе узловых точек. Узловые точки при этом должны располагаться на линиях раздела породных слоев, на контуре выработанного пространства, на контурах деталей секции механизированной крепи и внутри указанных участков. В рамках работы программы осуществляется препроцессинг геопространственных данных о состоянии горных пород.

Расчетная часть – программа расчета смещений в узлах триангуляционной сети и напряжений в конечных элементах.

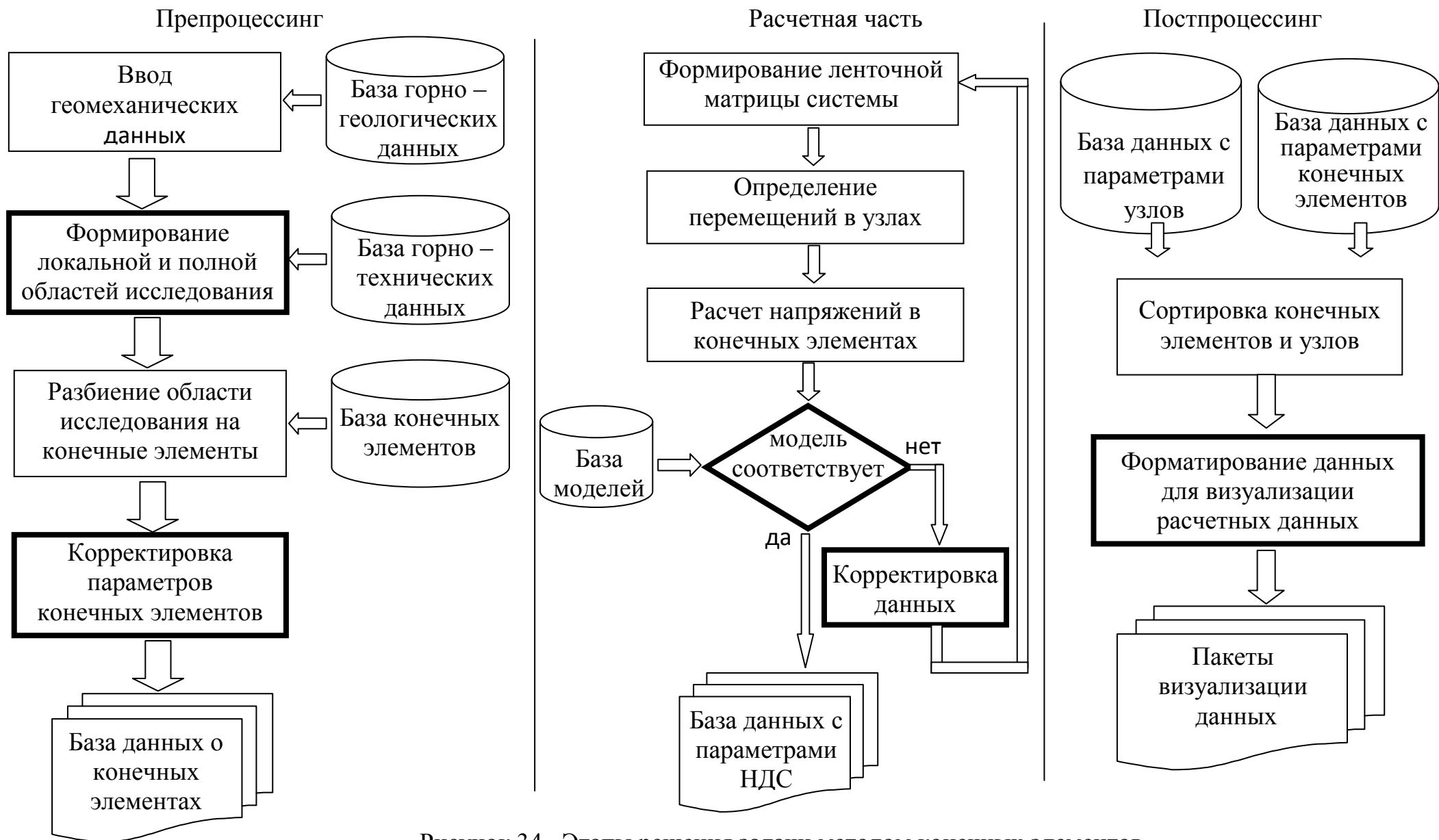


Рисунок 34. Этапы решения задачи методом конечных элементов

Постпроцессор – программа преобразования полученных данных для их дальнейшего использования в специализированных пакетах, таких как Excel, MatCad, Surfer и т.п. В этом разделе разработаны программы формирования соответствующей структуры данных.

Этапы решения задачи методом конечных элементов представлены на рисунке 34.

3.4. Разработка методов визуализации результатов моделирования

Визуализация данных - это наглядное представление больших массивов числовой и другой информации, которое представляется возможным благодаря использованию компьютерной графики. Продукты визуализации данных могут легко интегрироваться в информационные системы и системы поддержки принятия решений. Система визуализации данных играет важную роль для программного обеспечения ГИС. Проектированию этой системы, наряду с проектированием системы хранения и редактирования данных, обычно уделяется наибольшее значение [150].

В процессе визуализации пространственных данных, актуальных для угледобывающей отрасли существует ряд проблем. В первую очередь стоит отметить то, что большинство карт являются тематическими, что подразумевает вариативность их возможностей, назначения и интерактивность. Каждая из тематических карт является уникальной и служит для строго определённого круга задач. Например, тематическая карта угольного месторождения представляет собой трёхмерную модель углепородного массива. Обычными возможностями такой карты является работа со слоями, получение атрибутивных характеристик и геологических срезов. Такой набор операций не соответствует возможностям работы с типовой электронной картой. Следует отметить и необходимость создания гибридных карт, на

которых располагаются, растровые объекты, векторные объекты и сложные по структуре тематические составляющие. [151]

Таким образом, система электронного картографирования для ГИС угледобывающих предприятий должна отвечать следующим требованиям:

- Поддержка основных цветовых моделей данных (RGB, HSV, CMYK).
- Поддержка работы с базовыми формами представления графических данных (растровые и векторные форматы).
- Создание тематических карт (размеры, шахты, район добычи полезных ископаемых).

При выдаче информации пользователю основным технологическим процессом является графическое моделирование. Методы моделирования графики должны быть инвариантны к структуре графической базы данных и техническим средствам. Элементы алгебраической теории автоматных моделей, синтеза типовых конструктивных моделей упрощают процесс получения сложных графических изображений [152].

В ряде ГИС возникает необходимость графического моделирования сложных трехмерных объектов. При графическом моделировании объект сложной формы целесообразно представлять в виде совокупности модулей информационной и программной среды. Для этого массивы данных, описывающие процесс взаимодействия углепородного массива с очистным комплексом, представлены в виде напряжений в конечных элементах и смещений в узлах статически накапливаются в хранилище данных. На рисунке 35 представлена модель базы данных для хранения полученных результатов.

Наиболее главным преимуществом ГИС перед другими системами является наиболее естественное (для человека) представление как собственно пространственной информации, так и любой другой информации, имеющей отношение к объектам, расположенным в пространстве (например, атрибутивной информации). Пространством можно называть не только трехмерное пространство, в котором мы существуем, но и любое абстрактное

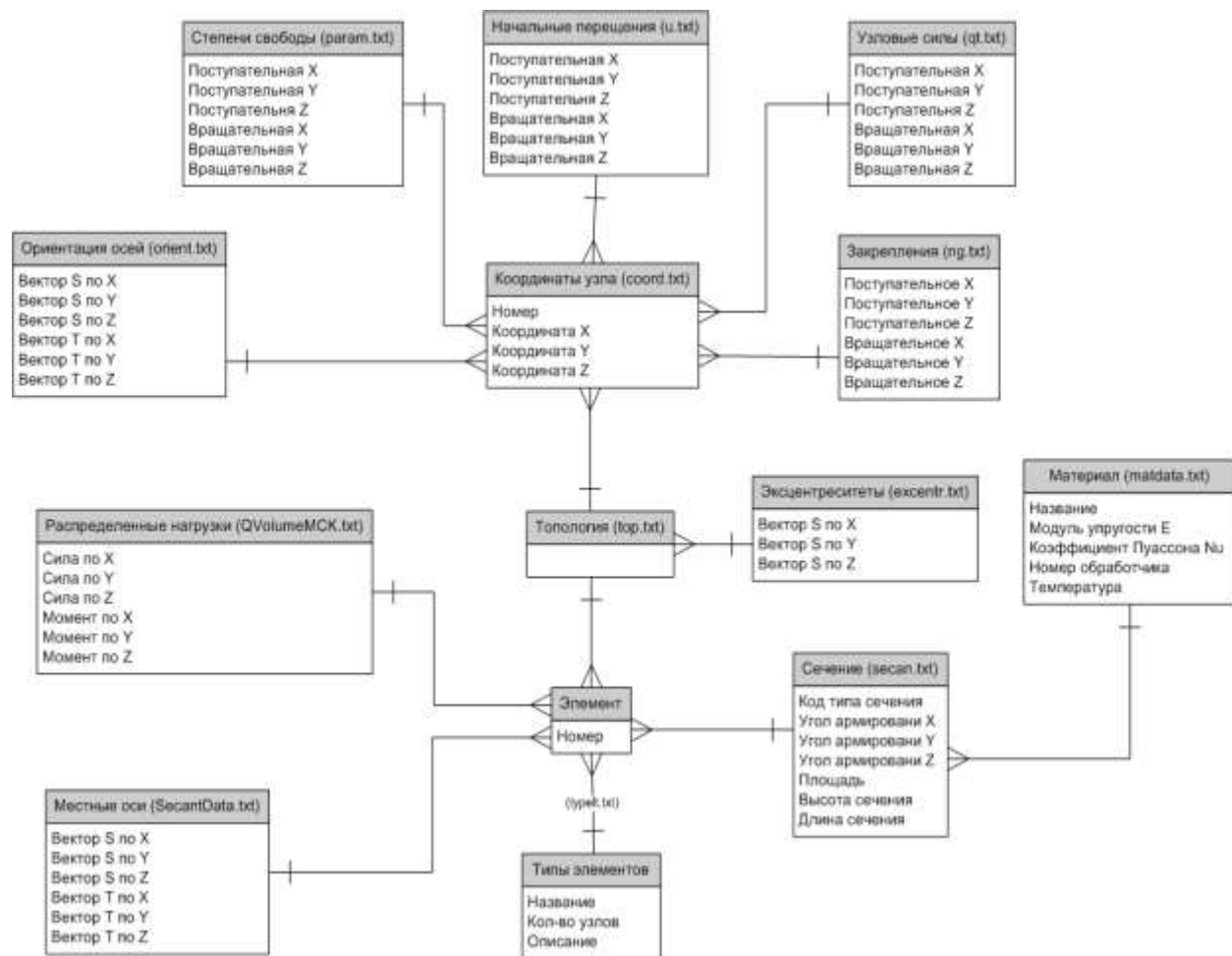


Рисунок 35. Модель базы данных для расчета напряжений породном массиве

пространство произвольной размерности. Это свойство ГИС является определяющим для использования предлагаемого подхода визуализации данных, поскольку основное качество ГИС - это наглядность. Кроме того, современные ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа. Отображение в готовых ГИС произвольных данных позволяет подключить для визуализации и анализа весь накопленный арсенал средств обработки пространственной информации.

Технология OLAP позволяет соотнести разнородные данные, предоставив пользователю полную картину безопасности в выбранном секторе. Единственная проблема, которая возникает при сравнении и отображении показателей различных факторов заключается в несоотносимых единицах измерения. Для решения этой проблемы было принято решения на уровне

СУБД организовать механизмы перехода от абсолютных шкал к относительным. Это поможет не только позволит оценить степень опасности каждого сектора, но и выявить доминирующие факторы. Механизм анализа DataMining позволяет кластеризовать факторы, выделяя группы факторов, совместно влияющих на общий уровень безопасности в исследуемом секторе, а также изучить динамику изменения состояния этого сектора и составить предположительный прогноз.

Распространенное заблуждение заключается в том, что OLAP имеет исключительно таблично-текстовую форму представления. На рисунке 36 показан один из способов визуализации полученных результатов по технологии OLAP, представленной в виде анаморфозного изображения. В данном методе отображения результатов, дискреты представляют собой прямоугольные «плиты», а значение их атрибутивной характеристики представлено геометрической высотой.

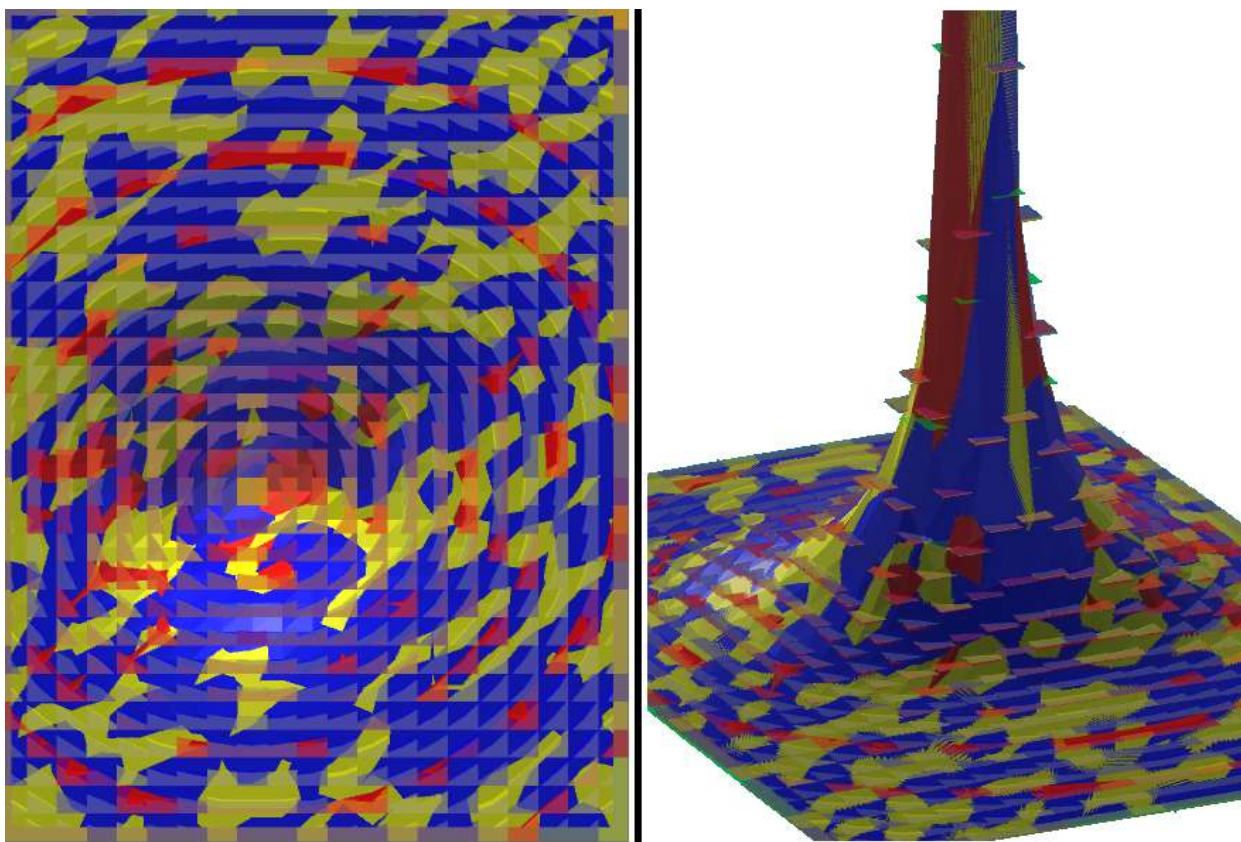


Рисунок 36. Визуализация OLAP в виде анаморфозного изображения.

Каждый атрибут обозначен отдельным цветом – синим, красным или желтым. Дополнительно была проведена процедура кластеризации, с помощью которой были сформированы непрерывные зоны «доминирования» атрибута в определенном пространственном секторе.

Данные, которые можно картографировать могут быть любые. Отсюда следует, что если данные можно представить в таблице, то они могут быть картографированы. А такой информации большинство.

Чаще всего данные должны быть предварительно нормированы (обезразмерены) - переходом в каждом столбце таблицы к "естественной" единице измерения. Обычно нормировка производится на единичное среднеквадратичное отклонение в столбцах или на единичный разброс данных в каждом столбце (если нет каких-либо специфических ограничений, связанных со смыслом задачи). Графически облака данных представляются точками на одной из координатных плоскостей базового пространства.

Многомерное облако данных. Многообразия это построенные в этом облаке поверхности малой размерности, приближающие его. Некоторое представление может дать описание самоорганизующейся карты (Self-Organizing Map . SOM). В 1982 году финский ученый Тойво Кохонен [153] предложил ввести в базовое правило обучения нейросети информацию о пространстве. Построение топографических карт (карт Кохонена) является методом, дающим оптимальное представление информации в виде координат двумерной сети. В многомерное пространство данных погружается двумерная сетка. Эта сетка изменяет свою форму таким образом, чтобы по возможности точнее аппроксимировать облако данных. Каждой точке данных ставится в соответствие ближайший к ней узел сетки. Таким образом, каждая точка данных получает некоторую координату на сетке.[154]

Такое отображение локально непрерывно: близким точкам на карте соответствуют близкие точки в исходном пространстве (обратное, вообще говоря, не верно: близким точкам в исходном пространстве могут

соответствовать далекие точки на карте). Таким образом, распределение данных на двумерной карте позволяет судить о локальной структуре многомерных данных.

Такая топографическая самоорганизующаяся карта дает наглядное представление о структуре данных в многомерном входном пространстве, геометрию которого мы не в состоянии представить себе иным способом. Визуализация многомерной информации является главным применением SOM. Достоинства SOM начинают проявляться после нанесения на нее какой-либо графической информации. Различные раскраски топографической карты являются удобным средством для выявления взаимосвязей различных факторов. В принципе, любая характеристика порождает свою раскраску карты. Вместе подобные раскраски дают исчерпывающую и наглядную картину. Здесь имеется полная аналогия с географическими картами различных типов на одной и той же географической сетке, которые в совокупности дают полное представление о данной местности.[154]

При построении многообразий можно пользоваться классическим методом главных компонент. Для определенности возьмем двумерный случай. При этом плоскости над данными строятся по двум главным компонентам. Также построения могут вестись по комбинациям пар компонент, получающимся в результате дальнейшей обработки. Предложенная технология моделирует данные многообразиями (линейными и нелинейными) малой размерности. Для построения многообразий используется линейный метод главных компонент, квазилинейный метод, надстраиваемый над линейным и использующий его результаты, существенно нелинейный метод, построенный с помощью формализма самоорганизующихся кривых [155].

При необходимости используется и метод построения упругой карты, моделирующей данные [156].

Интерполяция и прогнозное картирование. Задача интерполяции пространственно распределенных данных сводится к задаче построения

функции по конечному набору значений и как следствие к задаче заполнения пробелов. Её целью является -извлечение максимума информации из набора данных, учитывая возможные ошибки измерений, неравномерную плотность сетки мониторинга, и прочие помехи, встречающиеся при реальных измерениях. Данные по напряженно – деформированному состоянию углепородного массива при ведении очистных работ обладают неоднородностью как на крупных, так и на мелких масштабах, что затрудняет анализ. Нейросетевая обработка обладает рядом преимуществ перед детерминистическими моделями.

Временной анализ растровых изображений. В качестве таких изображений в ГИС, предлагаемой нами, выступают массивы данных являющиеся результатами расчета геомеханического взаимодействия механизированного забоя с вмещающимися породами. Преимущество таких данных заключается в их актуальности и достоверности, поэтому часто встречающийся вид анализа в этой группе - временной. Сравниваются и ищутся различия между расчетами различной давности, таким образом, оценивается динамика произошедших изменений. Не менее часто анализируются пространственные взаимосвязи двух или нескольких явлений.

Анализ временных рядов содержит комплекс задач, которые сводятся к построению функций по конечным наборам значений и заполнению пробелов в таблицах. Временные ряды представляют собой специальный вид таблиц и заслуживают отдельного рассмотрения. Для каждого типа объектов выделяется набор постоянных признаков (констант) и множество свойств, меняющихся со временем (переменных признаков). Предполагается, что в любой момент времени для каждого объекта существуют свои значения переменных признаков. К задачам, специфичные для обработки временных рядов, можно отнести:

а) определение констант (всех или части) по известным значениям переменных в разные моменты времени;

б) предсказание значений части переменных в некоторый момент времени по известным значениям констант, переменных в нескольких предшествовавших моментах времени и части переменных в текущий момент;

в) определение объема данных о прошлом, достаточных для предсказания, будущего на конкретное время и с заданной точностью.

Задача при временном анализе это получение прогноза. Решение такой задачи немногим отличается от решения задачи по восполнению пробелов в слое на основе данных, имеющих в других слоях. Единственное концептуальное отличие состоит в том, что слои вместо разных пространственных признаков содержат изменения во времени одного и того же слоя.

Экстраполяция и интерполяция получаемых зависимостей производится линейно и с помощью формул Карлемана. Метод решает следующие задачи:

- 1) заполнение пробелов в данных;
- 2) ремонт данных . корректировка значений исходных данных так, чтобы наилучшим образом работали построенные модели;
- 3) построение вычислителя, заполняющего пробелы в поступающей на вход строке данных (в предположении, что данные в ней связаны теми же соотношениями, что и в исходной таблице).

Следовательно, многообразиями малой размерности могут быть в простейшем случае прямые, ломаные и надстройки над ними типа кривых и более сложные плоскости, пленки и упругие карты. Эти объекты располагаются в облаке данных, аппроксимируя их. Необходимо понимать, что вряд ли будет одно универсальное многообразие, поскольку решаемая задача в каждом конкретном случае накладывает условия на приближение. Поэтому их может быть несколько для одного и того же набора данных, и они могут составлять даже сообщества многообразий.

Инструментальные средства визуализации результатов. В результате проведенного математического исследования пользователи получают большие массивы данных напряжений и деформаций. Из этих массивов необходимо достаточно часто извлекать данные о конкретных локальных областях,

систематизировать их по требуемым параметрам и отображать в графической форме. Это требует, с одной стороны, разработку средств навигации, а с другой стороны, разработку средств деловой графики. Программы, решающие указанные задачи, представляют собой специализированные браузеры. Такая программа позволяет с помощью щелчка мыши выбирать интересующие исследователя узлы или конечные элементы. Для выбранных узлов или элементов можно вывести те или иные параметры, полученные в результате расчетов. Результаты исследования могут быть представлены в виде полей напряжений или смещений в исследуемом угленосном массиве или в виде графиков как в специализированных редакторах, так и в коммерческих приложениях.

Разместив полученные результаты на электронной карте ведения выемочных работ, можно осуществить их координатную привязку. Это позволит рассматривать влияние процесса добычи угля в системе взаимодействия объектов с геопространственными характеристиками. На основании полученных данных, можно будет осуществлять прогноз опасных участков при выемке полезных ископаемых, и оценить целесообразность ведения горных работ.

3.6. Выводы по главе

При создании региональной ГИС были выработаны концептуальные требования и разработана структура геоинформационной системы для оценки целесообразности и мониторинга ведения горных работ. Такая геоинформационная система должна включать в себя следующий набор подсистем, представленных в виде программных модулей:

1. Электронный атлас ведения горных работ;
2. Подсистема формирования базы геологоразведочных данных;
3. Графический редактор объектов электронных карт;
4. База данных горношахтного оборудования;

5. Подсистема моделирования напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя;
6. Инструментальные средства визуализации результатов моделирования.

Для обеспечения интеграции с существующими ИС предприятий компонентная модель разрабатываемой программной системы учитывает реализацию соответствующих внешних интерфейсов сторонних приложений. Набор электронных карт служит только для визуализации полученных результатов. Программный каркас подключается к общей модели ГИС как библиотека. В зависимости от типа приложения, платформы и применяемых технологий некоторые элементы программной системы и интерфейсы могут быть иными, однако концепция останется прежней.

Для анализа и преобразования данных использовать технологии OLAP и DataMinig. Это поможет увеличить продуктивность работы программ, разгрузив клиентские машины от избыточного объема данных и вычислительных операций.

Качество прогноза геомеханического взаимодействия механизированных крепей циклически движущихся очистных забоев угольных шахт с углепородным массивом можно существенно улучшить, если при имитации движения КМЗ учитывать предшествующее состояние и прогрессирующую дезинтеграцию горных пород в зоне техногенного воздействия, что позволит получить более достоверные результаты.

4 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КУЗБАССКОМУ УГЛЕНОСНОМУ БАССЕЙНУ

4.1 Объектная декомпозиция структуры тематической электронной карты для Кузбасского региона

Кузнецкий угольный бассейн входит в список крупнейших угольных месторождений мира и имеет высокий уровень развития угольной промышленности. На данный момент, в бассейне работают 56 угольных шахт и 36 угольных разрезов [157]. Следовательно, велика концентрация угледобывающих предприятий и связанных с ними технологических и природных объектов. Контроль влияния таких объектов на состояние углепородного массива, а также контроль над процессом добычи полезных ископаемых предлагается осуществлять с использованием тематических электронных карт. Такой подход позволит учитывать пространственно-атрибутивную привязку значимых объектов при обработке оперативной информации и осуществлении мониторинга состояния экологической ситуации в зоне ответственности угледобывающих предприятий, что, в свою очередь, позволяет получать более точные результаты расчётов и осуществлять информационную поддержку при ведении горных работ.

Объектная декомпозиция задач включает в себя следующие сущности:

1. Электронная карта
2. Объект электронной карты
3. Взаимодействия объектов

Согласно проведённому анализу, результаты которого представлены в таблице 4, карта может быть техносферного или геоэкологического типов. В первом случае, тематическая карта моделирует взаимодействие техногенных объектов угледобывающих предприятий между собой.

Типы и характеристика электронных карт

Тип карты	Характеристика	Тип объектов	Подтипы
Тематическая	интерактивность учёт взаимодействия объектов работа со спец. объектами	специализированные объекты угледобывающей промышленности	техносферная геоэкологическая
Ландшафтная карта	учёт влияния ландшафта на деятельность предприятия	естественные объекты ландшафта	
Топографическая	препроцессинг исходных данных	геологоразведочные скважины пробы почв	
Географическая	создание слоёв	спутниковые фотоснимки	

При этом появляется возможность проанализировать пространственное расположение явлений и объектов, их количественные и качественные характеристики при помощи карты. Карта геоэкологического типа позволяет учитывать влияние естественных и искусственных объектов на показатели напряженно – деформированного состояния углепородного массива.

В зависимости от типа разработки, объекты электронных карт делятся на объекты горного предприятия, представленные в виде разрезов и шахт. По происхождению такие объекты могут быть поделены на естественные и искусственные. (Таблица 5) Примером искусственных объектов шахт являются штореки, ходки, здания, стволы, выработанные пространства, системы вентиляции и так далее. Для карьеров это борт карьера, горный отвод, добычный уступ и т.п. Под объектами естественного происхождения понимаются лесные, горные и водные массивы, оказывающие влияние на процесс добычи полезных ископаемых.

В отдельные классы объектов электронных карт целесообразно выделить горношахтное оборудование и составляющие инфраструктуры.

Таблица 5

Типы карт и характеристики объектов

Тип объекта	Тип карты	Характеристика
Естественный	все карты	объект естественного происхождения
Искусственный	все карты	объект искусственного происхождения
Объект шахт	тематические, топографические	штреки, ходки, здания стволов
Объект разрезов	тематические, топографические	борт карьера, горный отвод, добычный уступ
Объекты инфраструктуры	тематические, географические	дороги, вспомогательные здания, пункты контроля
Горношахтное оборудование	тематические, топографические	крепи, комбайны, экскаваторы, транспортерные ленты, автомашины

Таблица 6

Типы создаваемых объектов на электронной карте

	Естественный	Искусственный	Объект шахт	Объект разрезов	Объекты инфраструктуры	Горношахтное оборудование
Естественный	-	++	+	+	+++	+
Искусственный	++	-	+++	+++	+++	+++
Объект шахт	++	+++	-	-	++	+++
Объект разрезов	++	+++	-	-	++	+++
Объекты инфраструктуры	+	+++	++	++	-	++
Горношахтное оборудование	+++	+++	+++	+++	++	-

К горнодобывающему оборудованию относятся механизированные крепи крепи, транспортерные ленты, экскаваторы, автомашины, погрузчики и т.д. Инфраструктурные составляющие включают в себя дороги, вспомогательные строения, пункты контроля и так далее.

Класс взаимодействия объектов регламентируется их типом и типом электронной карты. (Таблица 6) Для каждой группы объектов необходим жестко регламентированный инвариант. Например, выброс вредных веществ имеет характеристику класса опасности и площади распространения. Он подвержен влиянию погодных условий и может суммироваться с другими выбросами в зависимости от их типа. Однако, поверхностный выброс вредных веществ никак не влияет на проведения подземных работ, следовательно данное влияние не учитывается.

Таким образом, иерархическая структура объектной декомпозиции на высшем уровне детализации примет вид представленный на рисунке 37.

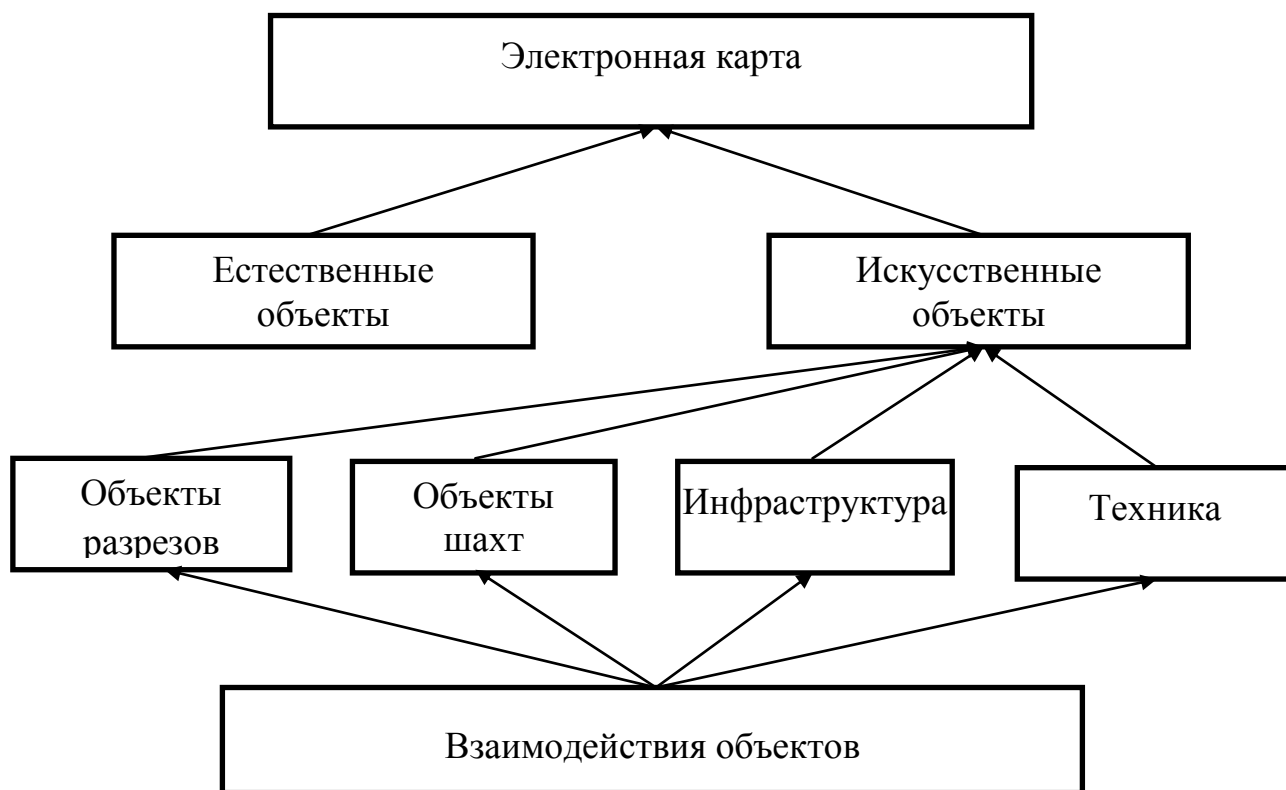


Рисунок 37. Общий вид объектной декомпозиции структуры электронной карты

Типовым решением для формализации требований является составление спецификаций и диаграмм. В случае СПО ГИС необходимо учитывать три различных набора функций. Следовательно, на этапе анализа предметной области должно быть составлено как минимум три спецификации, включающие в себя описание функций, характерных для рассматриваемой предметной области. Данные спецификации входят в состав общей спецификации требований к ПО. Структура спецификации может быть произвольной, однако, рекомендуется придерживаться стандарта IEEE 830, который наиболее полно описывает все необходимые пункты спецификации [158].

В качестве примера рассмотрим спецификацию функции для вычисления площади пересечения двух зон напряженно-деформированного состояния углепородного массива, с учётом внешних источников и возможность определения класса новой зоны повышенного давления (Таблица 7). Данная спецификация не предполагает описание технической стороны процесса реализации программной системы.

После описания всех функций, целесообразно снова выполнить этап конфигурирования и оценки эффективности. Зачастую полученные после проведения тщательного анализа предметной области требования и

Таблица 7

Пример спецификации функционального наполнения СПО ГИС

Класс функций – Специализированные функции				
№	Назначение	Входные параметры	Результат	Примечания
1	Выявление зоны повышенной опасности	N зон НДС с произвольными координатами и типом породного массива	Список всех возможных пересечений зон повышенного давления с вычислением НДС на основе исходных данных	Учитывать факторы: Тип механизированной крепи и изменение геометрии выработанного пространства

функциональный состав системы могут сильно отличаться от первоначального варианта. Повторная адаптация методики позволит более точно настроить её для разработки СПО ГИС актуальной предметной области.

После уточнения спецификации и повторного конфигурирования методики предварительно определяется модель жизненного цикла программного средства. Учитывая тот факт, что для разработки СПО ГИС наиболее целесообразным является применение гибких методологий разработки, рассмотрим соответствующую модель жизненного цикла.

Введение этапа выбора технологий до этапа адаптации обобщённых моделей, позволяет в полной мере использовать преимущества концепции предметно-ориентированного проектирования (DDD) [159]. В рамках данной концепции технологии реализации оказывают влияние на архитектурные особенности программной системы. Например, при обработке статистических данных, архитектура подразумевает использование средств подобных GRASSGIS, что выражается в проектировании соответствующих интерфейсов для подключения компонентов сторонних разработчиков.

Следующим этапом подготовки является адаптация концептуальной модели, предложенной в главе 2, к разрабатываемой программной системе. Взятая за основу концептуальная модель предполагает эффективное разделение системы на слои, однако её адаптация должна быть более наглядной и детализированной в плане функциональных подсистем. Для описания такой модели в графической нотации предполагается использовать соответствующие средства для графического представления систем и подсистем языка UML [160, 161].

Рассмотрим наиболее общий вариант построения программной системы ГИС (Рисунок 38). На схеме представлены три подсистемы СПО ГИС.

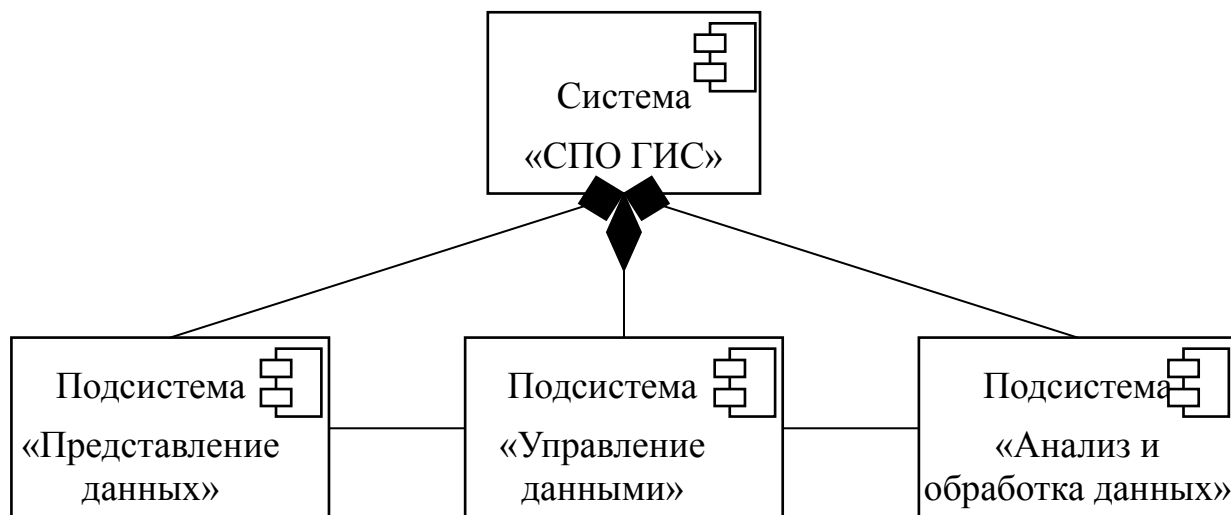


Рисунок 38. Базовые подсистемы СПО ГИС.

Подсистема «Представление данных» отвечает за графическую визуализацию тематических электронных карт и специализированных объектов. Типовые и специальные операции для работы с источниками данных входят в состав подсистемы «Управление данными». Основная функциональность ГИС реализована в рамках подсистемы «Анализ и обработка данных».

Следующим шагом после построения общей диаграммы является детализация подсистем. Рассмотрим схему, детализирующую подсистему анализа и обработки данных некоторой программной системы СПО ГИС представленной на рисунке 39).

В приведённом примере, подсистема «Анализ и обработка данных» рассматривается как система. Это связано с тем, что данная подсистема находится на самом высоком уровне в представленной иерархии.

Рассматриваемая система состоит из трёх подсистем. Вспомогательные типовые функции обработки данных содержатся в подсистеме «Общие функции». Специализированные функции обработки пространственных данных ГИС инкапсулированы в подсистеме «Специализированные функции ГИС». В рассматриваемом примере представлена дальнейшая детализация данной подсистемы, до выделения подсистемы «Оверлейных операций».

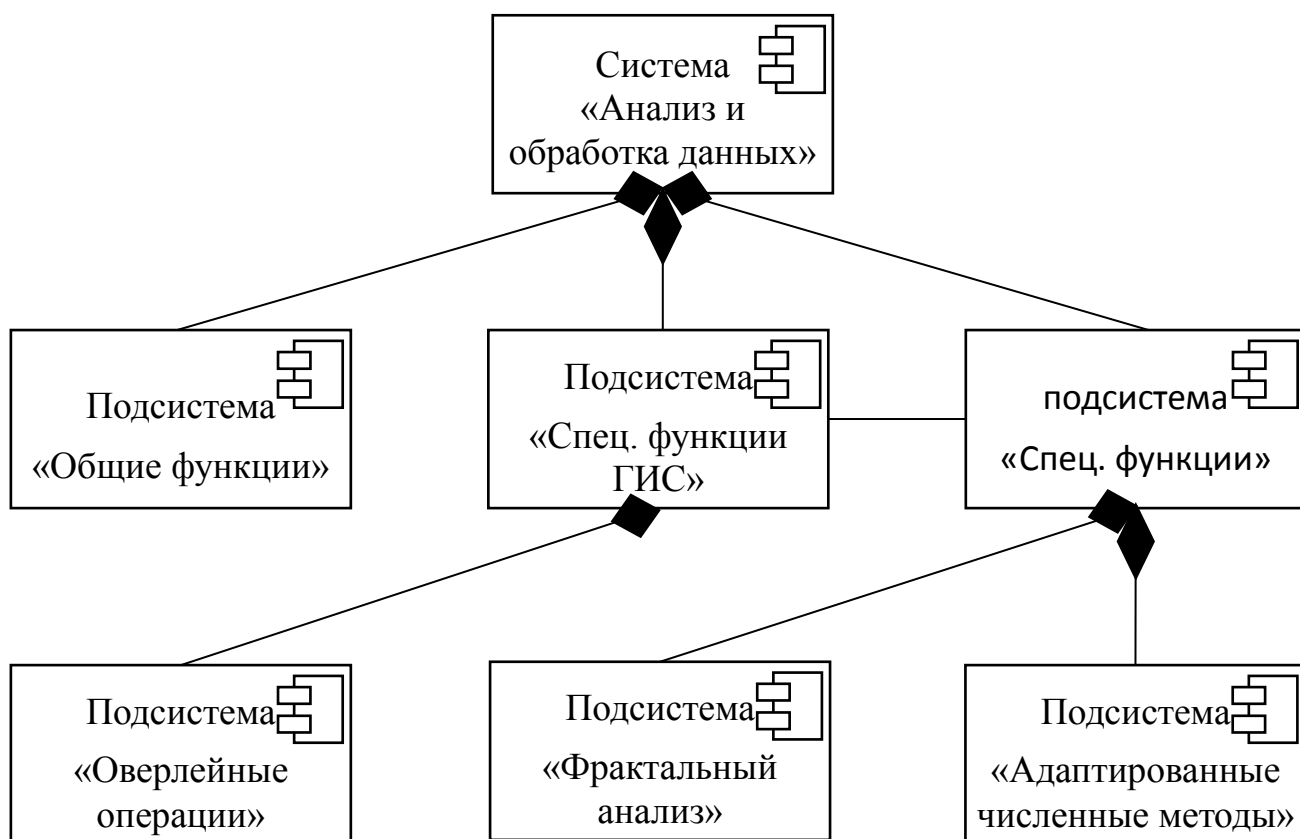


Рисунок 39. Система анализа и обработки данных.

Специальное функциональное наполнение, характерное для выбранной предметной области, реализуется в соответствующей подсистеме. В рамках рассматриваемого примера, данная подсистема состоит из двух подсистем реализующих методы фрактального анализа и адаптированные численные методы.

Стоит отметить, что функциональность, представленную относительно малым количеством компонентов и связей относительно основного программного продукта, выносить в отдельную подсистему не рекомендуется. Например, если программная система состоит из ста различных функций, то выделять в подсистему функциональность, реализуемую одной функций не целесообразно. Однако двадцать функций, реализующих сходную функциональность, уже могут быть выделены в подсистему.

Важным является тот факт, что система включает в себя все узлы, артефакты, классы, документацию и так далее, а подсистемы являются слабо зависящими друг от друга компонентами, реализующими определённую функциональность. В рассмотренных примерах показана простая зависимость некоторых подсистем между собой, однако, при необходимости, можно моделировать и более сложные типы связей. При этом следует стремиться к максимальной внутренней связанности подсистем и к минимальной внешней связанности компонентов системы.

Таким образом, построение концептуальной модели СПО ГИС позволяет определить общую структуру программной системы. Проведение декомпозиции позволяет уточнить внутренне строение значимых подсистем и сгруппировать сходные по функциональности компоненты.

После выделения основных подсистем строится компонентная модель, основанная на предложенном в главе 2 общем решении. В зависимости от требуемых подсистем и их структурных составляющих предложенная компонентная модель может быть изменена. В дальнейшем производится детализация отдельных компонентов путём построения диаграммы классов.

При построении диаграммы классов целесообразно проектировать отдельные части систем в виде различных диаграмм. Если на одной диаграмме классов изобразить несколько подсистем, то она будет выглядеть громоздкой и малоинформативной. Стоит отметить, что построение большей части системы на одной диаграмме усложнит последующую реализацию.

В качестве примера рассмотрим часть СПО ГИС, предметной областью которого является моделирование разрабатываемого угледобывающим предприятием месторождения полезных ископаемых. Неотъемлемой частью подобных приложений является работа с геологоразведочными данными (Ошибка! Источник ссылки не найден.40).

Каждый замер имеет определённые координаты. Предположим, что некоторый модуль программы обрабатывает данные по разработке угольных

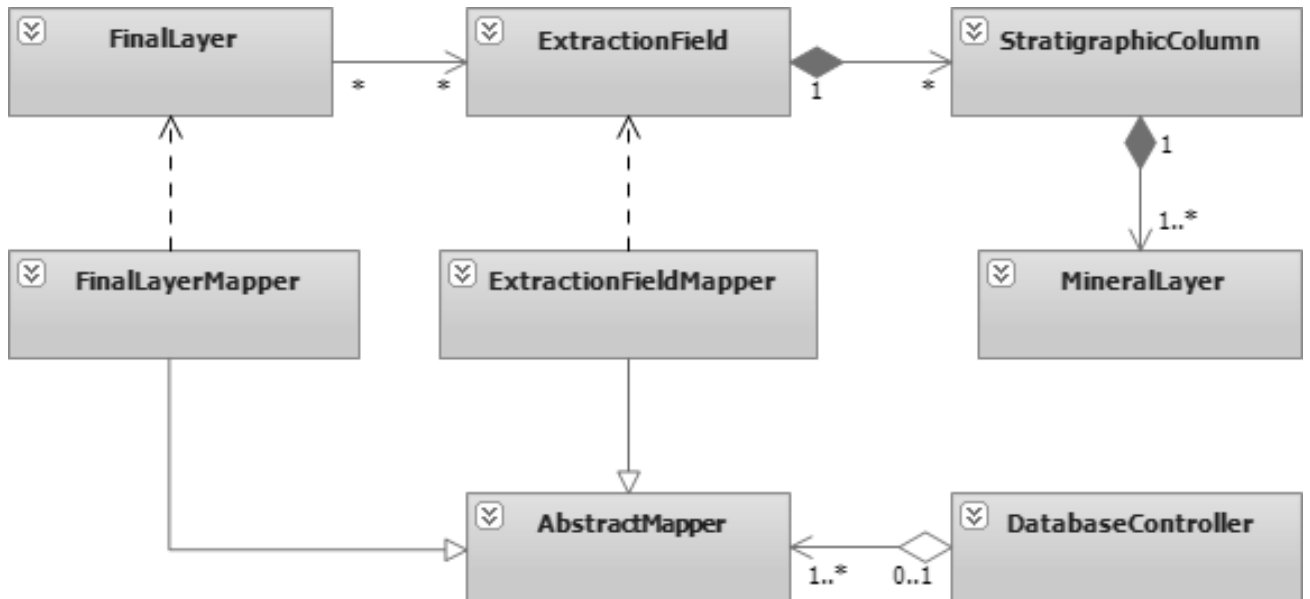


Рисунок 40. Диаграмма классов системы преобразования данных СПО ГИС моделирования месторождения полезных ископаемых

пластов. В этом случае, требуется дополнительные объекты для полей разработки и слоёв полезных ископаемых. К тому же, в базе данных должны содержаться данные как по уже построенным слоям, так и по первичным замерам. Таким образом, необходимо реализовать преобразование объектов к таблицам базы данных и обратно. Из диаграммы классов видно, что приведение к формату базы данных осуществляется на основе типового решения «Преобразователь данных».

После детальной проработки архитектуры следует этап выбора технологических решений. Наиболее важными из технологических решений, перечисленных в главе 1, являются программный каркас и системы работы с источниками пространственных данных. На данном этапе, опционально может осуществляться выбор средств разработки, таких как среда разработки, система контроля версий, система разработки тестов и т.п.

Выбор программного каркаса определяется многими факторами. В первую очередь оценивается доступность программного каркаса для

разработчиков. Если речь идёт о собственной разработке для создания ГИС, то необходимо уточнить, удовлетворяет ли данное решение заказчика. При выборе коммерческого каркаса необходимо сопоставлять стоимость разработки со стоимостью коммерческого программного решения, а также учесть возможную потерю гибкости. Используя свободное программное обеспечение ГИС[162] необходимо учитывать его сильные и слабые стороны. Например, программные каркасы на основе Qt предоставляют расширенные функции по работе со сложными графическими объектами.

Работа с типовыми источниками пространственных данных обычно осуществляется посредством распространённых свободных библиотек или же средствами программного каркаса. Однако следует отметить, что при использовании NoSQL источников данных или необходимости преобразования электронных классификаторов к стандартным форматам, может потребоваться разработка собственных технических средств. Если планируется работа с электронными картами удалённого источника, то целесообразно разработать дополнительные средства для их получения и сохранения, а также проработать вопросы безопасности.

По завершению этапа подготовки выполняется алгоритм адаптации и, при необходимости, уточняется оценка продолжительности разработки. Данный этап является наиболее значимым для основного жизненного цикла разработки программной системы. Это связано в первую очередь с детализацией архитектуры и выбором технических средства, что способствует созданию ограничений базовой модели жизненного цикла и конфигурированию её в соответствии со спецификой разрабатываемого приложения. Повторение этапа адаптации и оценки после данного этапа позволит наиболее точно оценить эффективность реализации по значимому критерию (например, по времени выполнения). Такая возможность появляется благодаря наиболее полной детализации компонентов системы, детальному проектированию и выбору технических средств.

4.2. Расширение функциональности электронного картографирования.

В соответствии с целями и задачами создания картографического материала определяется модель карты. Выделяют три основных элемента модели. Первый элемент модели необходим для осуществления пространственной привязки объектов электронных карт. Он представлен в виде не имеющей визуального отображения координатной сетки и системы преобразований координат.

Второй элемент представляет собой перечень слоев, в котором слои группируются по тем или иным критериям (значимости, назначению, тематике). Среди основных слоев выделяются группы: векторные слои топографической основы; векторные тематические слои; растровые слои; слои с текстовыми элементами, а также вспомогательные слои.

Третий элемент модели – графические объекты каждого слоя. Определяется тип графического объекта, выполняется классификация графических объектов по степени их значимости на карте.

Основным графическим объектам присваиваются названия и уникальные идентификаторы, определяющие их принадлежность к определенному слою или к нескольким слоям сразу. В процессе работ отслеживается корректная топология между классами объектов, прописываются правила проверки правильности взаимоотношения между простыми и составными объектами. Разрабатывается перечень атрибутов графических объектов каждого слоя в проектируемой карте, определяется место размещения атрибутов в атрибутивных таблицах графических объектов, а также определяются тип и вид легенды слоев с изображением распределения атрибутов графических объектов.

Создание атрибутивных таблиц и слоев с графическими объектами определяет назначение тематического картографирования, выполнение которого заключается в отображении отдельных классов графических объектов (точечных, линейных, замкнутых полигональных) графическими переменными,

отображающими количественные значения и качественные характеристики атрибутов. Каждый объект отображается графической переменной, соответствующей классу.

Разработана структура электронной карты (рисунок 41) и диаграмма классов. Ведутся работы по реализации электронного атласа. В данной реализации применение компонентов сторонних разработчиков не планируется.

Структура электронной карты состоит из следующих частей:

1) Классификатор (файл ресурсов). Содержит общее описание слоев, объектов, условных знаков и правил отображения объектов. Объекты группируются в слои по определенному признаку (например: водные ресурсы можно сгруппировать в слой «Гидрография»). Классификатор также содержит информацию о названии карты, типе карты (топографическая, обзорная, планы городов и так далее), используемых цветовых моделях и масштабе.

2) Район работ (атлас). Атлас содержит данные о количестве листов, из которых состоит карта и некоторые правила отображения. Листы должны быть с одинаковым масштабом и системой координат. Это позволяет отображать атлас как единое целое и динамически масштабировать его, но, при этом каждый лист можно будет перерисовывать, не затрагивая остальную карту.

«Электронный атлас» является базовым модулем для подготовки электронных картографических изображений в растровом формате. Такие изображения являются подложкой (нулевым слоем), играющим ключевую роль в концепции слоев, на которой основываются большинство современных GIS. В зависимости от подложки может быть выбран тип карты: топографические (1 : 200 000), обзорно-топографические (мельче 1 : 200 000 до 1: 1 000 000 включительно), обзорные (мельче 1: 1 000 000). Для специализированной GIS, предметной областью которой является угольная промышленность, в большинстве случаев допустимо использование топографических карт. Обзорная карта может быть использована в качестве базового изображения для

перемещения по административным единицам, а обзорно-топографическая представлять собой схематичное изображение района работ.

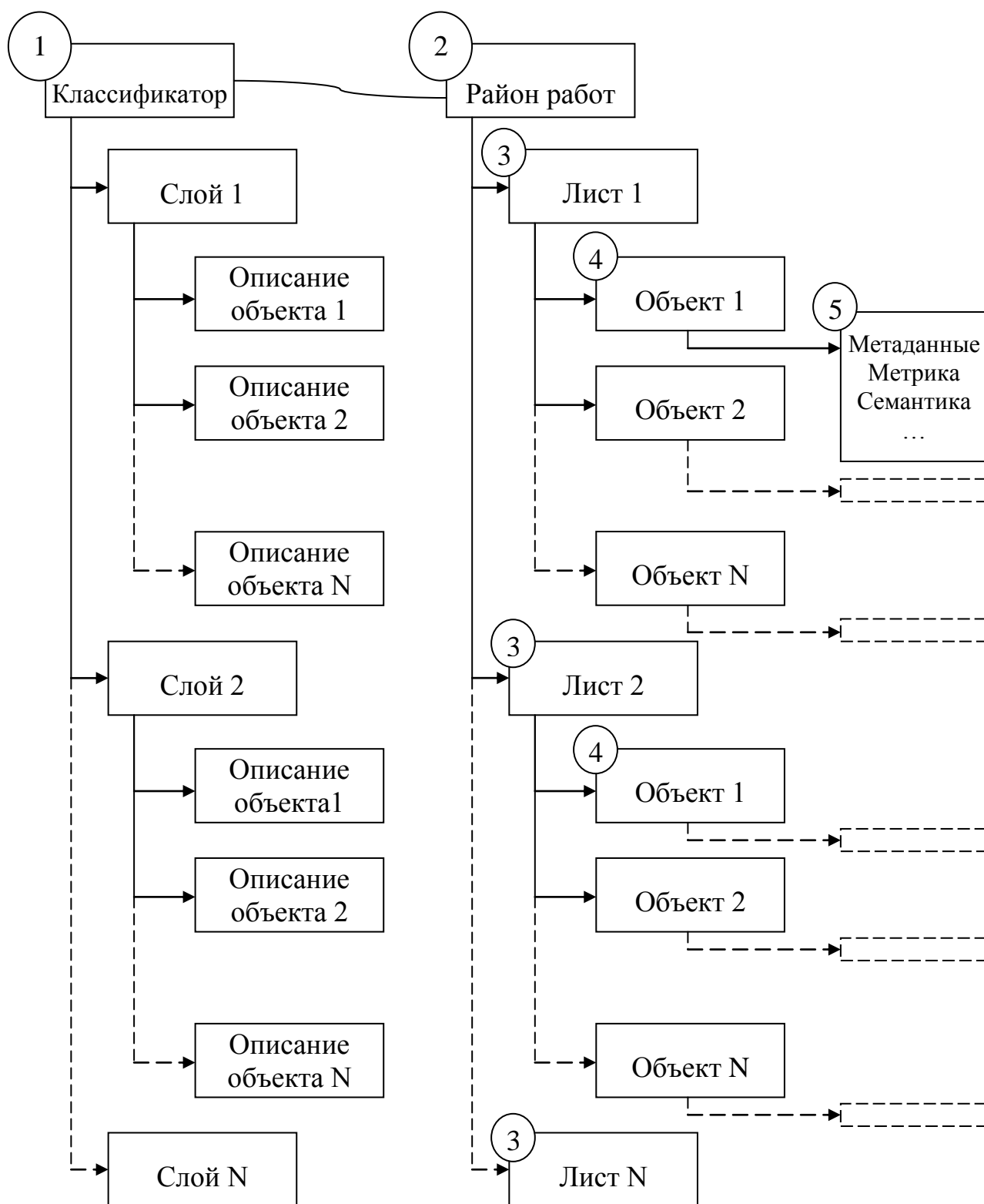


Рисунок 41. Структура электронной карты

Процесс создания карт проходит в интерактивном режиме и требует незначительных временных затрат. Так же от пользователя не требуется навыков в области создания электронных карт.

3) Лист карты. Содержит данные о масштабе, системе координат и объектах. Метрические, семантические характеристики объектов и типы локализации (площадной, точечный, векторный и так далее). Нумерация листов начинается с нуля, лист под номером нуль является подложкой.

4) Объект. Относится к определенному слою, имеет уникальные характеристики. Объекты подразделяются на специализированные и общего назначения. К объектам общего назначения относятся леса, реки, дороги и так далее. К объектам специализированного назначения относятся шахты, карьеры, терриконы

5) Характеристики. Уникальные характеристики объектов, базирующиеся на типах, разрешенных для данного листа электронной карты.

Программная реализация редактора будет осуществлена с применением объектно-ориентированного подхода к разработке. Наиболее важным элементом любой объектно-ориентированной системы являются классы. Хорошо структурированные классы должны иметь четко очерченные границы, формировать сбалансированное определение обязанностей в системе[163]. Разработанная диаграмма классов приведена на рисунке 42.

TWiev – класс управляющий отображением содержимого электронной карты. Интерфейс содержит методы перерисовки, масштабирования, выбора слоев, получение текущих координат, выбора файла электронных карт и другие. Экземпляр класса визуально отображается в качестве контейнера, в который, при запуске программы будет помещена электронная карта.

TPrint – класс управляющий выводом данных на печать. Экземпляр класса визуально отображается в виде расширенного диалога печати. Он позволяет указать принтер, настроить параметры печати, указать цветовую схему.

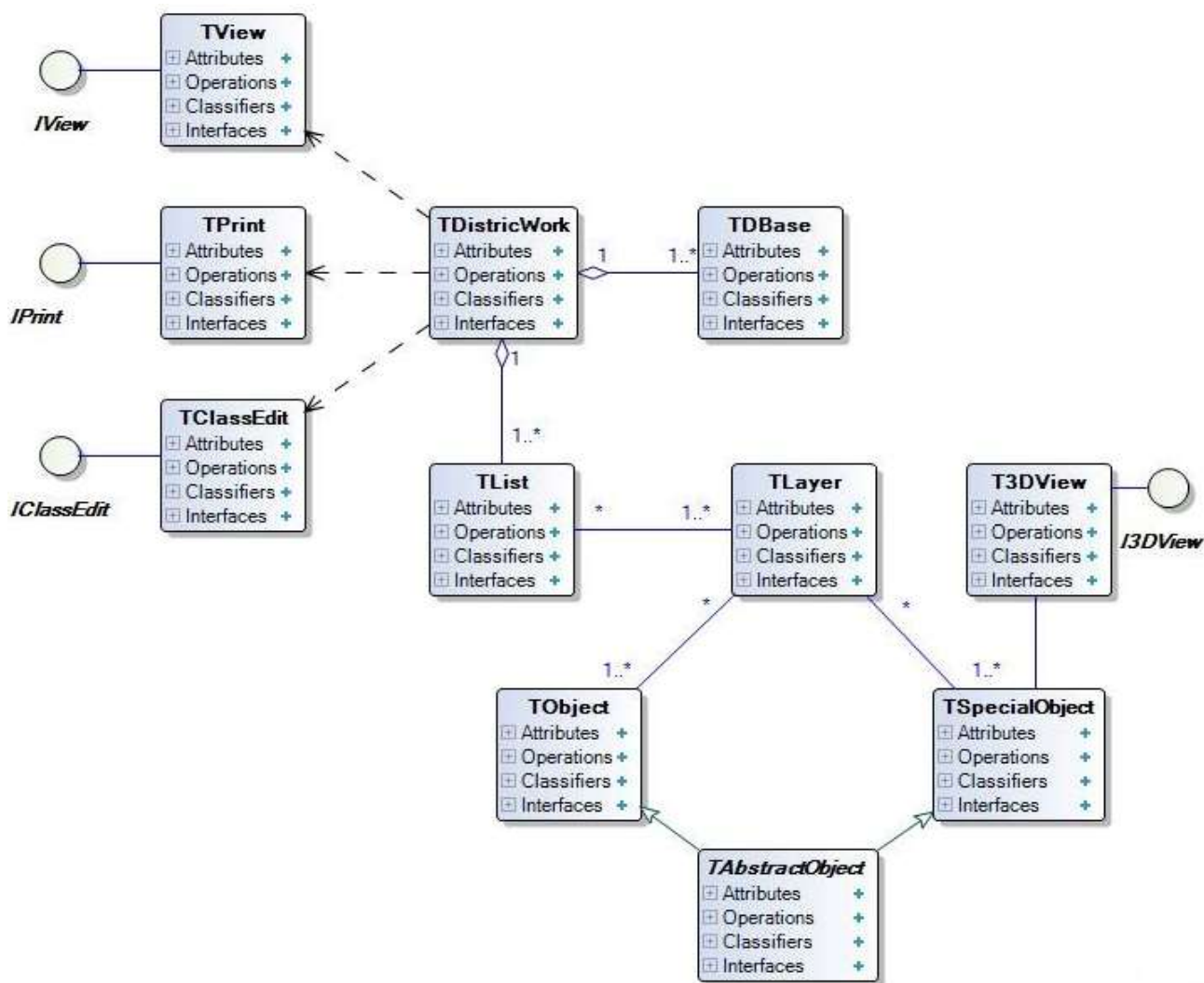


Рисунок 42. Диаграмма классов

Существует возможность указать, какую часть изображения необходимо вывести на печать.

TClassEdit – класс, отвечающий за изменение электронного классификатора. Интерфейс позволяет изменить описание слоев, объектов, условных знаков и правил отображения объектов. Помимо этого возможно добавлять новые слои и типы объектов. Изображения новых объектов могут быть созданы во встроенном графическом редакторе.

TDistrictWork – класс, описывающий районы работ. Экземпляр класса, визуально представляет собой электронный атлас. Формирование атласа происходит в интерактивном режиме. Главное окно приложения, разбито на две

части - слева листы, иначе именуемые подложками, в формате *.bmp, *.jpeg, *.png, справа рабочее поле.

Формирование атласа из составных частей в режиме drag-and-drop. Для каждого из листов необходимо и достаточно установить три координаты. В процессе формирования атласа, изображения могут быть несколько изменены. Это связано с тем, что объекты площадные и некоторые другие типы объектов могут располагаться на нескольких листах. К таким объектам будут применены соответствующие алгоритмы совмещения.

T3DView – класс, отвечающий за трехмерное построение объектов. Используется для трехмерной визуализации геопространственных данных. Например, при построении стратиграфических колонок и их совмещении.

TDBase – класс, отвечающий за взаимодействие с базами данных. Отвечает за экспорт и импорт данных из внешних баз.

TList – класс, описывающий листы района работ.

TLayer – класс, описывающий слои листа.

TAbstractObject – класс, описывающий объекты электронной карты. Как видно из модели, является предком для следующих классов:

TObject – описывает стандартные объекты.

TSpecialObject – описывает специализированные объекты.

Разработанная программа позволяет наносить на электронную карту различные объекты горной промышленности и работать с ними. Возможно добавление объектов горной промышленности, таких как шахты, карьеры, терриконы и т.д. Так же включен модуль для работы со стратиграфическими колонками с возможностью сохранения результатов работы. Это позволяет использовать программу для подготовки данных, которые в последствие могут быть использованы при расчете напряженно-деформированного состояния углепородного массива.

4.3. Разработка специализированного графического редактора объектов электронных карт разработки угольных месторождений.

Разработанные классификаторы реализованы в рамках данной работы для создания тематических карт разрезов, шахт, инфраструктуры и трёхмерных моделей угольных месторождений. Для формирования тематических электронных карт, соответствующих представленной разработанной декомпозиции, целесообразно использовать специализированные средства электронного картографирования. Одним из таких средств является разработанный реактор «Карта-R», которая создана в интегрированной среде разработки программного обеспечения EmbarcaderoDelphi (ранее BorlandDelphi), реализующей все основные принципы RAD-концепции программирования. Система разработки Delphi была выбрана и потому, что языком для написания программного кода в ней является ObjectPascal, представляющий собой объектно-ориентированный язык программирования, в котором достигнут оптимальный баланс между сложностью и мощностью. Например, в языке ObjectPascal отсутствует концепция множественного наследования. Тем не менее, она может быть заменена по средствам реализации в классах нескольких различных интерфейсов.

Кроме того, стоит отметить, что компилятор языка Pascal, используемой в среде разработки Delphi является одним из самых быстрых в мире, а сама компиляция осуществляется непосредственно в машинный код. Это позволяет разрабатывать программное обеспечение поэтапно, поскольку допускает многократное внесение в исходную программу небольших изменений с последующей перекомпиляцией и тестированием. Преимущества этого компилятора становятся заметны и при разработке больших приложений, выполняющий значительный объем вычислений.

Так же, в дополнение к среде Delphi, был использован специальный набор компонент GISToolkit 10.7.2 Free, предназначенный для создания ГИС-

приложений в средах визуального программирования. Данный набор содержит более 25 специализированных компонент и набор классов, что позволяет программисту осуществлять работу с картографической информацией. Среди основных возможностей набора GISToolkit можно выделить следующие:

поддержка различных проекций и систем координат;

визуализация содержимого баз данных в условных знаках, принятых для топографических, обзорно-географических, кадастровых и других видов карт;

поддержка стандартных систем классификации и кодирования объектов и их характеристик в соответствии с требованиями Роскартографии, Топографической службы ВС РФ;

нанесение на карту результатов измерений координат, поступающих от GPS аппаратуры;

обработка матриц высот, качеств и геологических матриц (построение, трехмерное отображение, профилирование).

Стоит заметить, что набор компонент GISToolkit 10.7.2 Free, разработанный ЗАО КБ «Панорама», является бесплатным и не требует отчислений и наличия электронных ключей при разработке собственных приложений.

Помимо этого, в разработке программы были использованы СУБД Firebird и GUI-оболочка IBExpert, предназначенная для администрирования баз данных Interbase и Firebird. Система управления базами данных Firebird была выбрана ввиду того, что является компактной, кроссплатформенной и является полностью свободной для лицензионных отчислений даже для коммерческого использования. Специализированный GIS-редактор (Рисунок 43) состоит из следующих модулей: -

mainGisUnit.pas. Модуль главного окна программы. Реализует функции просмотрщика электронных карт и позволяет производить поиск объектов карты по внешней базе данных;

- frmMap.pas. Модуль, который представляет собой многофункциональный редактор объектов карты, с возможностью работы с классификатором (рисунок 38). Помимо стандартных инструментов для работы

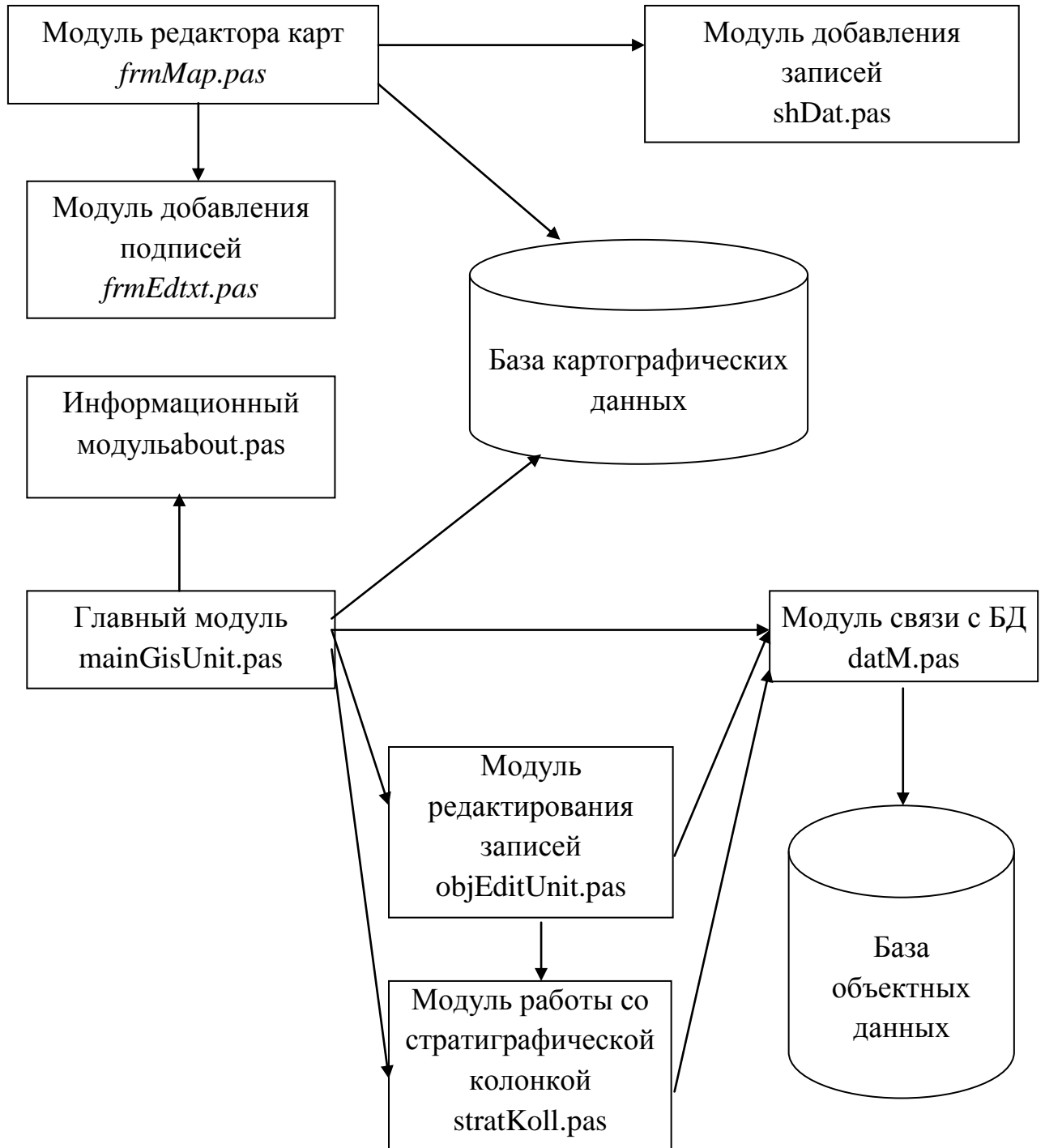


Рисунок 43. Принципиальная схема программы

с объектами, включена возможность редактирования классификатора электронных карт напрямую. При нанесении на карту специальных объектов горной промышленности (например, шахт) позволяет пользователю добавить информацию о них в базу данных;

- datM.pas. Модуль для связи программы с базой данных Firebird;

- stratKoll.pas. Модуль для работы со стратиграфической колонкой объектов типа «шахта» (рисунок 44). В модуле используется два динамических массива структур, предназначенных для хранения данных о породных слоях.

Каждая структура содержит данные о типе породы, мощности пласта, коэффициенте крепости породы и координатах на рисунке. После добавления пользователем слоя создается новый объект массива и вызывается функция рисования пластов, которая перерисовывается все пласты кровли (почвы) и добавляет к ним новый, а так же обновляет координаты.

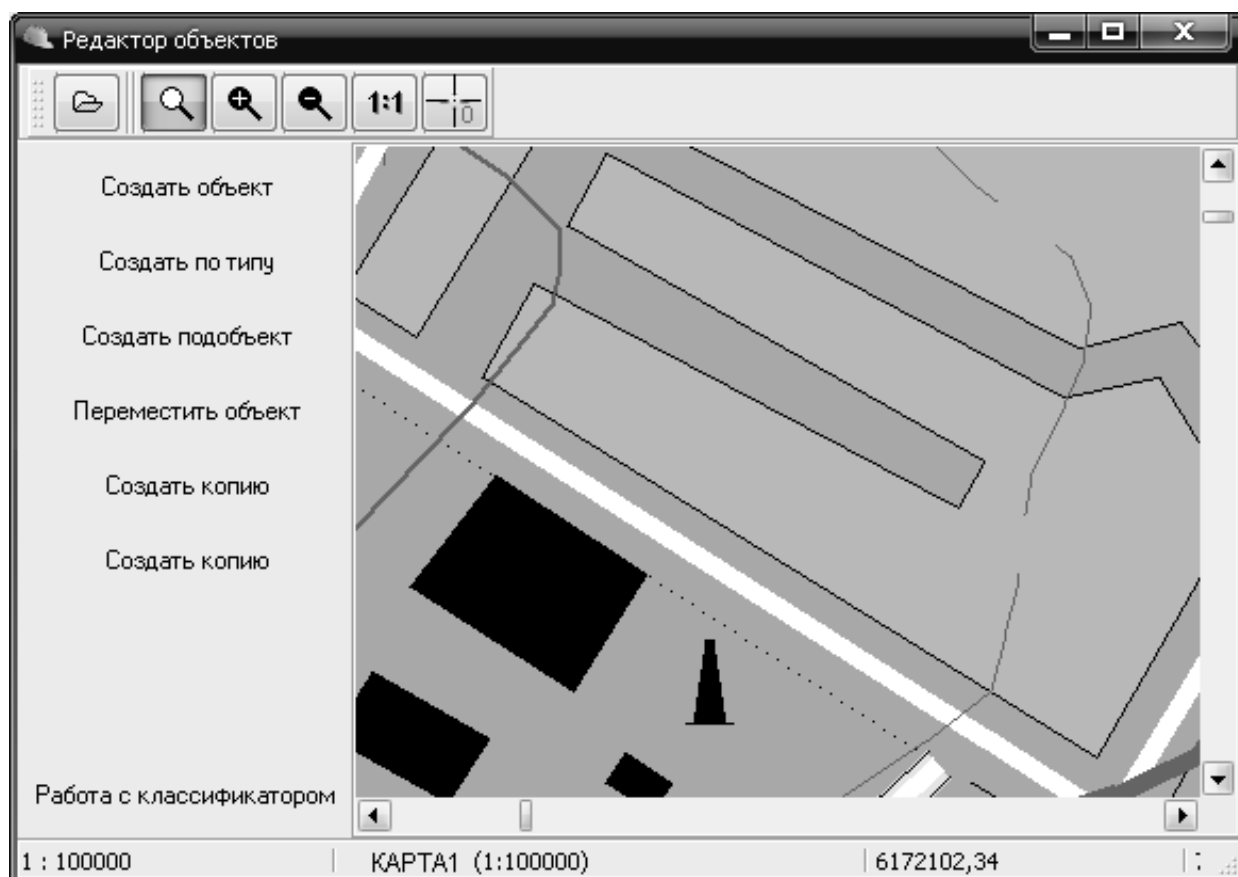


Рисунок 44. Редактор объектов

Это так же позволяет корректно отображать стратиграфическую колонку при удалении пользователем любого слоя или же изменение его характеристик: мощности или типа породы. В целях экономии машинного времени колонка рисуется сначала на объекте типа TBitmap, а уже потом отображается визуально по средствам компонента типа TImage.

Пользователю предоставляется возможность получать данные о геофизических свойствах породного массива, название и мощности породы, кликнув указателем мышки по интересующему его слою. (рисунок 45) Добавлена возможность автоматической генерации коэффициента крепости пород. По завершению работы пользователь может сохранять результаты своей работы во внешней БД. Сохраняется не само графическое изображение колонки, а текстовые данные, по которым колонка может быть в последствие построена. Это позволяет уменьшить размер БД и использовать сохраненные данные в дальнейших расчетах.

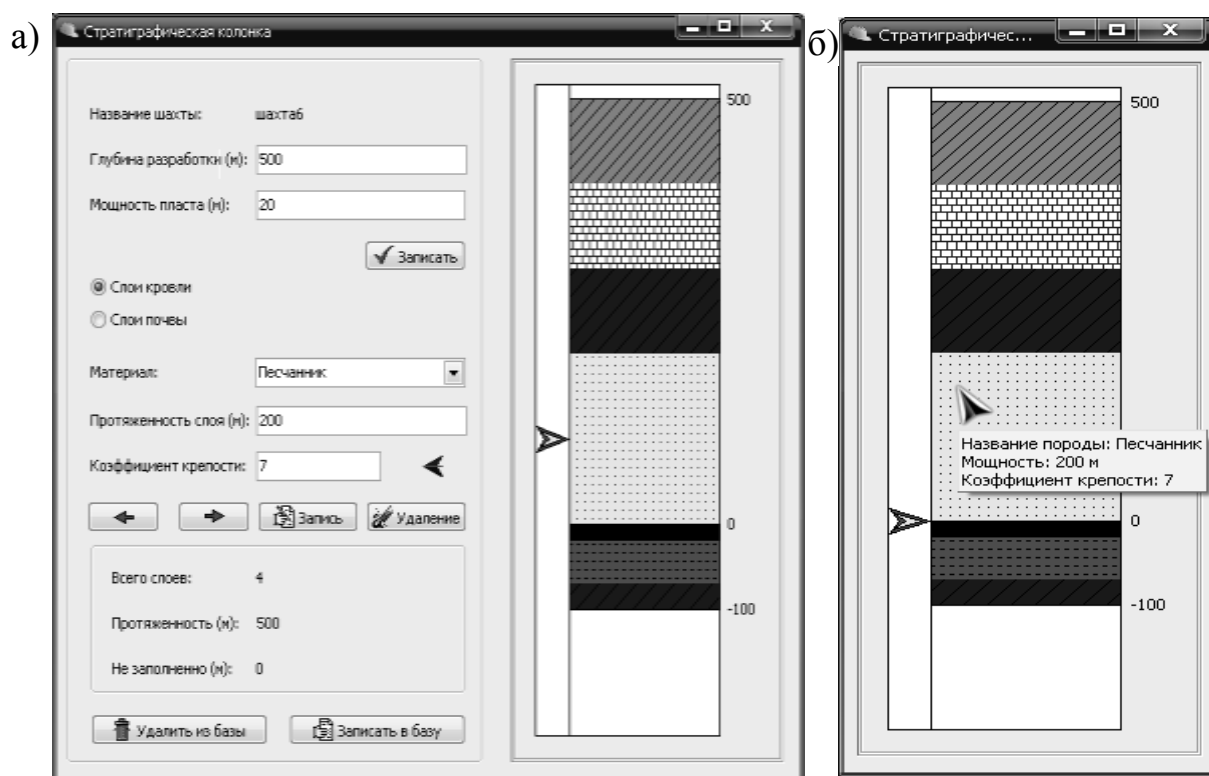


Рисунок 45. Стратиграфическая колонка:

а) режим редактирования; б) режим просмотра.

Модули, shDat.pas, objEditUnit.pas, Frmedtxt.pas, about.pas, реализуют различные промежуточные действия и некоторые дополнительные функции. Например, модуль Frmedtxt.pas используется для добавления подписи к объектам карты, а модуль about.pas для получения пользователем информации о программе и ее разработчиках.

Программа позволяет наносить на электронную карту различные объекты и работать с ними. Возможно добавление объектов горной промышленности, таких как шахты, карьеры, терриконы и т.д. Так же включен модуль для работы со стратиграфическими колонками с возможностью сохранения результатов работы. Это позволяет использовать программу для подготовки данных, которые в последствие могут быть использованы при расчете напряженно-деформированного состояния углепородного массива.

4.4 Визуализация углепородного массива на основе пространственно-атрибутивных данных

Значительная часть задач моделирования состоит в моделировании процесса принятия решений в геологоразведке. Процесс принятия решений характеризуется особенностью относительно исходной информации заключающейся в том, что исходные данные носят размытый нечёткий характер, причём мера этой размытости различна не только для разных данных, но и для различных интервалов одних и тех же данных. Они представляют собой, скорее, некоторое облако данных, на основании которых и следует принимать решение.

Моделирование в условиях неопределённости – весьма распространённая задача. В геофизических приложениях стартовая работа [164], посвящённая созданию метода нечёткого моделирования при изучении взаимосвязей между геофизическими параметрами, послужила основой для дальнейшего

развития этого подхода в метод нечётких петрофизических композиций [165] при прогнозировании петрофизических параметров, его адаптацию к условиям конкретных месторождений [166] и, в конечном итоге, созданию технологии прогноза подсчётных параметров при оценке запасов полезных ископаемых на основе метода нечётких петрофизических композиций [167].

В основе методов изучения закономерностей в науках о Земле лежит, прежде всего, анализ экспериментального материала, например петрофизических измерений, который представляет собой сопоставление и установление причинных связей между объектами различной природы. Так, например, при геофизических исследованиях в скважинах экспериментально в лабораториях устанавливаются связи между измеряемыми электрическими параметрами – удельным сопротивлением горных пород, и величинами коэффициента пористости.

При моделировании строения осадочных пород угольных бассейнов по геофизическим данным устанавливаются связи между скоростью распространения продольных волн и плотностью горных пород. Далее, установленные, как правило, методами статистической обработки, эти связи используются для прогнозирования одних параметров, например пористости или плотности, по другим, например электрическому удельному сопротивлению или скорости продольных волн. Такие связи носят чаще всего корреляционный характер, и реальные данные натурных исследований заменяются полученными законами, которые после оценки меры тесноты связи, например коэффициента корреляции для линейных связей или дисперсионного отношения для нелинейных, переносятся на изучаемый объект.

Такой путь является общим и является источником очень многих ошибочных заключений, которые «стоят» достаточно дорого, от неверно выбранных условий вскрытия и режимов эксплуатации скважины до ошибок в точках заложения скважин и представлений о запасах и ресурсах регионов. Источники этих ошибок состоят, во-первых, в ошибочном переносе связей,

полученных в одном районе (территории, скважине, интервале) на другой, а во-вторых, в необходимости при использовании статистических методов обработки пользоваться достаточно спорными предположениями. Эти предположения состоят, например, в том, что заранее, «на основе изучения характера измеренных величин», допускается возможность подмены реального измеренного материала некоторым видом аналитических зависимостей. Здесь выявляются два слабых места:

- вид принимаемой зависимости (линейный, экспоненциальный и т.п.);
- предположение о том, что всё, что не укладывается в эту зависимость, есть шум разной интенсивности.

Но и это ещё не все. Для того чтобы были приемлемы методы статистической обработки, например метод наименьших квадратов для построения уравнения регрессии, необходимо предположение о характере вероятностного закона для этого шума. Например, предположение о том, что погрешности распределены по нормальному закону. Это вносит дополнительную компоненту риска ошибочности выводимых таким образом заключений.

Использование уравнений регрессии – это, по сути, подмена неопределённой информации о параметрах, полученной экспериментальным путём, некоторой упрощённой до выщелачивания сути аналитической моделью, в которой теряется самое главное свойство реальных данных – их нечёткость, неопределённость. Нечёткость и неполнота сведений подменяется наличием регулярных ошибок. Здесь под термином регулярные ошибки понимаются не систематические, а имеющие некоторые определённые регулярные законы распределения. Между тем сам факт существования распределения вероятности для некоторой величины – это очень жёсткое предположение.

Нечёткое множество полностью определено своей функцией принадлежности. Поэтому операции над нечёткими множествами сводятся к

операциям и переопределениям функции принадлежности. Эти операции возможны лишь тогда, когда функции принадлежности имеют один и тот же универсум.[168]

Взаимосвязанные переменные, заданные экспериментально, должны быть представлены в виде нечётких переменных X и Y , заданных системой нечётких чисел x и y соответственно. Каждое из них имеет свою функцию принадлежности $\mu_x(x)$, $\mu_y(y)$, и нечёткое отношение $R(X \rightarrow Y)$ между X и Y задано в виде функции принадлежности $\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y)$. Для конструирования функции принадлежности $\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y)$ может быть использована различная базовая система функций принадлежности из рассмотренных выше либо им аналогичных, в качестве которой, в частности, выбрана экспоненциальная. Сравнительный анализ показал малую критичность результатов к особенностям выбора базовых функций принадлежности при условии их положительности, строгой выпуклости и ограничении значения между нулём и единицей. Результаты измерений представляют собой значения переменной y для каждого x и выражаются в виде набора обычных чисел $y'_x(j)$, соответствующих значению x . Если для каждого x (из некоторой достаточно малой окрестности) параметры $\bar{y}(j)$ и $\sigma(j)$, вычисленные по $y'_x(j)$, характеризуют центр и размах функции принадлежности для y , то нечёткое отношение $\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y)$ может быть представлено через функцию принадлежности $\varphi(x, y, \sigma(x))$ для y экспоненциального типа с использованием найденных параметров $\bar{y}(j)$ и $\sigma(j)$. Выберем в качестве такой функцией выражение

$$\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y) = \varphi(x, y, \sigma(x)) = \exp\left(-\frac{(y - \bar{y}(x))^2}{\sigma(x)}\right). \quad (18)$$

Могут быть выбраны и другие, отличные от (1.5.2) зависимости, однако результаты моделирования достаточно устойчивы по отношению к выбору вида аналитической зависимости для $\varphi(x, y, \sigma(x))$ в том случае, если функция принадлежности одномодальна и симметрична. Пусть таким же образом определено нечёткое отношение между переменными Y и Z . Как и выше,

результаты измерений для Z представляют собой значения для каждого y (из некоторой достаточно малой окрестности) набора обычных чисел $z_y(j)$, соответствующих значению y .

Эти результаты эксперимента могут быть представлены в виде функции принадлежности $\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y)$ для нечётких чисел z при условии значения нечёткой переменной Y , равного y . Для этого можно воспользоваться, как и в случае с нечётким числом y , аналитической зависимостью $\varphi(x, y, \delta(y))$, в качестве которой, например, может выступать

$$\varphi(x, y, \delta(y)) = \exp\left(-\frac{(z - \bar{z}(y))^2}{\delta(y)}\right). \quad (19)$$

Здесь $\bar{z}(y)$ – некоторое среднее значение, образованное из $z'_y(j)$. Параметр $\delta(y)$ определяет размах функции $\varphi(x, y, \delta(y))$ (меру разброса значений $z'_y(j)$ относительно среднего $\bar{z}(y)$, характерного для значения y).

Задача нечёткого моделирования в данном случае [164-167] состоит в том, чтобы найти нечёткое отношение между X и Z или, что то же самое, функцию принадлежности для отношения между X и Z . Это и есть нахождение нечётких петрофизических композиций между функциями принадлежности с целью исключения промежуточных нечётких переменных (в данном случае Y). Для того чтобы исключить нечёткую переменную Y из пары отношений $R(X \rightarrow Y)$ и $R(Y \rightarrow Z)$, воспользуемся вычислением максиминного произведения (композиции) отношений $R(X \rightarrow Y)$ и $R(Y \rightarrow Z)$, которое обозначим $R(X \rightarrow Z) = R(X \rightarrow Y) \circ R(Y \rightarrow Z)$ по алгоритму Мамдани. Это лишь один из достаточно широкого перечня алгоритмов композиции. Его использование оказалось весьма эффективным. Детализировано этот алгоритм расчёта состоит в следующем. Для каждого x из интервала его универсального множества X , который обозначим $D(X)$, и каждого z из интервала универсального множества для Z , который обозначим $D(Z)$, рассчитаем функцию $g(x, y, z)$, значение которой есть минимальная величина из двух значений $\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y)$ и $\mu_{R(Y \rightarrow Z)}(y, z)$. Далее, в соответствии с правилом

Мамдани вычисления композиции отношений, находим наибольшее из значений $g(x, y, z)$ по y . Это и есть требуемая функция принадлежности для нечёткого отношения $\mu_{R(Y \rightarrow Z)}(y, z) = \max_{y \in D(y)}(g(x, y, z))$.

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме "Если-то" и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. При этом должны соблюдаться следующие условия:

1. существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического термина выходной переменной;
2. для любого термина входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки (левая часть правила).

В противном случае имеет место неполная база нечетких правил. Пусть в базе правил имеется m правил вида:

R_1 : ЕСЛИ x_1 это A_{11} ... И ... x_n это A_{1n} , ТО y это B_1

R_i : ЕСЛИ x_1 это A_{i1} ... И ... x_n это A_{in} , ТО y это B_i

R_m : ЕСЛИ x_1 это A_{m1} ... И ... x_n это A_{mn} , ТО y это B_m ,

где x_k , $k=1..n$ – входные переменные; y – выходная переменная; A_{ik} – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности.

Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменной y^* на основе заданных четких значений x_k , $k=1..n$.

В общем случае механизм логического вывода включает четыре этапа: введение нечеткости (фазификация), нечеткий вывод, композиция и приведение к четкости, или дефазификация (рисунок 4б).

Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефазификации. Разработаны модели нечеткого вывода Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото. Следовательно, этапами нечёткого вывода (нечётких заключений) являются:

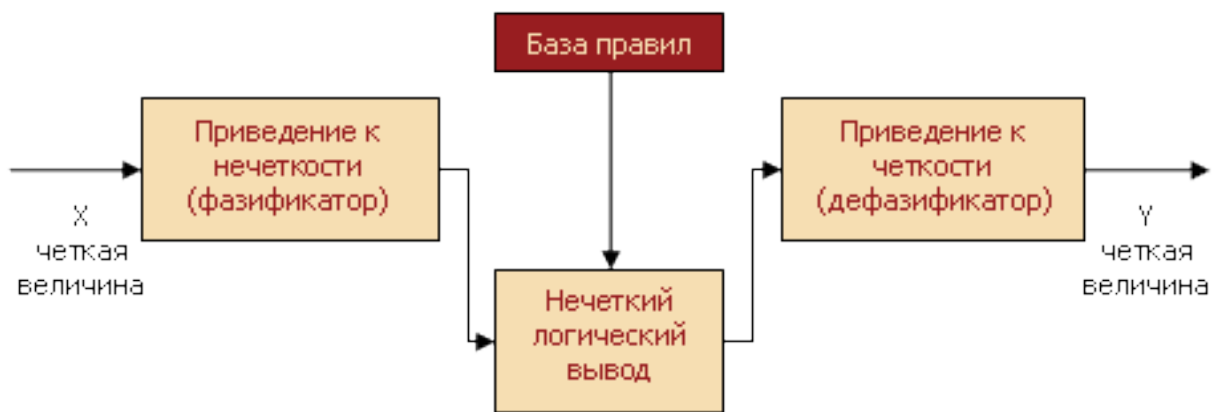


Рисунок 46. Система нечеткого логического вывода

- формирование базы правил;
- нахождение функций принадлежности для входных данных (фазификация входных данных);
- оценка степени истинности вводимых условий (агрегирование переменных);
- оценка степени истинности каждого из подзаключений (активация подзаключений);
- аккумулярование заключений (нахождение функции принадлежности для каждой из выходных переменных);
- переход от нечётких к обычным переменным (дефазификация).

База правил формируется в виде структурированного текста типа:

ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ «Условие_1» ТО «Заключение_1» (F1)

ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ «Условие_2» ТО «Заключение_2» (F)

Понятийный аппарат нечётких множеств и нечётких отношений может быть применён как альтернативный подход к прогнозированию значений параметров по эмпирическим данным без использования этапа построения уравнений регрессии и их решения. Наиболее рельефно его преимущества проявляются в том случае, когда имеется цепочка величин, между которыми существует связь в виде нечётких отношений, и по известным экспериментально начальным параметрам следует спрогнозировать конечные путём исключения промежуточных. Например, имеется нечёткое отношение

между электрическим сопротивлением и пористостью (для конкретного участка представленное как ранее полученные экспериментальные данные) с одной стороны и пористостью и проницаемостью – с другой. По измеренным электрическим параметрам в скважине необходимо спрогнозировать величину коэффициента проницаемости как нечёткую величину. Традиционно такая задача решается построением уравнений регрессии между парами величин и последующим исключением промежуточного параметра – пористости, из искомой зависимости между электрическими свойствами и проницаемостью пласта.

После добавления правил можно проверить работу системы логического вывода, путем наблюдения изменения выходной переменной при изменении входных данных. На рисунке 47 приведен пример моделирования углепородных пластов с использованием системы нечеткого вывода.

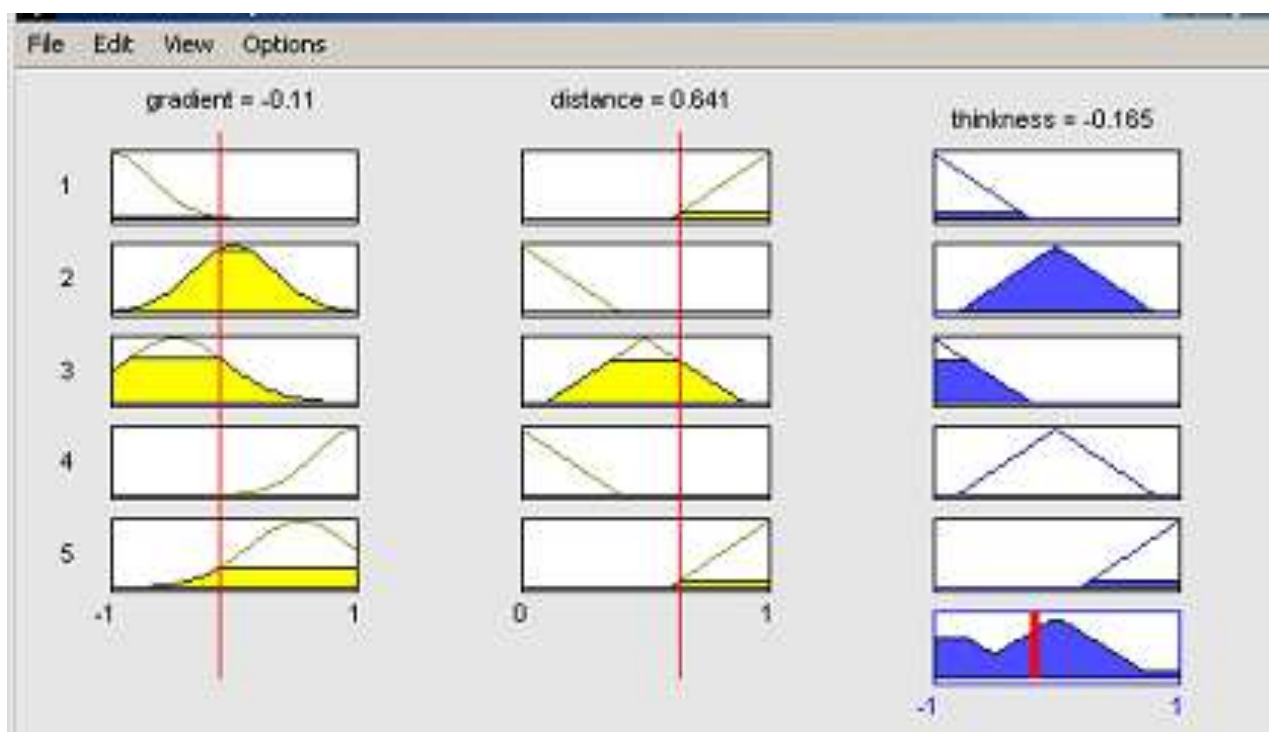


Рисунок 47. Результат моделирования системы нечеткого вывода

Таким образом, алгоритм нечёткого моделирования применительно к анализу экспериментальных данных состоит в:

1) фазификации отношения между данными – их представления в виде функции принадлежности (18) одной переменной при условии принятия конкретного значения другой. Итогом служит функция принадлежности для нечёткого отношения между парой переменных, позволяющая оценить меру истинности любого прогнозируемого значения переменной по экспериментальным данным;

2) нечёткой композиции по Мамдани для случая систем данных с общими переменными. Алгоритм позволяет построить функцию принадлежности для нечёткого отношения между переменными, в которых исключены промежуточные – переходные переменные (обозначены $y \in Y$). Итогом служит функция принадлежности для нечёткого отношения между парами данных с исключенными промежуточными параметрами ($y \in Y$), позволяющая оценить меру истинности любого прогнозируемого значения конечной переменной z по начальной x , отражающую истинную информацию, содержащуюся в экспериментальных данных;

3) дефазификации установленных нечетких отношений, обеспечивающей переход от нечётких зависимостей к чётким зависимостям, с оценкой меры их истинности.

Рассмотренный подход к анализу экспериментальных данных и прогнозу параметров, минуя построение уравнений регрессии, основан на понятийном аппарате теории нечётких множеств, отказе от рассмотрений зависимостей, имеющих корреляционный характер. Вместо этого рассматриваем экспериментальные данные как нечёткие множества, и для установления и оперирования присущими им взаимозависимостями используются методы теории нечётких множеств и нечёткого моделирования. В такой форме применяемый аппарат по своим потенциальным возможностям адекватен смысловому содержанию и точности исходных данных. Оперирование

данными как нечёткими является более объективным. Оно не только позволит избежать ошибочных выводов, связанных с заменой реального материала его выхолощенным аналогом, но и дать, в конечном итоге, реальное представление о мере возможности тех либо иных и альтернативных к ним заключений.

Для построения модели слоев горных пород используется алгоритм поиска, основанный на методе нечеткой логики. Данный метод основан на алгоритме для лингвистической переменной с тремя элементами термножества. В связи с тем, что слоев одной и той же породы может быть несколько, проработан алгоритм поиска пород между скважинами. (Рисунок 48)

В качестве примера рассмотрим часть СПО ГИС, предметной областью которого является моделирование разрабатываемого угледобывающим предприятием месторождения полезных ископаемых. Неотъемлемой частью подобных приложений является работа с геологоразведочными данными. Каждый замер имеет определённые координаты. Предположим, что некоторый модуль программы обрабатывает данные по разработке угольных пластов.

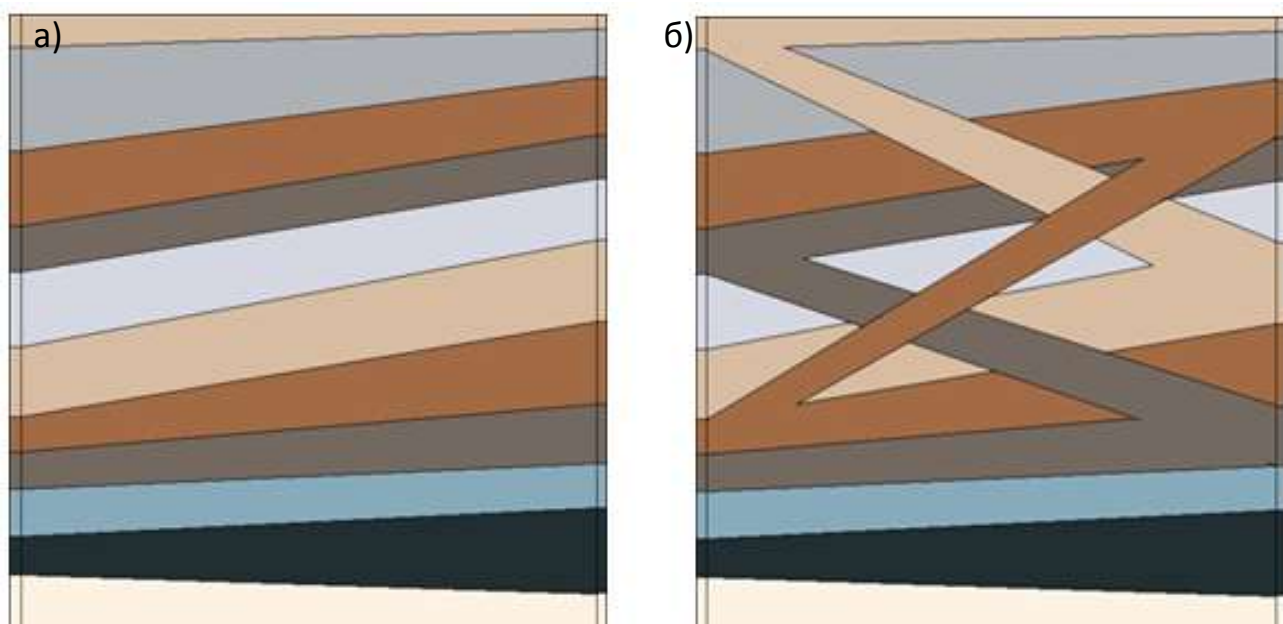


Рисунок 48. Расположение пород между скважинами.

а) реальное расположение слоев, б) модель без алгоритма нечеткой логики

Модель данных будет иметь структуру представленную на рисунке 49.

Класс SoilPiece представляет собой модель слоя геологической пробы. Слои объединены в рамках моделей геологоразведочных скважин – класс ExplorationWell. Каждая скважина имеет координатную привязку, реализованную в рамках класса Coordinates.

Для моделирования геологических срезов используется класс WellSeries, работающий с объектами геологических скважин. Трёхмерная модель зоны разработки MiningAreas представляет собой совокупность серий геологоразведочных скважин. Вариативность алгоритмов моделирования обеспечивается за счёт универсального интерфейса Abstract ModelingStrategy. Примером реализации простого алгоритма моделирования пологих пластов является класс SimpleModelingStrategy. Для получения характеристик слоёв пород используется класс ClassifierOfSoilType. Характеристики инкапсулированы в структуре ParametersOfSoilTypes. Бизнес-логика приложения реализована классом MainController. Для формирования графического представления используется класс-компоновщик – GUIBuilder.

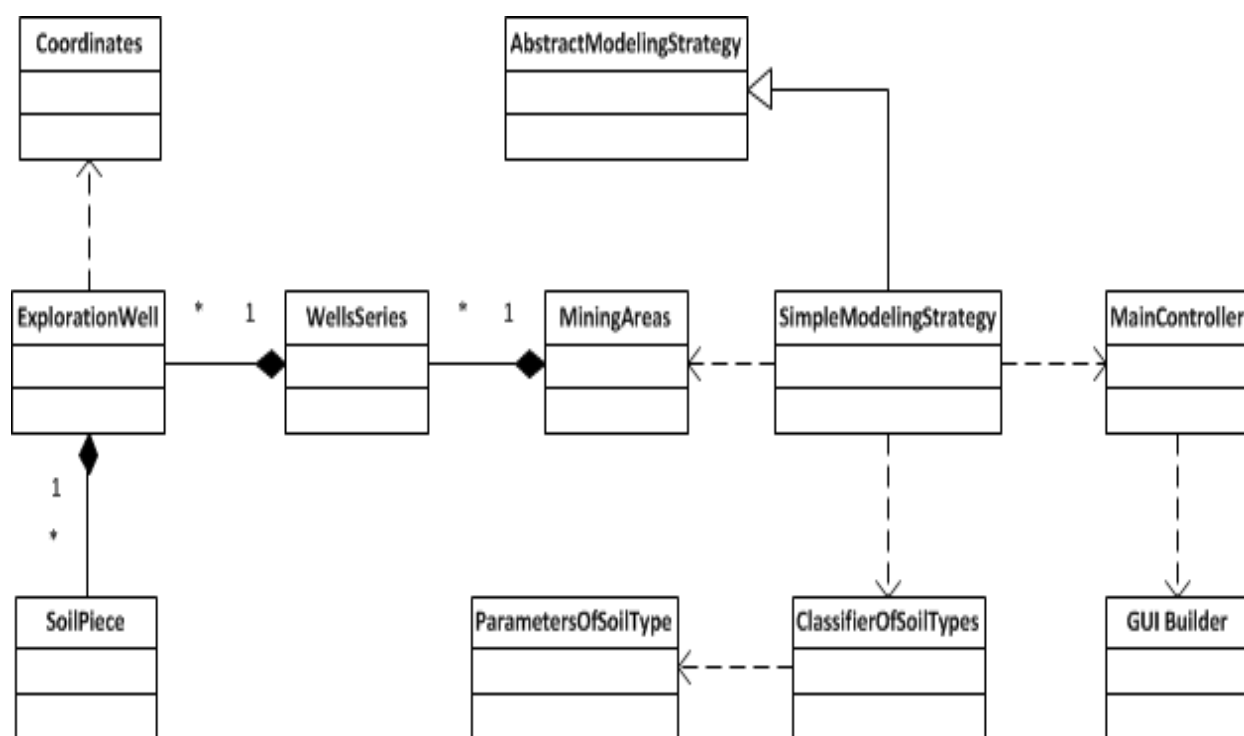


Рисунок 49. Модель данных приложения визуализации углепородного массива

Для такой модели, требуется дополнительные объекты для полей разработки и слоёв полезных ископаемых. К тому же, в базе данных должны содержаться данные как по уже построенным слоям, так и по первичным замерам. Таким образом, необходимо реализовать преобразование объектов к таблицам базы данных и обратно.

4.5. Компьютерные геоизображения пространственных данных углепородного массива.

Конечная цель любой обработки информации в ГИС, это получение картинки (тематического, композиционного, оверлейного и других слоев). Пространственные данные для обработки и для создания тематического слоя электронной карты могут быть получены несколькими способами. Например, по данным дистанционного зондирования или данным изысканий. В большинстве случаев, пространственные данные вводятся при оцифровке существующих бумажных карт. В результате любого способа ввода пространственной информации образуется слой электронной карты, на которых размещены идентифицированные пространственные объекты, связанные с базами атрибутивных данных.

Как уже отмечалось ранее область исследования, т.е. область ведения горных работ в пределах выемочного блока, дискретизируется на конечные элементы с использованием сеточных методов таким способом, чтобы наилучшим образом отобразить геометрическую модель горного массива – выработанного пространства – механизированного комплекса. В результате получаем трехмерную модель области исследования в пределах которой проводится имитационное моделирование процесса выемки угля. Таким образом, область исследования представляется в виде набора кубических конечных элементов, количество которых исчисляется сотнями миллионов.

Использование огромного количества исходных данных для проведения вычислительных процессов при решении трехмерной задачи требует больших электронных ресурсов ПК и времени получения результатов. К тому же, получение трехмерных пространственных изображений в виде изолиний распределения напряжений или смещений в углепородном массиве не дает наглядного представления о безопасности ведения горных работ. При размещении таких изолиний на тематических картах придется делать их проекции на поверхность земли, что приведет к наслаиванию изолиний друг на друга. Даже при калибровке полученных результатов моделирования количество изолиний может быть достаточно большим. При таком подходе исследование процессов изменения состояния НДС углепородного массива в окрестности очистного забоя в динамике становится не наглядным.

На основе принципов системного анализа и декомпозиции предметной области трехмерный массив горных пород рассечен совокупностью параллельных плоскостей в направлении глобального движения угледобывающего комплекса. Такое разбиение с некоторой погрешностью позволяет предположить, что геомеханические процессы, протекающие в слоях – подобны. Это, в свою очередь, дает возможность в каждом проходе решать численным методом плоскую задачу для одного слоя заданной толщины. Более того, нет необходимости решать плоскую задачу в каждой плоскости сечения трехмерного массива. Достаточно провести расчеты в плоскостях равноудаленных друг от друга достаточных для получения общей картины изменения НДС в окрестности очистного забоя.

На рисунке 50 показан один из вариантов представления результатов, изменения отношения остаточной прочности боковых пород к исходной, полученные в неустановившемся режиме взаимодействия. Из графиков видно, что при каждой передвижке секции крепи объем разрушенных пород непосредственной кровли и почвы увеличивается с образованием купола над верхним перекрытием крепи и за механизированной крепью. Высота купола

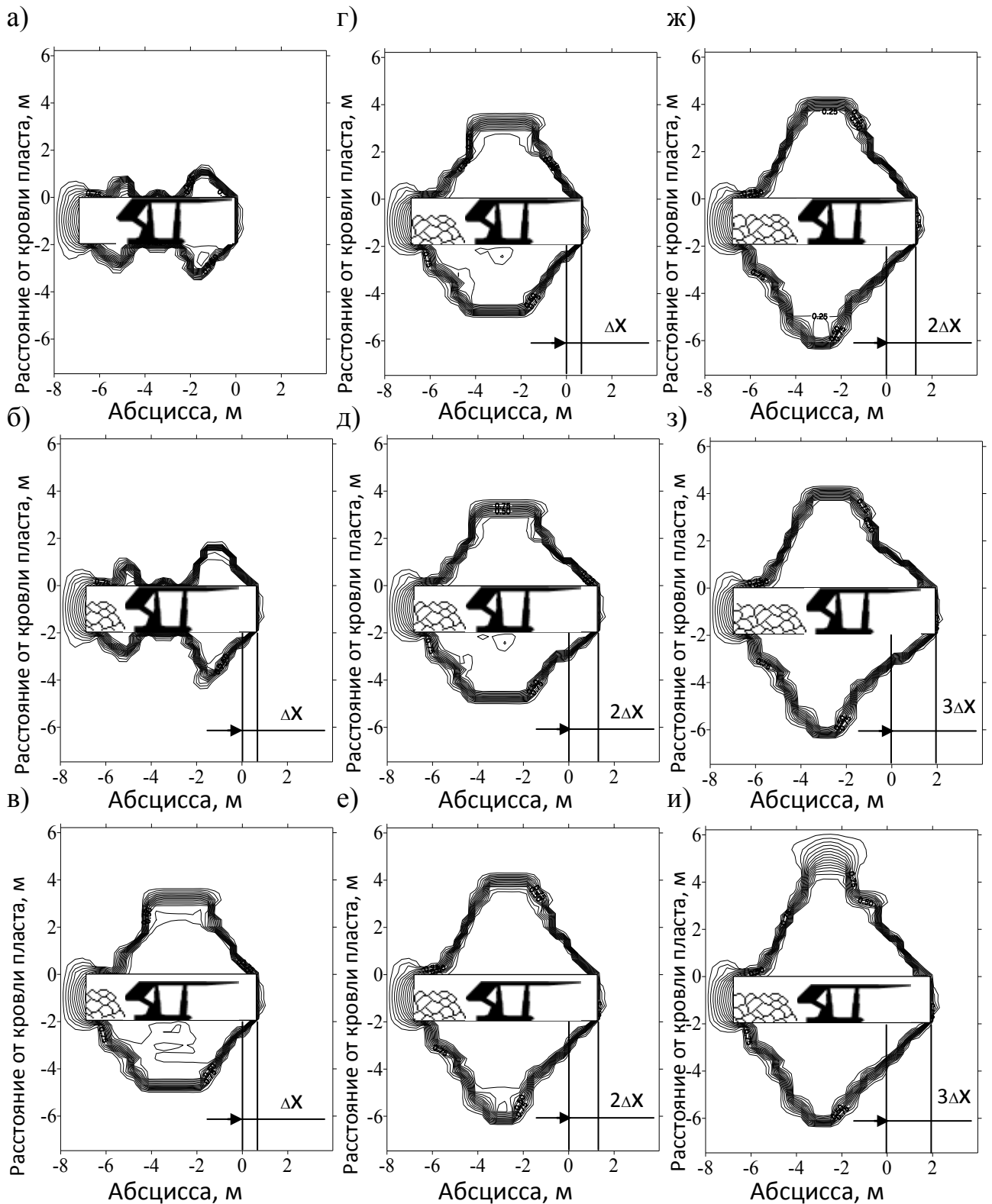


Рисунок 50. Графики изменения отношения остаточной прочности к исходной при движении механизированного забоя на глубине 300 м с шагом передвижки

$\Delta x = 0,8 \text{ м}$: а – и – последовательность движения забоя

обрушенных пород достигает мощности слоя пород непосредственной кровли и в дальнейшем обрушение идет по этой границе.

Аналогичная картина наблюдается и в породах почвы, но разрушение этих пород протекает менее интенсивно, чем пород кровли, и сопровождается пучением почвы в призабойной зоне выработанного пространства.

Результатом имитационного моделирования процесса выемки угля является выявление и развитие вероятных опасных участков приводящих к аварийным ситуациям в очистных забоях угольных шахт.

Обзор научных исследований в области геомеханики горных пород показал, что такие процессы могут возникать в результате внезапной потери устойчивости основной и непосредственной кровли, что приводит их к преждевременному обрушению. Поэтому, используя HОLAP технологии необходимо делать срез данных, представленных результатами моделирования НДС углепородного массива, именно по слоям расположения основной и непосредственной кровли.

Речь идет об использовании HОLAP-систем со структурой куба данных хранящихся в многомерной базе данных. Значения нижнего уровня иерархии в HОLAP-системах остаются в реляционной витрине данных, которая служит источником данных для куба. Поскольку при каждом положении секции механизированной крепи по длине выемочного столба формируются кубы данных по каждому параметру, то в результате декомпозиции изучаемых процессов и задания соответствующих запросов создаются новые хранилища данных. Из этих хранилищ извлекаются данные служащие для отрисовки изолиний в заданной области исследования. Методами интерполяции определяются недостающие значения исследуемого параметра. В результате получаем изолинии полей смещений и напряжений в углепородном массиве.

В зависимости от высоты проведения плоскости над выработанным пространством формируется новая форма представления геопространственных данных, на основе которых могут быть получены новые виды геоизображений распределения полей напряжений или смещений в горном континууме как показано на рисунке 51.

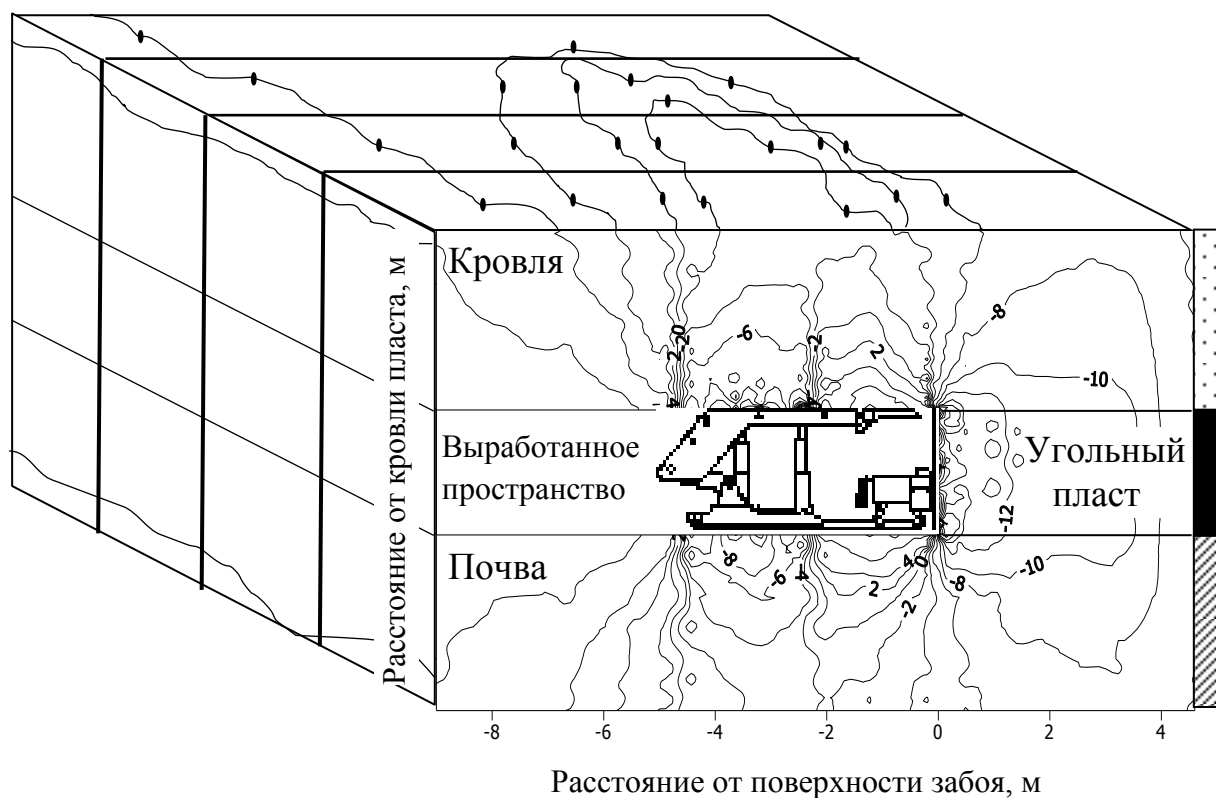


Рисунок 51. Геоизображения новых видов

Полученные геоизображения проецируются на дискретную плоскость, находящуюся на поверхности электронной карты, в виде изолиний распределения значений исследуемого показателя. Если давление в горных породах превышает их коэффициента крепости, то на поверхности электронной карты появятся ореолы их возникновения в виде проекций. Результаты имитационного моделирования представляются в виде полей напряжений или смещений в исследуемом объеме угленородного массива и могут быть преобразованы для их дальнейшего использования в специализированных пакетах, таких как Excel, MatCad, Surfer и т.п. В связи с этим были разработаны программы формирования соответствующей структуры данных.

Полученные результаты исследования необходимо сделать геопространственными и привязать к элементам электронной карты. Это позволит рассматривать влияние процесса добычи угля в системе взаимодействия объектов с геопространственными характеристиками. [169] Линия (плоскость) от которой будет осуществляться движение очистного забоя,

будет являться нулевой отметкой для моделирования геомеханических процессов при ведении выемочных работ. В результате получаем дискретную область, в которой по длине выемочного столба, размер дискретности будет равен шагу передвижки механизированного комплекса (0,63 или 0,8 м.), а по ширине – ширине механизированной крепи, например 1,5 м. В узлах такой сети будут рассчитаны смещения пород, а в середине дискретного элемента – напряжения. К примеру, на рисунке 52 представлено окно с отображением результатов расчета полных горизонтальных напряжений в конечных элементах. При вводе пространственной информации как массива координат объектов возникает необходимость восстановить непрерывное поле признака по имеющимся дискретным значениям. Иногда наоборот появляется необходимость использовать пространственную информацию с оцифрованных карт изолиний.

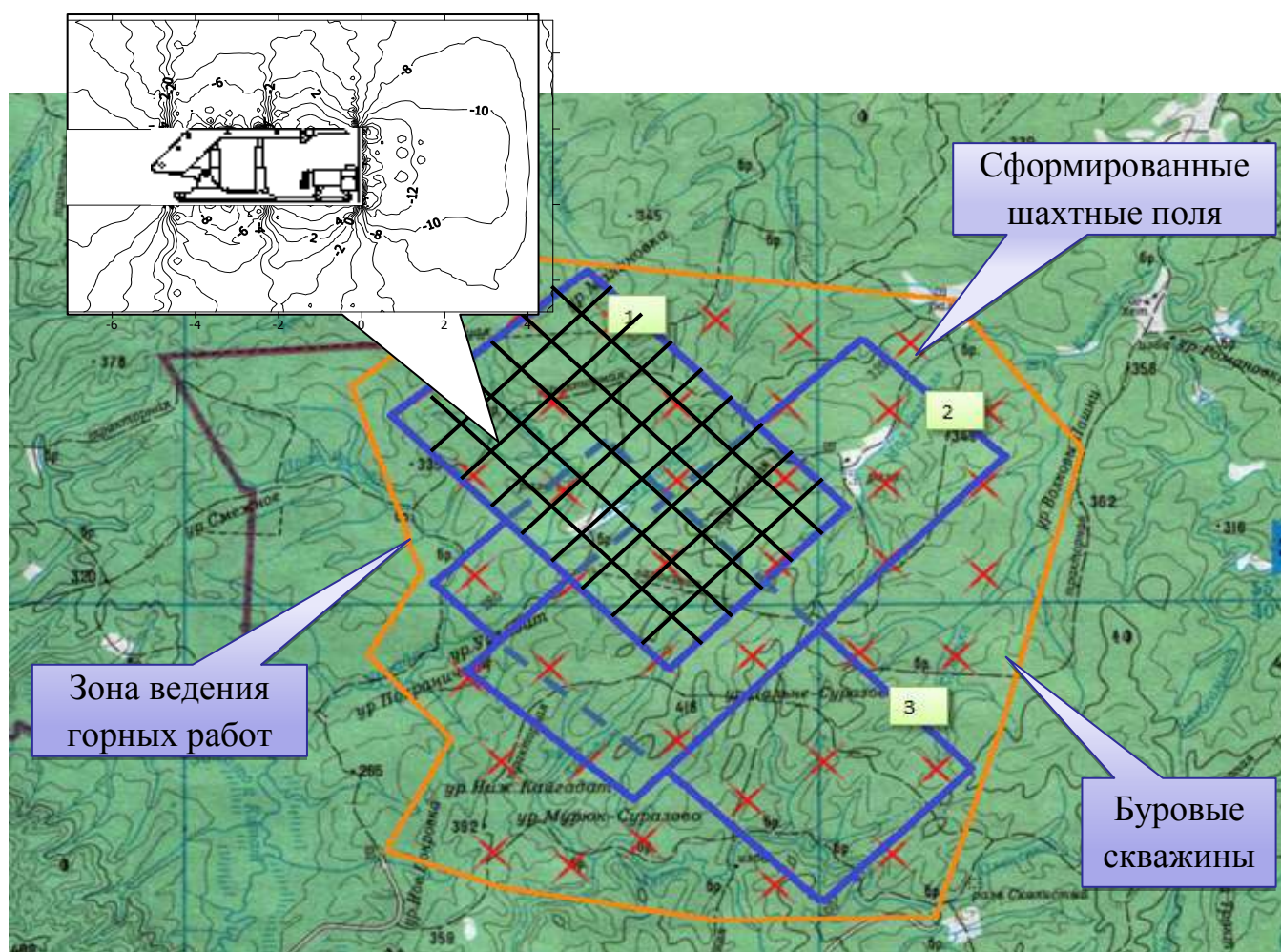


Рисунок 52. Рабочее окно графического редактора

В явном виде, без аналитического представления данной поверхности, сделать это сложно. Поэтому, для решения задач обработки информации представленной в виде изолиний (в силу специфичности обработки), приходится решать обратную задачу восстановления дискретных значений и построения поверхности по полученным точкам.

Для анализа данных в ГИС удобно использовать полученные результаты в матричном виде или данных на сетке. Это означает, что конкретным координатам узлов сети соответствуют количественные и качественные значения состояния углепородного массива. Такая пространственная информация, выраженная в цифровой форме и взятая в одних и тех же точках со всех исходных карт, позволяет строить пространственно-цифровые модели, проводить статистические и другие необходимые расчеты, проводить анализ рассматриваемых явлений, проведение численных экспериментов. В результате, в узловых точках создаются "каркасы" из полученных данных, на основе которых можно создавать новые расчетные карты. Если данные изначально представлены в сеточном (растровом) виде, то можно перейти сразу к задачам обработки и анализа. Если нет, то получение данных требует описания. Задачу получения данных из ГИС, в приемлемой для обработки форме, может быть разбита на несколько подзадач:

- создание сеточного слоя для растривания векторного;
- получение матричной модели слоя по векторным данным в узлах регулярной сетки цифровой поверхности;
- постобработка (сглаживание, выделение контуров, контраст);
- визуализация матричных полей и тематическая доводка слоя в ГИС.

Рассмотрим технологию поэтапно. Основой является карта, состоящая из тематических векторных слоев описывающие разные аспекты (событий или временные.) одной территории. Сначала программно создается сеточный слой, который задается тремя типами объектов: полигонами(квадратами), линиями(границы сети) и точками(центры полигонов). Масштаб детализации задается размерами ячеек сети, т.е. количеством узлов. Не имеет смысла строить поверхность с точностью превышающей точность исходных данных,

т.е. размер ячейки должен быть не меньше среднего шага цифрования результатов, зависящего от масштаба исходной карты. Затем слой добавляется в композицию тематических слоев средствами ГИС.

Второй этап состоит в получении данных в каждой точке сетки из каждого слоя. Чтобы найти значение в каком-либо слое в определенной точке, нужно решить задачу принадлежности точки полигону растрируемого слоя. Затем найти в таблице атрибутов по идентификатору полигона его значение и присвоить его точке сетки. В результате получается прямоугольная таблица: столбцы - признаки (координаты X и Y, значения слоев), строки – точки.

Третий этап не обязателен. Он продиктован особенностями векторного представления полей признаков. При векторизации поля данных огрубляются путем определения линий уровня с некоторым шагом и создания полигонов на их основе. После растеризации полигональных слоев точность полей кардинально не меняется, однако сгладить данные и убрать крупные линейные участки бывает иногда полезно.

Существует большое количество методов позволяющие восстанавливать непрерывные поля признаков по дискретным данным в целях получения значений в узлах регулярной сети. К наиболее известным методам можно отнести методы минимальной кривизны, радиальных базисных функций, триангуляции, кригинга, ближайшего соседа, обратного расстояния в степени.

Для визуализации данных, представленных в виде матрицы узловых значений сетки, необходимо подготовить полигональный слой, состоящий из полигональных объектов. Таблица узловых значений сетки, которую необходимо визуализировать, сохраняется в качестве файлов базы атрибутивных данных, читаемых ГИС программой. После идентификации объектов слоя каждой ячейке будет присвоено значение определенного узла в качестве атрибутивной информации.

4.6. Выводы по главе

На основе предложенных методов и технологий, разработано алгоритмическое и программное обеспечение для электронного картографирования результатов исследований на примере Кузбасского угленосного бассейна. Рассмотрены вопросы расширения функциональности электронного картографирования к поставленным задачам, разработан специализированный графический редактор объектов электронных карт, приведено программное обеспечение для построения компьютерных геоизображений.

Контроль процесса добычи полезных ископаемых осуществляется с использованием тематических электронных карт. Это позволяет учитывать пространственно-атрибутивную привязку значимых объектов при обработке оперативной информации и проведение мониторинга ведения горных работ в зоне ответственности угледобывающих предприятий, что, в свою очередь, позволяет получать наглядное представление о напряженно-деформированном состоянии породного массива и тем самым осуществлять информационную поддержку при ведении горных работ.

5. РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ.

5.1. Расчетная модель. Факторы, учитываемые моделью.

При проведении вычислительных экспериментов для расчета параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород, взаимодействующего с секцией механизированной крепи использовался алгоритм метода конечных элементов, как одного из методов, удобных для построения вычислительных процедур, позволяющих учитывать дополнительную информацию о специфике решаемой задачи. Учитывая значительный рост быстродействия и объемов машинной памяти современных персональных компьютеров, метод конечных элементов может быть рекомендован как общий метод для решения любых геомеханических задач, описываемых дифференциальными уравнениями с частными производными и системами.

Основная идея метода конечных элементов заключается в следующем: сплошная среда (например, углепородный массив) моделируется путем разбиения ее на небольшие области (конечные элементы), в каждой из которых поведение среды описывается с помощью отдельного набора достаточно простых выбранных функций, представляющих собой напряжения и перемещения в указанной области. Эти наборы функций пытаются выбрать так, чтобы удовлетворить условиям непрерывности описываемых ими характеристик всей среды в целом.[170]

При исследовании геомеханических процессов, происходящих в сложной системе «углепородный массив с накоплением деструктивных изменений – механизированная крепь с периодически изменяемым распором гидростоек»

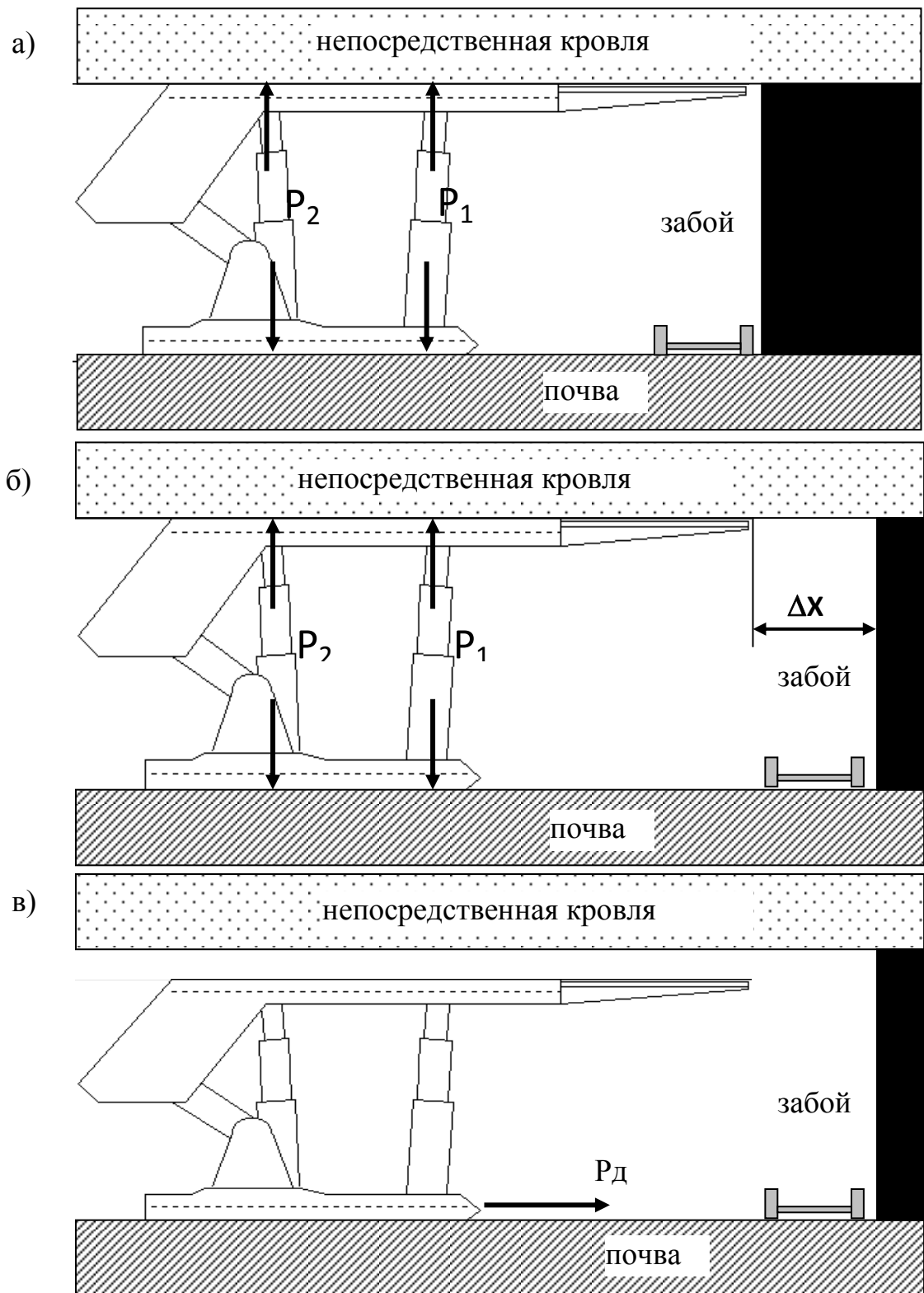


Рисунок 53. Три такта положения крепи моделируемые в каждом цикле движения КМЗ: а – крепь расперта у поверхности забоя; б – крепь расперта на расстоянии снятой стружки $\Delta X = 0,8$ м; в – крепь опущена и перемещается к поверхности забоя

моделирование представляет собой многошаговый процесс постепенной формализации, начиная от концептуальной модели описания изучаемого процесса до реализации математической модели.

Идея развития алгоритма метода конечных элементов для расчета геомеханических параметров угленосного массива и вмещающих пород циклически движущегося очистного забоя заключается в представлении каждого цикла выемки угля в виде трех тактов (рисунок 53). [171]

В первом такте подается давление в гидросистему и происходит распор верхнего перекрытия крепи и пород кровли. Породы кровли за счет сжатия деформируются на 10-50 мм и если в них возникают напряжения выше предельного состояния, то происходит их разрушение на отдельные куски с образованием трещин, т.е. наблюдается переход сплошной среды к дискретной.

Во втором такте происходит снятие угольной стружки. Крепь находится в пережнем состоянии, но увеличивается расстояние от поверхности забоя до механизированной крепи на 0,63 м. Над козырьком и впереди секции крепи возможно высыпание дискретного породного массива, что приводит к образованию куполов.

В третьем такте выполняется разгрузка крепи и вмещающих пород. Происходит снятие давления в гидросистеме и верхнее перекрытие крепи опускается на 50 – 70 мм и породы кровли также деформируются на эту же величину. Далее происходит передвижка разгруженной секции крепи к забою на расстояние 0,8 м, при этом объем незакрепленных пород увеличивается, а за передвинутую часть секции они вообще могут разрушиться.

Метод имитации циклического движения очистного забоя состоит из пяти модулей: управляющего модуля, модуля формирования триангуляционной сети, модуля решения и модуля записи усеченной совокупности результатов в дисковые файлы (рисунок 54).

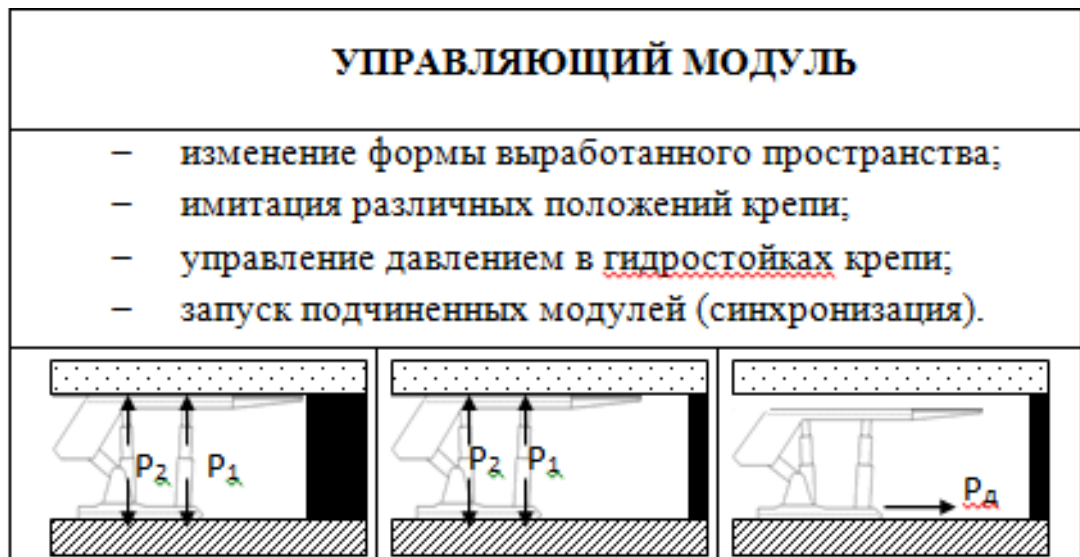


Рисунок 54. Метод прогноза параметров геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом на базе программно – технического комплекса

Управляющий модуль осуществляет имитацию движущегося процесса выемки угольного пласта, заключающегося в изменении размеров и формы выработанного пространства, имитации различных положений секции механизированной крепи, управлении давлением в гидростойках крепи и поочередный запуск оставшихся четырех модулей в определенной последовательности.

Движение механизированной крепи осуществляется поочередным расчетом трех состояний. Первое состояние - секция механизированной крепи у поверхности забоя, давление в гидростойках крепи рабочее. В это время происходит снятие комбайном угольной полосы.

Второе состояние - секция механизированной крепи на расстоянии снятой угольной полосы, давление в гидростойках крепи остается рабочим. В этом случае увеличивается размер длины консоли зависания пород кровли, т.е. происходит изменение размеров и формы выработанного пространства.

Третье состояние - секция механизированной крепи на расстоянии снятой полосы, давление в гидростойках крепи пониженное, осуществляется передвижка крепи к поверхности забоя.

Прогнозирование предложено осуществлять с помощью пошаговой процедуры на основе имитационного моделирования процесса взаимодействия углепородного массива с угледобывающим комплексом. Имитационное моделирование при этом осуществляется путем вычислительного эксперимента, проводимого на персональном компьютере с математической моделью, имеющей возможность поднастройки на основе актуализированных данных геомониторинга. Поднастройку математической модели удобно производить с помощью поисковых методов с деформируемыми конфигурациями, реализующих пошаговое движение в пространстве настраиваемых параметров.[172] Реализация численных методов механики горных пород, в частности метода конечных элементов, характеризующегося “проклятием размерности”, и поисковых процедур, осуществляющих

пошаговое движение в пространстве настраиваемых параметров, в рамках решения одной и той задачи требует мощной аппаратной платформы и выдвигает перед исследователем проблему распараллеливания вычислений. Эта проблема может быть решена путем использования транспьютерных средств или сетевых технологий [173]. В данной работе за основу была принята несколько измененная структура автоматизированной системы научных исследований (АСНИ), представленная на рисунке 55.

Решения (численные значения геомеханических параметров), полученные на каждом шаге с использованием типовых процедур конечно-элементного анализа, накапливались в дисковых файлах для дальнейшего анализа и представления данных в необходимых формах.

На основе обработки ретроспективных данных, полученных путем имитационного моделирования, производилось описание характера взаимодействия объектов исследуемой системы при варьировании различными горно-геологическими и горнотехническими факторами в достаточно широком интервале их допустимых значений.

В основу алгоритма положены дифференциальные уравнения, описывающие взаимодействие системы “механизированная крепь – углепородный массив”, решение которых производится численно, например, методом конечных элементов. Поскольку любая из реальных задач имеет те или иные отличительные особенности, произведена адаптация алгоритма МКЭ и соответствующего программного обеспечения. [174]

В частности, область исследований, имеющая длину около километра и глубину порядка 500 и более метров, расчленяется на две подобласти: локальную, представляющую собой зону техногенного взаимодействия комплекса с углепородным массивом, и окружающую, размер которой диктуется необходимостью поддержания достаточной точности получаемых результатов за счет соблюдения граничных условий.

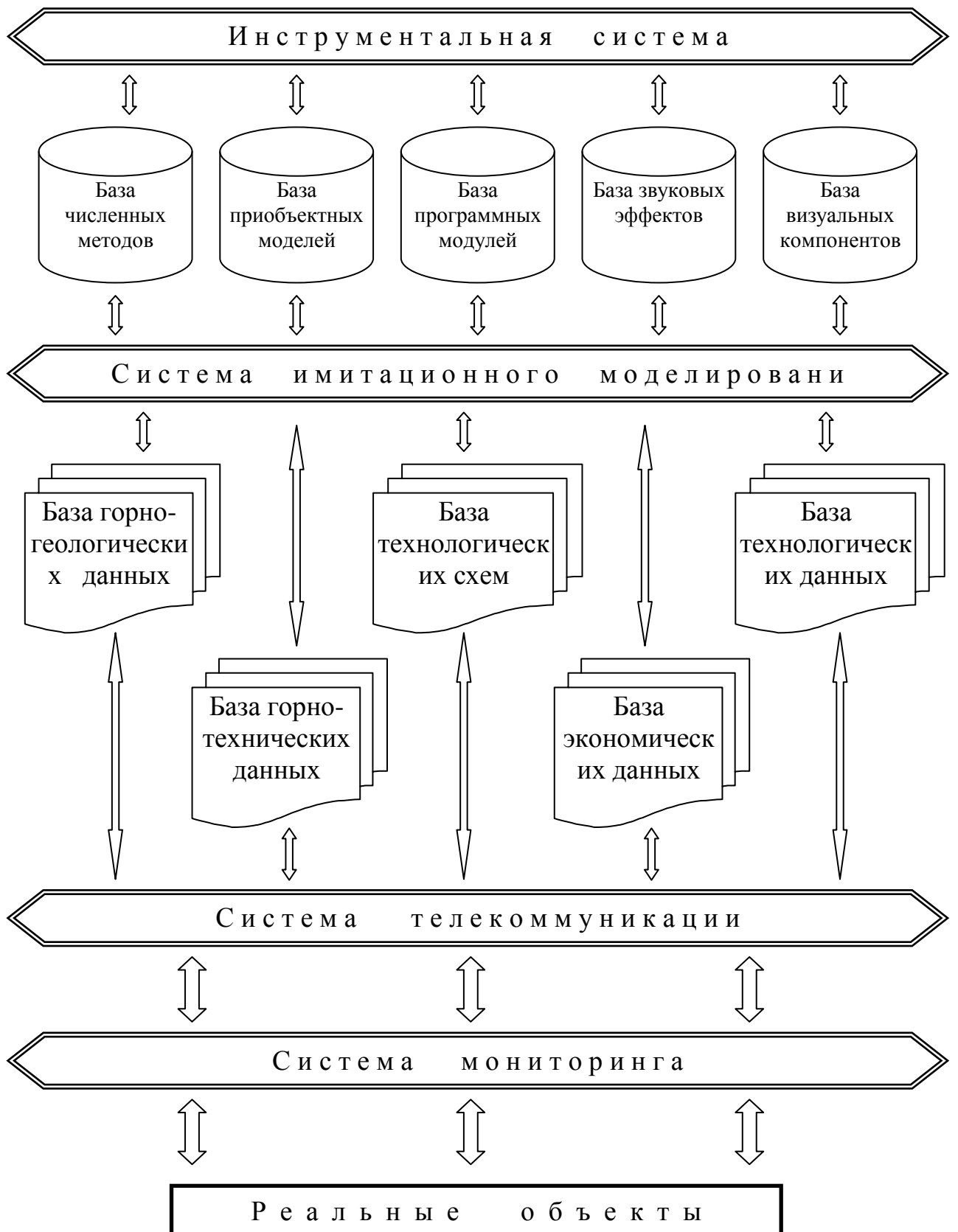


Рисунок 55. Блок-схема АСНИ на базе имитационного моделирования

В соответствии с этим, разбиение области исследований на четырехугольные зоны осуществляется с помощью двух самостоятельных программ. Первая из них производит разбиение локальной области, выводимой на экран ПК. Локальная область представляет собой плоское сечение углепородного пласта с отображением выработанного пространства и секции механизированной крепи.

Вторая программа имплантирует локальную область окружающую и производит ее разбиение. При работе этих программ, как уже отмечалось, производится визуальное отображение областей. В качестве основного инструмента для разбиения используется мышь. Программное обеспечение в целом содержит семь самостоятельных программных единиц. Две из них были только что описаны.

Третья программная единица формирует конечные элементы и определяет необходимые параметры их. Запись результатов производится в файлы, данные из которых считываются другими программами пакета.

Четвертая программная единица представляет собой графический редактор позволяющий корректировать положение узлов конечных элементов и изменять характеристики последних. Отображение области исследований производится с помощью перемещающегося окна, в котором можно изменять масштаб.

Пятая программная единица формирует глобальную матрицу жесткости ленточного типа, корректирует ее с учетом граничных условий, решает систему уравнений и тем самым определяет перемещения в узлах и производит расчет напряжений.

Шестая программная единица производит корректировку полученных результатов с учетом изменения свойств пород в зоне влияния выработанного пространства.

Седьмая программная единица служит для выбора области отображения результатов и конвертирования данных в самостоятельные приложения, имеющие средства деловой графики.

Модуль подготовки исходных данных запускается каждый раз после изменения положения угольного комбайна и секции механизированной крепи. Он отвечает за формирование триангуляционной сети как для нетронутого углепородного массива, так и для массива горных пород с выработанным пространством и поддерживающей крепью. Для создания новой триангуляционной сети передаются данные о структуре горного массива с физико-механическими свойствами отдельных пород в каждом слое и параметр, определяющий, для какого массива горных пород осуществляется разбиение – в упругой или упругопластичной задаче. При необходимости деформирования триангуляционной сети в интерактивном режиме запускается специализированный графический редактор.

В зависимости от параметра, указывающего для какой модели разрушения горных пород производить расчеты, модуль «Решения» выполняет вычисления для нахождения смещений и напряжений в нетронутом углепородном массиве, а также в массиве горных пород с нарушенным равновесным состоянием в котором происходит перераспределение гравитационных сил с зоной техногенного воздействия очистного забоя. При работе он обращается к дисковым файлам с физико-механическими свойствами конечных элементов, а также к геометрическим параметрам механизированной крепи.

Модуль «Наблюдения» служит для экономии технических и программных ресурсов ПК. Результатом работы предыдущего модуля является создание файла с базой данных полученных результатов, имитационного моделирования процесса выемки угля. Поскольку область исследований переставляет собой небольшую часть конечных элементов, то по заданным координатам условного окна наблюдения формируется дисковый файл, в

который записываются результаты полученных полей напряжений и смещений, конечные элементы которых находятся внутри заданной области исследований.

Модуль «Визуализация» служит для анимации технологического процесса выемки угля и индикации процесса получения точечного решения, поскольку процесс решения может занимать достаточно продолжительное время даже на компьютерах с мощной аппаратной платформой. При желании окно анимации может быть отключено.

5.2. Автоматизация и инструментальные средства построения геометрической модели.

При расчете нагрузок, действующих на механизированную крепь, с использованием метода конечных элементов (МКЭ), мы имеем дело с достаточно сложной системой: «анизотропный углепородный массив - выработанное пространство - секция механизированной крепи». [175]

Одним из этапов решения задачи МКЭ является разбиение области исследований на конечные элементы. Этот этап не имеет теоретического обоснования. Однако, качество результатов существенным образом зависит от совершенства разбиения и нумерации узлов. Для того, чтобы обеспечить условия непрерывности исследуемых смещений между соседними элементами, триангуляционная сеть должна быть достаточно густой, а количество треугольников весьма большим. Учитывая, что в процессе решения для каждой вершины определяется несколько параметров, исследователь имеет дело с огромными массивами данных. Из этих массивов необходимо достаточно часто извлекать данные о конкретных локальных областях, систематизировать их по требуемым параметрам и отображать в графической форме. Это требует, с одной стороны, разработку средств навигации, а с другой стороны, разработку средств деловой графики. [176]

Дискретизация области производится за два взаимосвязанных шага. На первом шаге производится разбиение области исследований на подобласти прямоугольной или треугольной формы, а на втором - разбиение подобластей, а, в конечном итоге, всей области исследований, на конечные элементы. В результате получаем огромное количество конечных элементов, связанных между собой в конечном числе узловых точек. В процессе выполнения второго шага производится нумерация элементов и узлов.

Естественное стремление автоматизировать и этот этап решения задачи с помощью компьютера заставляет исследователей создавать специальные программные средства разной степени сложности от специальных программ-препроцессоров до простейших графических редакторов. Сложность процедуры разбиения состоит в том, что все узлы триангуляционной сети должны находиться на границах сред и между ними, но любой конечный элемент должен находиться в пределах одной и той же среды, будь это уголь, металл или породный слой.

При исследовании взаимодействия секции механизированной крепи с углепородным массивом очень часто принимается, что все слои углепородной толщи за исключением самого верхнего слоя - наносов - параллельны. Это несколько упрощает процедуру разбиения, в результате которой получаются подобласти в виде параллелограммов, каждый из которых находится в одной и той же среде. Однако, при внесении проекции секции механизированной крепи в область исследований процедура разбиения существенно усложняется. Это связано с тем, что кроме вертикальных линий и линий параллельных пласту, появляются линии общего положения, являющиеся контуром гидростоек. По этой причине приходилось корректировать положение узлов конечных элементов вблизи гидростоек вручную или с помощью графического редактора.

Изменение стратегии проведения этой процедуры позволило все же автоматизировать ее. Суть новой стратегии заключается в том, что при исследовании взаимодействия секции механизированной крепи с углепородным

массивом область исследований расчленяется на две подобласти: локальную, представляющую собой зону техногенного взаимодействия угледобывающего механизированного комплекса с углепородным массивом, и окружающую, размер которой диктуется необходимостью поддержания достаточной точности получаемых результатов. [177] Локальная область, таким образом, представляет собой вертикальный разрез области техногенного взаимодействия с отображением сечений: породных слоев, выработанного пространства, секции механизированной крепи. Линии разбиения в локальной области должны быть расположены определённым образом, с учетом очертаний выработанного пространства и положения различных элементов находится внутри области, с конкретными свойствами. Так как нас интересуют поля смещений и напряжений именно в локальной области, количество линий должно быть достаточно большим.

Характер и параметры разбиения окружающей области могут быть иными. Они диктуются, с одной стороны необходимостью поддержания приемлемой точности получения результатов, а, с другой стороны, ограничениями программного и технического характера и стоимостью выполняемых расчетов.

Разбиение начинается с локальной области. Для разбиения в автоматическом режиме используется лемма трех линий, суть которой заключается в следующем. Любой узел локальной области представляет собой точку пересечения трех линий: линии контура секции крепи, вертикальной линии и линии, параллельной пласту. При пересечении вертикальной линии с линией контура секции механизированной крепи автоматически генерируется линия, параллельная пласту, и наоборот, при пересечении линии, параллельной пласту, с линией проекции секции крепи автоматически генерируется вертикальная линия.

Поскольку, в автоматическом режиме дискретизация была произведена по границам различных сред, пользователю также предоставляется

возможность самостоятельно изменить количество вертикальных и горизонтальных линий внутри каждой среды, как в локальной, так и в окружающей областях. Такой прием позволяет увеличить количество элементов триангуляционной сети во всей области исследования.

Для дискретизации окружающей области в автоматическом режиме было разработано и реализовано несколько алгоритмов программ, сущность которых сводилась к увеличению размеров конечных элементов.

Описанный алгоритм был реализован в виде программы производящей автоматическое разбиение и разбиение с участием исследователя. Окно работающей программы представлено на рисунке 56.

Вид конечного элемента и количество слоев задается пользователем, а программа сама обрисовывает вид триангуляционной сети на экране ПК. В других программах указывается во сколько раз и в каких слоях увеличивать конечные элементы, что позволяет по мере удаления от локальной области исследования автоматически увеличивать размеры конечных элементов.

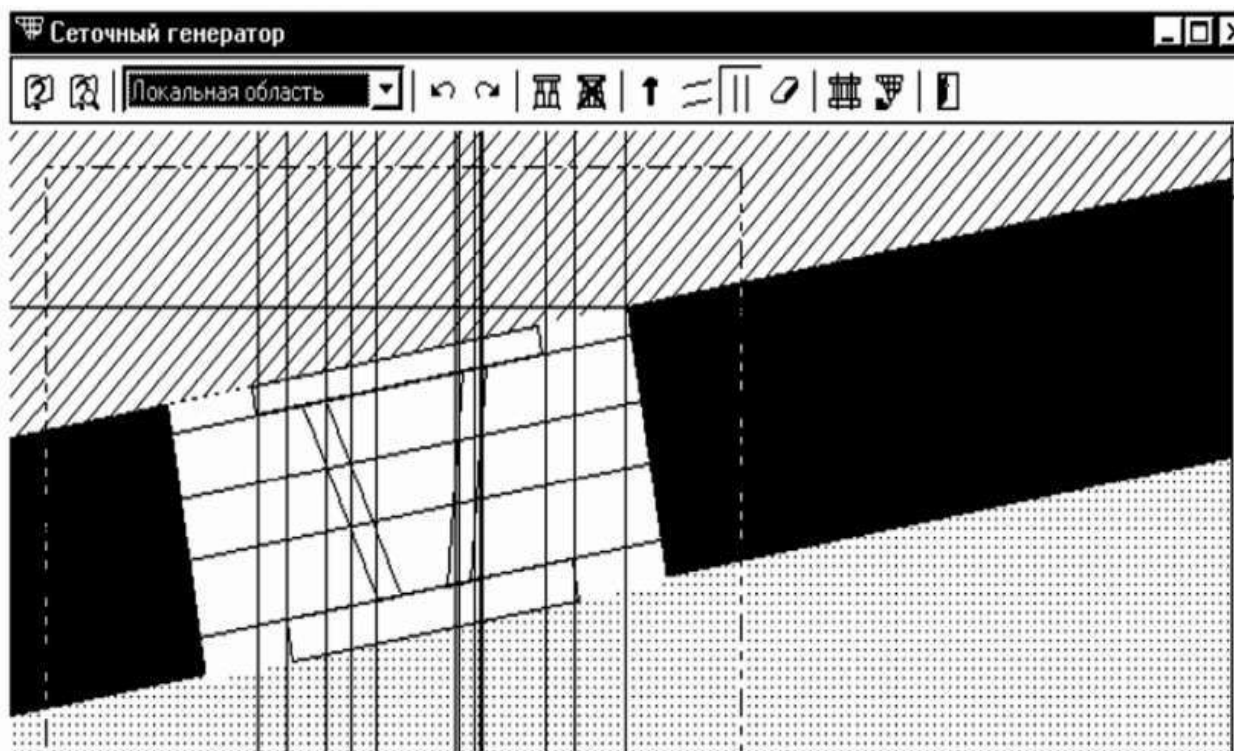


Рисунок 56. Окно работающей программы

Для изучения динамических процессов, протекающие в углепородном массиве с учетом циклического движения очистного забоя, возникает необходимость отрисовки перпендикулярных линий сети впереди угольного забоя на равноудаленном расстоянии друг от друга, равному шагу передвижки секции механизированной крепи (0,63 м). В связи с этим, задав количество передвижек механизированной крепи или расстояние от начала движения до исследуемой области, на экране появляется соответствующее количество перпендикулярных линий в угольном массиве. В результате формируется новый вид триангуляционной сети.

Выше описанные алгоритмы позволяют увеличить скорость обработки данных, уменьшить стоимость подготовительных работ, а также наглядно обозреть триангуляционную сеть конечных элементов в специализированных редакторах.

Как было сказано выше, при расчете нагрузок, действующих на механизированную крепь, с использованием МКЭ, мы имеем сложную систему «анизотропный углепородный массив - выработанное пространство - секция механизированной крепи». Принципиальным отличием этой системы является изменение ее геометрических и механических параметров во времени и пространстве. В этих условиях применение современных численных методов моделирования (например, метода конечных элементов) процессов движения окружающей среды и механизированной крепи требуют изменения формы, размеров и деформационных свойств материала конечных элементов.

В связи с этим разработана программа, позволяющая упростить процесс корректировки формы, размеров и положения узлов любого конечного элемента в исследуемой области. Она представляет собой специализированный графический редактор, который используется после машинной процедуры разбиения исследуемой области на конечные элементы. Программа подготовлена в инструментальной системе DELPHI и представляет собой совокупность двух модулей, первый из которых связан с окном выбора режима,

а второй поддерживает окно редактирования, с помощью которого осуществляется корректировка положения вершин конечных элементов относительно выработанного пространства и элементов секции механизированной крепи.

Окно корректировки положения вершин конечных элементов, представленное на рисунке 57, имеет элементы перемещения изображения, его масштабирования и редактирования.

После корректировки положения вершин конечных элементов выполняются следующие шаги расчетной схемы методом конечных элементов.

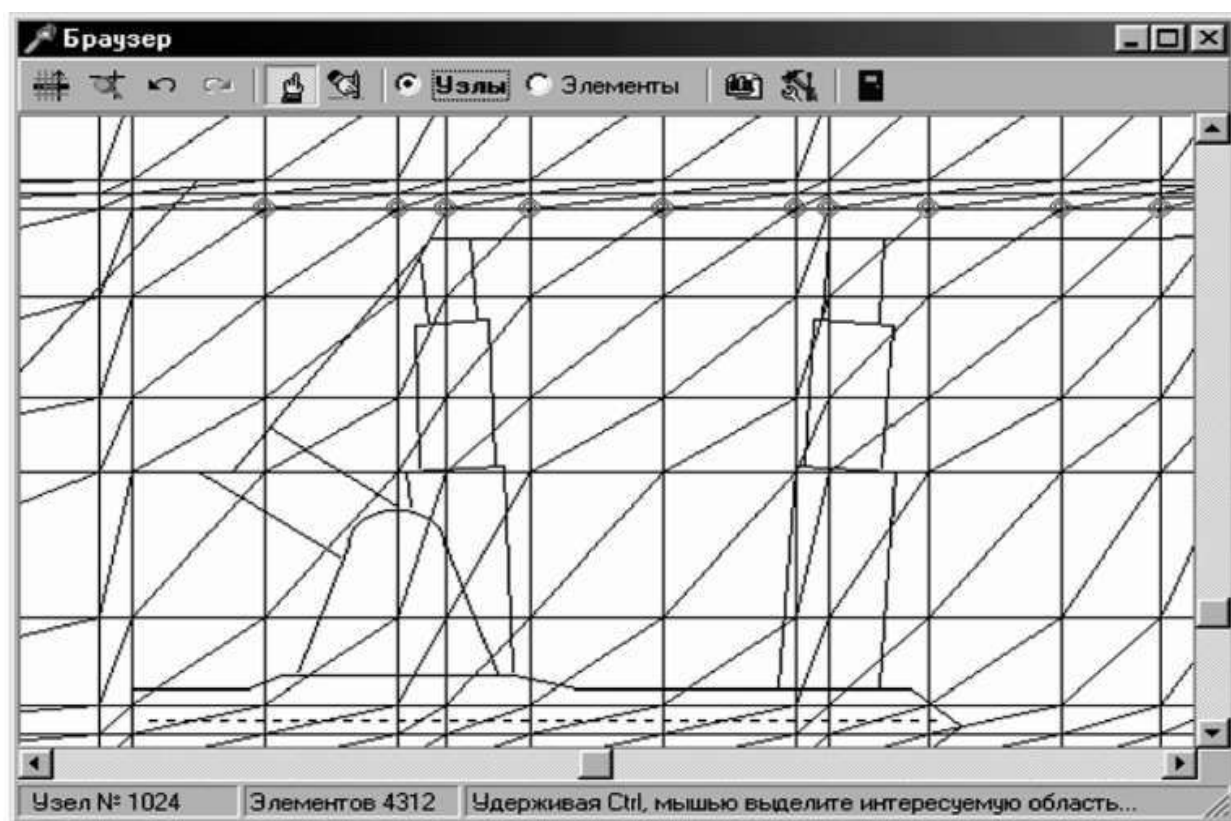


Рисунок 57. Окно редактора для корректировки положения вершин конечных элементов

5.3. Методика расчетно-экспериментального моделирования напряженно деформированного состояния углепородного массива с учетом циклически движущегося очистного забоя.

Большая часть практических задач, решаемых с помощью МКЭ, связана с анизотропными средами. Так при расчете нагрузок на несущую способность крепи, мы имеем дело с системой, в которой принимают участие анизотропный углепородный массив, выработанное пространство и секция механизированной крепи угледобывающего комплекса. Принципиальным отличием этой системы является изменение ее геометрических и механических параметров во времени и пространстве. В этих условиях применение современных численных методов моделирования движения окружающей среды и механизированной крепи требует постоянного изменения формы, размеров и деформированных свойств материала конечных элементов.

Для решения задачи связанной с разработкой алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния породного массива в зоне влияния механизированного комплекса с учетом различных режимов разгрузки и нагружения секции механизированной крепи, был выбран экспериментально-аналитический метод, сущность которого состоит в решении системы дифференциальных уравнений механики горных пород методом конечных элементов. Адаптация метода конечных элементов для решения задач горной геомеханики, связанных с нахождением полей перемещений, близких к фактическим, обеспечивалась путем добавления к классическому алгоритму МКЭ адаптирующей части, представляющей собой набор пересчетных настраиваемых моделей для расчета скорректированных значений механических характеристик горных пород, обеспечивающих соответствие расчетных данных к реальным. Кроме того, для увеличения достоверности или адекватности модели возникла необходимость учета старых данных циклически-движущегося очистного забоя. [178]

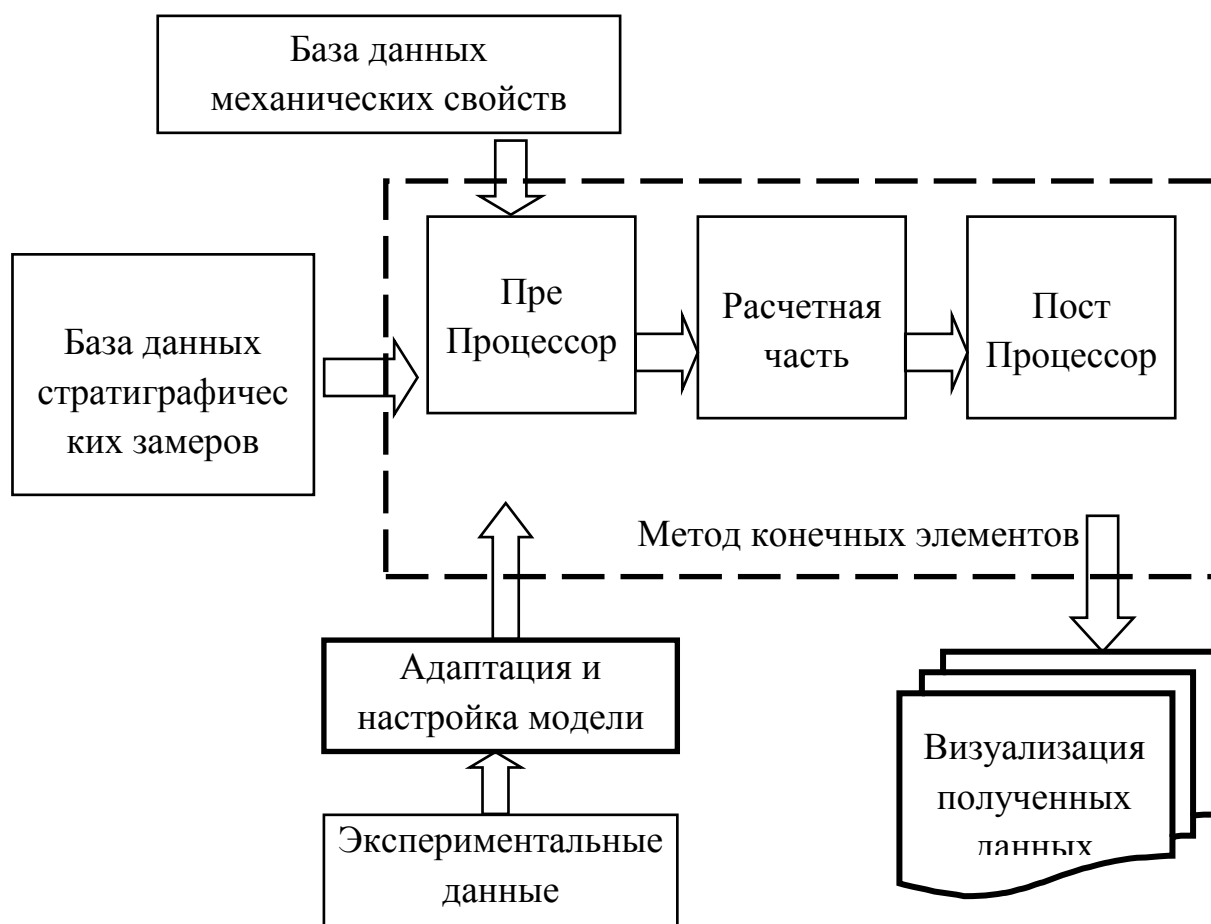


Рисунок 58. Механизм настройки модели для расчета геомеханических параметров угленосного массива

Механизм настройки модели представлен на рисунке 58. Выбор структуры моделей адаптирующей части производился на основе обработки реальных данных о породных слоях Кузнецкого угольного бассейна, приведенные в справочниках. Настройка коэффициентов этих моделей производилась с помощью компьютерной программы, реализующей поисковый численный метод, известный в литературе как метод симплексного планирования экспериментов.

Результаты замеров смещений пород кровли и почвы в шахтных условиях, а также размеры зон разрушенных пород кровли фактических вывалов при движении очистного забоя в угольных шахтах концерна

“Кузнецкуголь”, систематизировались и объединялись в группы с примерно одинаковыми горно-геологическими условиями.

На основе принципов системного анализа и декомпозиции предметной области трехмерный массив горных пород был рассечен совокупностью параллельных плоскостей в направлении глобального движения угледобывающего комплекса. Такое разбиение с некоторой погрешностью позволяет предположить, что геомеханические процессы, протекающие в слоях – подобны. Это, в свою очередь, дает возможность в каждом проходе решать численным методом плоскую задачу для одного слоя заданной толщины.

Программный комплекс для решения поставленной задачи может представлять собой совокупность блоков:

- блок подготовки данных пачки породных слоев;
- блок формирования триангуляционной сети;
- блок вычисления значений геомеханических параметров;
- блок визуализации процессов;
- блок воспроизведения производственных шумов;
- блок анимации изображения;
- блок имитации движения комплекса.

В данном контексте под блоком понимается не отдельная часть конкретного приложения, а набор модулей, обладающих подобной функциональностью.

Пакет для решения задач расчета напряженно-деформированного состояния породного массива выполнен в виде набора программ, каждая из которых реализует соответствующий этап решения задачи. Комплекс программ для исследования процессов взаимодействия механизированных крепей с углеродным массивом состоит из трех этапов:

- подготовка исходных данных;
- решение системы уравнений;
- визуализация результатов расчета.

Первый этап, подготовки исходных данных, состоит из четырех программных единиц, каждая из которых имеет собственную базу данных. (Рисунок 59) В результате работы этих программ формируется файл, в котором записаны номера конечных элементов и узлов. Там же указываются геометрические размеры и свойства углеродного массива, выработанного пространства и механизированной крепи в исследуемой области.

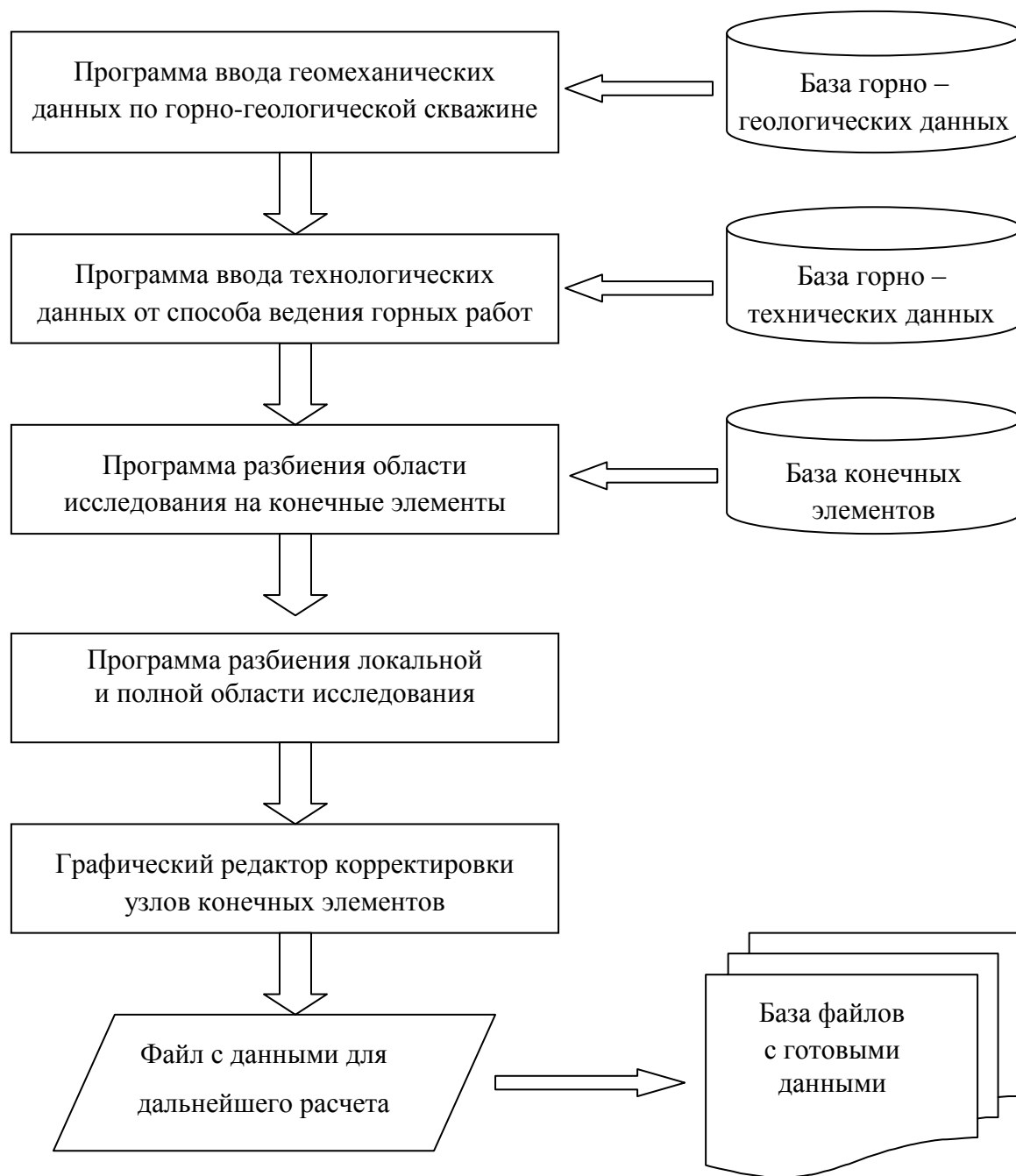


Рисунок 59. Общая схема препроцессора

На втором этапе решается матрица ленточного типа методом Гаусса. После определения ширины полосы матрицы, используя дифференциальные уравнения нахождения перемещений в узлах конечных элементов и напряжений в них, получаем большие массивы расчетных результатов.

Блок вычисления значений геомеханических параметров служит для решения плоской задачи методом конечных элементов. (Рисунок 60) На этом этапе формируется глобальная матрица жесткости ленточного типа, на основе данных о конечных элементах, хранящихся в дисковых файлах, решается система линейных алгебраических уравнений методом Гаусса, определяются величины смещений в узлах. По найденным значениям смещений в узлах рассчитываются другие требуемые результаты с учетом принятой модели.

Поскольку системы уравнений обычно очень большие необходимо попытаться уменьшить ширину полосы матрицы. Это достигается путем последовательной нумерации узлов конечных элементов в направлении наименьшего размера дискретной области исследования.

После нумерации узлов элементов получается матрица ленточного типа вместо полной матрицы. Ленточная матрица характеризуется тем, что все ее ненулевые коэффициенты располагаются вблизи главной диагонали, а все коэффициенты за пределами некоторой полосы, ограниченной линиями, параллельными главной диагонали, равны нулю. Схематично матрица изображена на рисунке 61. Ширина полосы ленточной матрицы показана штриховыми линиями.

Наличие симметричной положительно определенной матрицы означает, что примерно половину ненулевых элементов матрицы можно не запоминать, что значительно сокращает объем вычислений и уменьшает вероятность больших ошибок округления.

Результирующая система уравнений имеет вид $[K] \cdot \{\Phi\} = \{F\}$, она получается суммированием уравнений для всех элементов. Эта система должна быть преобразована, если некоторые составляющие $\{\Phi\}$ известны.



Рисунок 60. Общая схема решения системы уравнений

Ширина
полосы

$$\begin{bmatrix} N & N & N & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N & N & N & N & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N & N & N & N & N & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N & N & N & N & N & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N & N & N & N & N & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N & N & N & N & N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & N & N & N & N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N & N & N \end{bmatrix}$$

Рисунок 61. Общий вид матрицы коэффициентов системы уравнений

В задачах теории упругости должны быть фиксированы некоторые перемещения с тем, чтобы исключить перемещение среды как жесткого тела. Поэтому в нашей задаче принято, что перемещения в узлах триангуляционной сети, находящихся на границе исследуемой области, равны нулю.

Таким образом, в результате составления системы уравнений получаем симметричную матрицу коэффициентов уравнений, причем наибольшие ее коэффициенты расположены на главной диагонали. Метод исключения основан на том, что любая неизвестная может быть исключена из всех уравнений, следующих за тем, в котором эта неизвестная находится на главной диагонали. Поскольку реальные решаемые системы с большим количеством уравнений имеют матрицу с шириной полосы R , то только R уравнений этой системы видоизменяются после каждого отдельного исключения. Это приводит к экономии машинного времени.

Метод Гаусса решается в два этапа. Первый состоит в превращении исходной матрицы в верхнюю треугольную матрицу. Этот этап называют

прямым разложением матрицы, поскольку матрица жесткости переходит в более простую матрицу. На втором этапе решается полученная система уравнений. Решение системы уравнений получается методом обратной прогонки. После определения узловых значений производится расчет напряжений в центрах конечных элементов. Так как область исследования представляет собой анизотропную среду, то, используя модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ для различных материалов и пород, решаем дифференциальные уравнения для каждого конечного элемента.

Блок визуализации процессов служит для представления результатов в графической форме для улучшения их восприятия и обзримости. Пользователю необходимо предоставить возможность выбора узлов или конечных элементов и интересующих данных, отображаемых на соответствующих графических компонентах. Совокупность такого рода сервисных процедур называется постпроцессорной обработкой (рисунок 62).

Описанная выше совокупность блоков позволяет осуществлять точечное решение задачи. Для исследования динамики протекающих процессов нужны наборы данных, полученные для различных временных интервалов. Для формирования файлов данных, отражающих динамику изменения геомеханических параметров, служит блок имитации движения угледобывающего комплекса. Программы, моделирующие движение комплекса, осуществляют пошаговую корректировку данных о размерах выработанного пространства и положения крепи, осуществляют точечный расчет геомеханических параметров и производят запись в соответствующие файлы. При необходимости осуществляется визуализация процесса движения крепи, с использованием средств мультимедиа. Эти функции выполняются блоком анимации изображения и блоком воспроизведения производственных шумов.

В заключение отметим, что пакет для исследователя должен предоставляться в виде набора исходных модулей с тем, чтобы он (пакет)

представлял собой платформу для конструирования и внесения различного рода изменений в алгоритмы расчетов. Любая программа или процедура пакета могут быть заменены на альтернативные без всяких проблем.

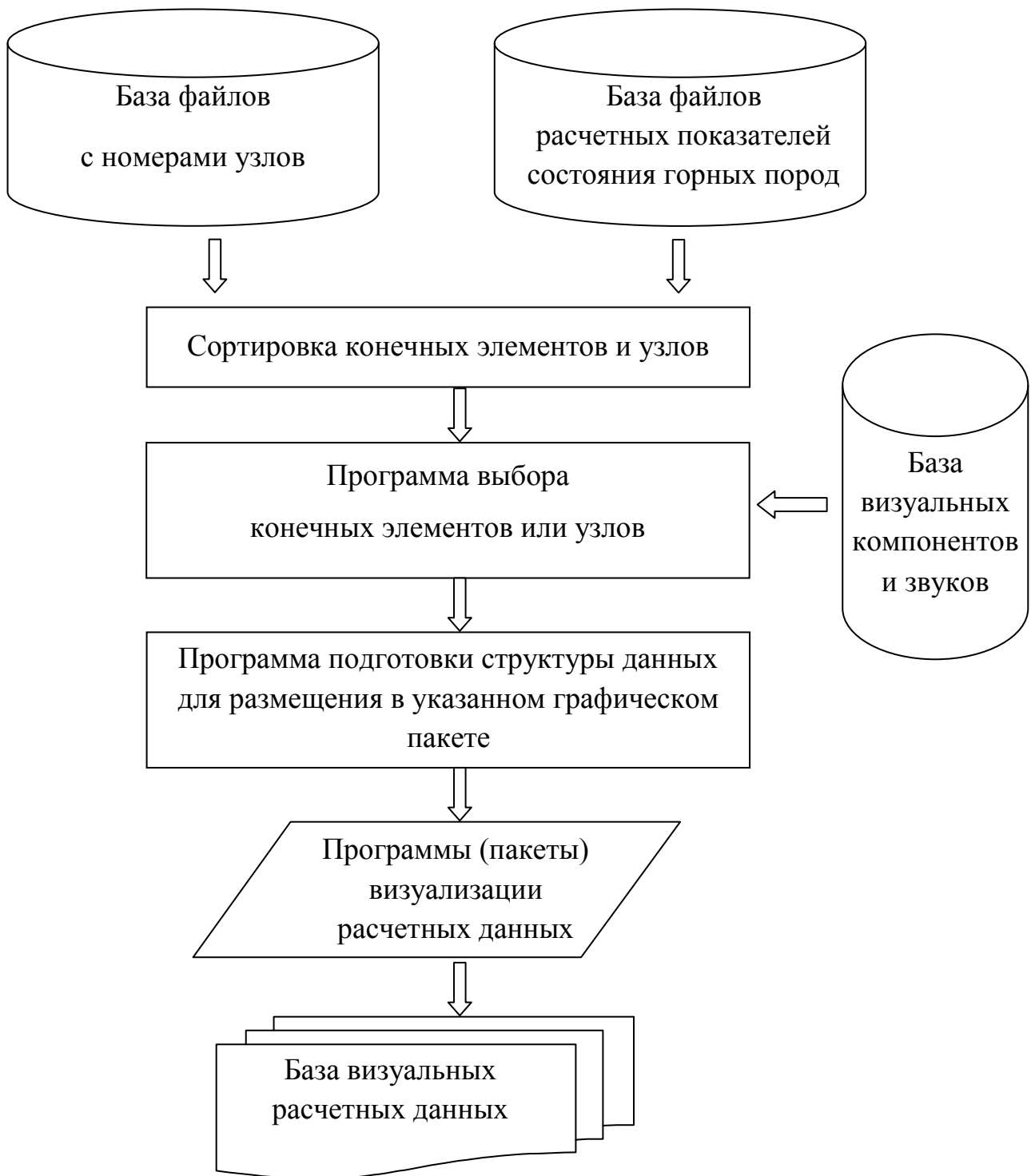


Рисунок 62. Функциональная схема постпроцессорной обработки данных

5.4. Инструментально-программные средства специализированной геоинформационной системы.

Как и любая информационная система, разрабатываемая нами специализированная геоинформационная система, служащая для изучения и анализа геомеханических процессов протекающих в зонах ведения горных работ, состоит из программно-технического комплекса, включающий в себя совокупность технических средств, программное обеспечение и инструктивно-методические материалы (рисунок 63).

Инсталлировать программное обеспечение можно разными способами в зависимости от способа использования программного обеспечения. Если в процессе проведения вычислительных экспериментов не требуется модификации разработанных моделей геомеханического взаимодействия, нагружения, разупрочнения массива горных пород и другие, то инсталляция программного обеспечения сводится к копированию исполняемых модулей. Емкость загрузочного модуля программы имитации движения очистного забоя составляет 540 килобайт. Если же пользователь предполагает вносить изменения в разработанное программное обеспечение, то необходимо установить объектно-ориентированную инструментальную систему с соответствующим набором динамических библиотек и скопировать все исходные модули используемых прикладных программ.



Рисунок 63. Состав специализированной ГГИС

Независимо от выбранного подхода к использованию специализированного программного обеспечения необходимо придерживаться к структуре размещения подкаталогов на машинном носителе в соответствии со схемой, представленной на рисунке 64. Такая технология позволяет создаваемые файлы разнести в различные каталоги, в зависимости от готовности размещённых в них данных для дальнейшей обработки другими модулями программного комплекса.

В папке data размещаются файлы данных, как исходных так и формируемых модулями программы. В папке imidz размещается программа имитации циклического движения очистного забоя. Папка dll предусмотрена для размещения динамически-подключаемых библиотек. В папке sborka размещен набор программ-конвертеров служащие для преобразования полученных результатов моделирования из одного формата данных в форматы пригодные для их дальнейшего использования во внешних графических пакетах служащих для наглядного представления полученных результатов. Структура дерева каталогов программного обеспечения имитационного моделирования геомеханических ситуаций в окрестности очистного забоя, разработанного автором, представлена на рисунке 64.

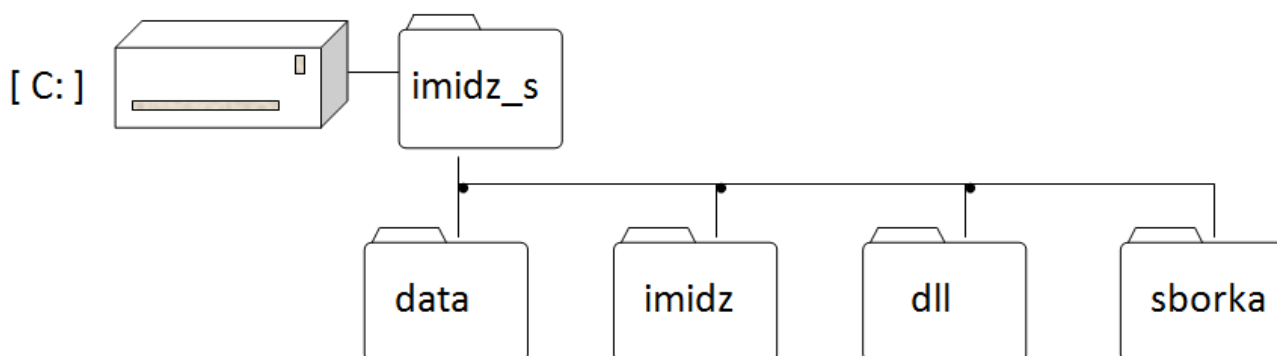


Рисунок 64. Структура дерева каталогов программного обеспечения.

Состав программного обеспечения представлен на рисунке 65. Пакет программ представляет собой набор модулей с возможностью расширяемости программ и объектно-ориентированного подхода. В минимальном варианте он состоит из двух программных единиц. Одна из них осуществляет имитацию движения очистного комплекса с последующим изменением технологических параметров, таких как давление, в гидростойках механизированной крепи, изменение геометрических характеристик выработанного пространства и т.п. Во всех узлах и конечных элементах исследуемой области производятся расчеты количественных значений интересующих параметров, осуществляется запись усеченной совокупности результатов в дисковые файлы.

Вторая часть программного обеспечения осуществляет сборку получаемых значений результатов, попадающих в заданную исследуемую область, путем обработки большого массива данных каждого расчетного слоя,

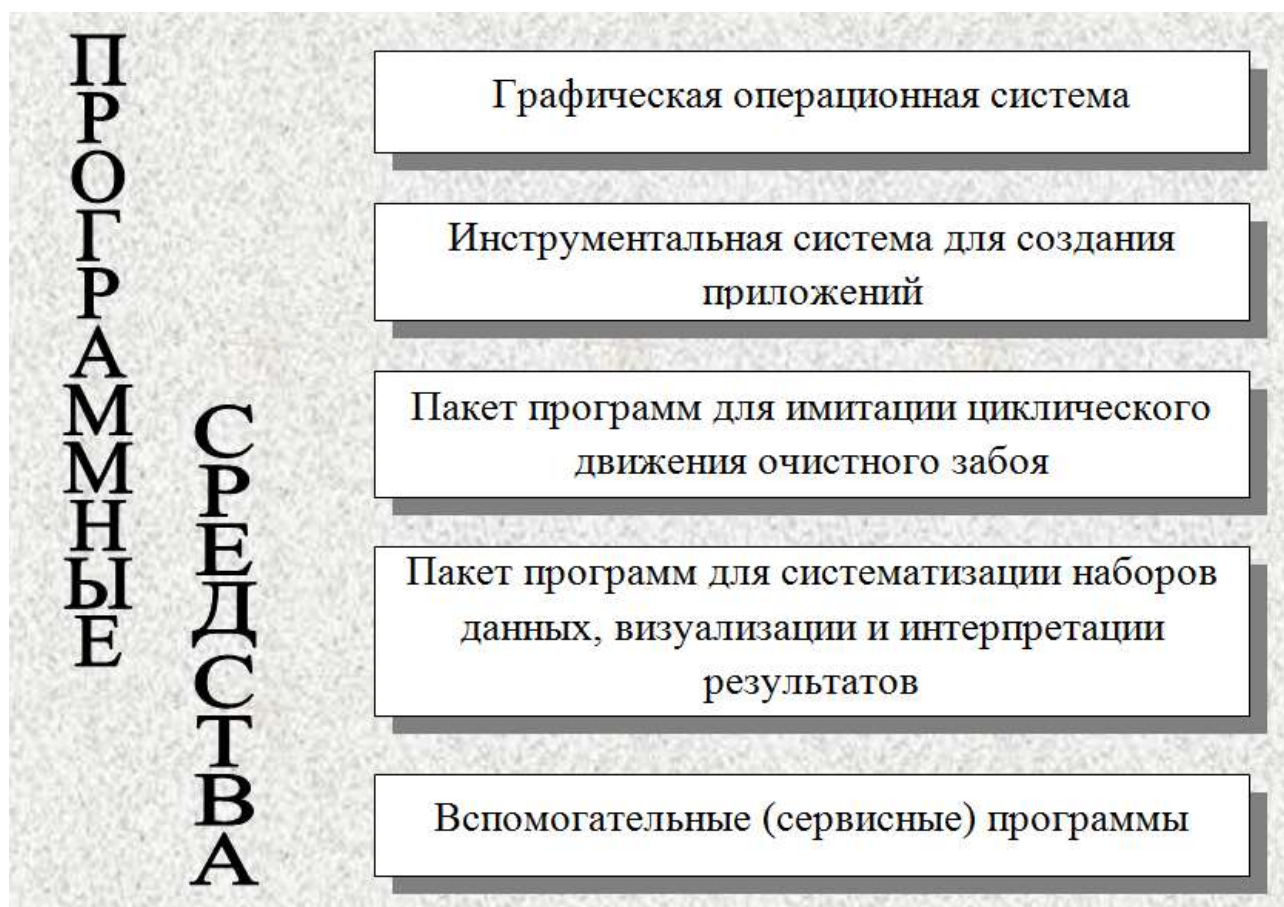


Рисунок 65. Состав программного обеспечения

сформированных в результате имитационного моделирования процесса выемки полезного ископаемого. Подготовленные таким образом массивы данных интересующей локальной области передаются в соответствующий графический пакет для визуализации полученных результатов.

Подготовка исходных данных для реализации методики прогноза параметров напряженного и деформированного состояния горного массива пород с требуемыми подробностями описана в соответствующих технологических инструкциях, входящие в состав инструктивно-методических материалов специализированного программного обеспечения. Ниже приводится лишь краткое описание блоков данных, дающее представление о характере и объеме исходных данных, необходимых для получения количественных показателей, имитационного моделирования технологических процессов выемки угля. Исходные данные, необходимые для работы программы, размещаются в текстовых файлах или считываются из окон пользователя при запуске программы. Они разбиваются по назначению на следующие группы: геологические данные, технологические данные, силовые и геометрические характеристики механизированного комплекса и данные характеризующие область исследования (Рисунок 66). Перечисленный набор показателей может быть сформирован вручную или подготовлен в интерактивном режиме с помощью специальных программ с графическим интерфейсом.

Подготовка текстовых файлов, для исключения различного рода ошибок, сопровождается визуализацией области исследований и позволяет произвести откат назад на любое количество шагов в случае необходимости. Для подготовки данных о породных слоях используются планшеты со статиграфией ближайших к зоне техногенного воздействия геологических скважин. Механические свойства горных пород описываются с помощью интегрального показателя, в качестве которого используется коэффициент крепости по Протодряконову.

Технологические данные	Данные о крепи
<ul style="list-style-type: none"> - мощность вынимаемого слоя - шаг подвигания - тип крепи - количество заходок - длина консоли зависания 	<ul style="list-style-type: none"> - геометрические размеры - координаты точек крепления гидростоек - величина рабочего давления - величина пониженного давления
Данные о массиве горных пород	Данные для окна наблюдения
<ul style="list-style-type: none"> - рельеф земной поверхности - свойства породных слоев - аномальные зоны, положение монтажной камеры 	<ul style="list-style-type: none"> - границы окна - наименование отслеживаемого параметра - система координат

Рисунок 66. Блоки данных по характеру решаемых задач

Как уже было указано ранее, объектом исследования является анизотропный массив горных пород слоистой структуры, ослабленный системой горных выработок и подкрепленный секциями механизированной крепи угледобывающего комплекса. В работе была реализована двумерная модель в сечении, перпендикулярном линии конвейера угольного комбайна или в направлении глобального его продвижения. Величину изменений геомеханических параметров было принято определять как разность между полученными в результате расчета и базовыми значениями. В качестве базовых значений принимались значения соответствующих параметров для ненарушенного массива горных пород (Динникова массива). Анализ, который производится с помощью метода конечных элементов, состоит из трех стадий: препроцессорная подготовка, получение решения и постпроцессорная обработка. Кратко опишем их.

Препроцессорная подготовка исходных данных.

К препроцессингу относят все технологические операции подготовки исходных данных, включая и формирование триангуляционной сети конечных элементов. Если процесс формирования триангуляционной сети автоматизирован, то в пакете имеется один или несколько, так называемых, сеточных генераторов. Данные для работы сеточного генератора, представляющие собой сведения о четырехугольных областях, соответствующих породным слоям, можно подготовить с помощью любого текстового редактора и поместить в дисковый файл.

Так как научные исследования обычно связаны с многократным проведением вычислительных экспериментов с различными наборами данных, возникает необходимость постоянного редактирования файла с исходными данными. При большом объеме данных в таком файле неизбежно возникают проблемы.

Первая проблема связана с преодолением своеобразного психологического барьера, связанного с переходом от реальных представлений об объекте исследования к наборам чисел.

Вторая проблема связана с необходимостью правильного предварительного разбиения области исследований на четырехугольные зоны и нумерацией узлов будущих конечных элементов, для приложения необходимых нагрузок.

Третья проблема связана с появлением различного рода ошибок при формировании наборов исходных данных, таких как: нахождение значения вне допустимого диапазона, не соблюдение последовательности вводимых данных с их выявлением и исправлением.

Преодоление указанных проблем возможно при автоматизации процесса подготовки исходных данных с помощью специальных вспомогательных программ с графическим интерфейсом. Для решения вышеупомянутой задачи, анализа взаимодействия секции механизированной крепи с углеродным

массивом, разработано несколько вспомогательных программ подготовки исходных данных.

Программа подготовки данных о пачке слоев. Это - одна из программ, которая предназначена для подготовки данных о пачке породных слоев, находящихся в области исследований. Исходным документом для подготовки данных служат описания геологических скважин, находящихся вблизи или в поле отрабатываемого участка.

Специфика представления результатов геологоразведочных работ обусловлена не только многомерностью данных, но и сложностью их формализации. При вводе больших массивов исходных данных могут возникать различного рода ошибки, такие как: нахождение значения вне допустимого диапазона, нарушение порядка расположения вводимых чисел и т.п. Желание автоматизировать процесс подготовки исходных данных подтолкнуло на создание специальных вспомогательных программ с графическим интерфейсом.

Ввод геологических данных сопровождается визуализацией стратиграфической колонки, благодаря которой исследователь может увидеть неверно введенные данные. Так как программа позволяет произвести «откат» на любое количество шагов, данные могут быть оперативно исправлены. Неправильная последовательность ввода данных исключается логикой работы программы, а недопустимость вводимого значения контролируется блоком анализа диапазона представления данных.

При вводе геологических данных производится отрисовка породных слоев в виде стратиграфической колонки в соответствии со стандартом: «Горная графическая документация» ГОСТ 2.859-75, благодаря чему исследователь может визуально контролировать правильность введенных данных. Благодаря использованию процедуры транзакции выполненных операций, данные могут быть отредактированы по любому породному слою. Нарушение последовательности ввода исходных данных для формирования

стратиграфической колонки исключается логикой работы программы, а недопустимость вводимого значения контролируется блоком анализа диапазона представления данных каждого породного массива. Для окончательного контроля введенных данных имеется возможность при помощи щелчка мыши по интересующему слою стратиграфической колонки получить полную информацию о нем.

На рисунке 67 представлено окно работающей программы, которое, как мы видим, функционально поделено на две части: левая часть служит для ввода геологических данных о слоях, а правая используется для отображения стратиграфической колонки. Элементы управления, имеющиеся на форме, предназначены для обеспечения требуемой функциональности приложения. Графические компоненты, позволяющие изменять масштаб видимой части колонки и осуществлять продвижение по ней, а также наличие всплывающих подсказок существенно повышают надежность подготовки данных.

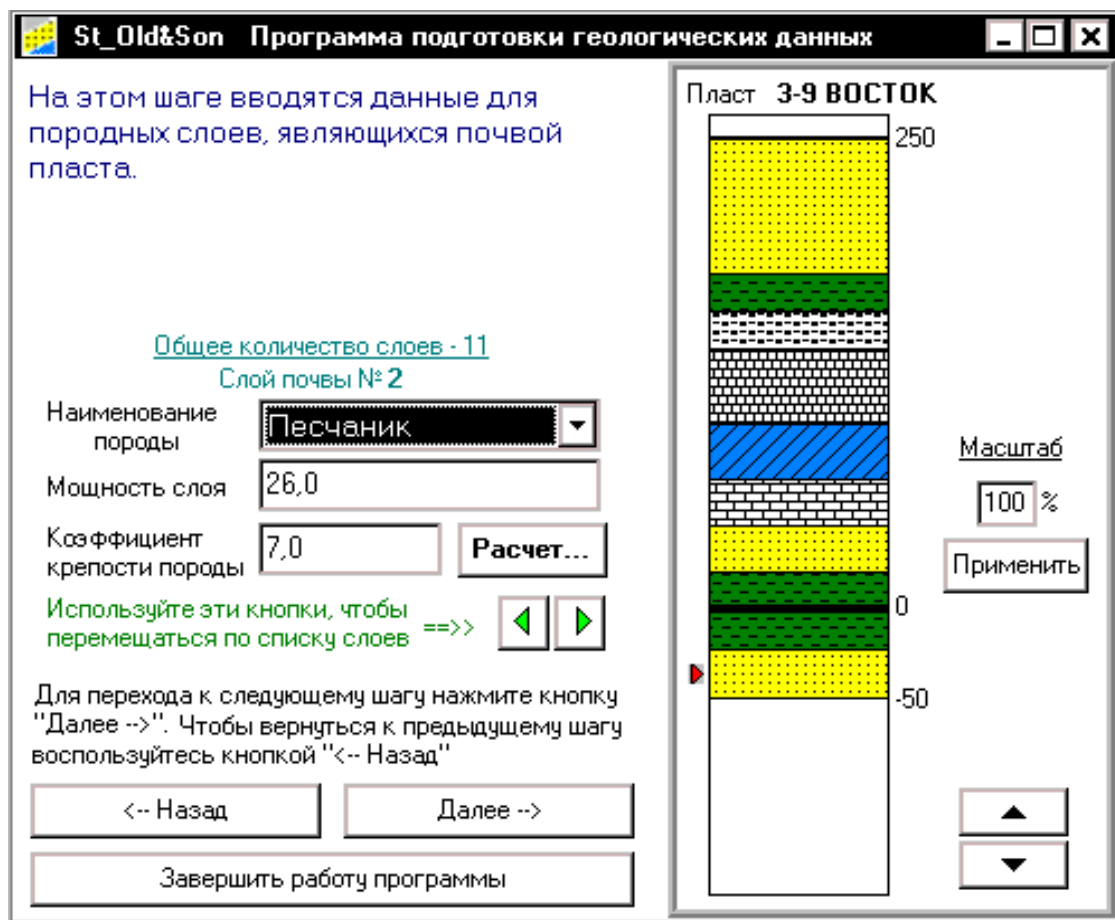


Рисунок 67. Окно программы подготовки пачки слоев.

По окончании работы программы создается текстовый файл, в котором хранятся характеристики породных слоев, упорядоченные методом “пузырька”. После подготовки данных о пачке породных слоев, помещенных в область исследований, в работу включается один из сеточных генераторов пакета.

База горно-шахтного оборудования. Данный программный модуль представляет собой локальную СУБД с базой механизированных крепей, выпускаемые различными заводами изготовителями России, с указанием их силовых и технических характеристик (Рисунок 68). Такая программная единица удобна для подбора оптимальной и альтернативной секции механизированной крепи в зависимости от мощности вынимаемого угольного пласта и несущей способности крепи. В зависимости от геометрических и силовых характеристик крепи, передаваемых в модуль формирования триангуляционной сети конечных элементов, из базы данных соответствующего модуля выбирается подходящая схема выбранной механизированной крепи, в результате чего формируется «правильная» геометрическая модель описания предметной области. Такая модель позволяет

Наименование параметра	Значение	Ед. изм.
Минимальная высота крепи	1 м	
Максимальная высота крепи	3,5 м	
Применимость по мощности пласта min	1,4 м	
Применимость по мощности пласта max	3,5 м	
Угол падения пласта	10	градусов
Удельное сопротивление крепи не менее min	820	КН/м ²
Удельное сопротивление крепи не менее max	860	КН/м ²
Сопротивление крепи min	6800	КН
Сопротивление крепи max	8000	КН

Рисунок 68. Окно работающей СУБД.

«разложить» силы, действующие со стороны крепи на углепородный массив, по осям OX и OY в декартовой системе координат.

В разработке программы были использованы СУБД Firebird и GUI-оболочка IVExpert, предназначенная для администрирования баз данных Interbase и Firebird. Система управления базами данных Firebird была выбрана ввиду того что является компактной, кроссплатформенной и является полностью свободной для лицензионных отчислений даже для коммерческого использования СУБД.

Сеточный генератор производит разбиение области исследований на конечные элементы. Этот этап не имеет теоретического обоснования, однако, качество результатов существенным образом зависит от совершенства разбиения области исследования на конечные элементы и нумерации полученных узлов. Нами предложено область исследований представлять в виде совокупности двух вложенных подобластей: локальной, и окружающей. Локальная область – это вертикальный разрез области техногенного взаимодействия с отображением сечений: породных слоев, выработанного пространства, секции механизированной крепи. Линии разбиения в локальной области должны быть расположены определенным образом, с учетом очертаний выработанного пространства и положения различных элементов секции крепи, для того, чтобы любой конечный элемент находился внутри области с одинаковыми свойствами. Так как нас интересуют поля смещений и напряжений именно в локальной области, количество линий разбиения в ней должно быть достаточно большим.

Характер и параметры разбиения окружающей области могут быть иными. Они диктуются, с одной стороны необходимостью поддержания приемлемой точности получения результатов, с другой стороны, ограничениями программного и технического характера и стоимостью выполняемых расчетов.

Данные о координатах вершин конечных элементов и их физико-механических свойствах записываются в дисковый файл. Область исследования, таким образом, разбивается виртуальными линиями или поверхностями на большое количество конечных элементов, связанных между собой в конечном числе узловых точек.

Дискретизация области исследований выполняется в две последовательные процедуры. На первом этапе производится разбиение локальной области исследования на подобласти в зависимости от физико-механических свойств изучаемых сред. На втором этапе производится разбиение всей области исследования, на конечные элементы с учетом геометрии как всего породного массива, так и выработанного пространства с расположением угледобывающего комплекса. В процессе выполнения второго шага производится нумерация элементов и узлов. Сложность процедуры разбиения состоит в том, что все узлы триангуляционной сети должны находиться на границах сред и между ними, будь это уголь, металл или породный слой.

В процессе проводимых исследований было разработано несколько сеточных генераторов, каждый из которых имел свои преимущества и недостатки.[175, 176]

При исследовании процесса геомеханического взаимодействия секции механизированной крепи с углепородным массивом принималось, что все слои углепородной толщи за исключением самого верхнего слоя (наносов) – параллельны. Это несколько упрощает процедуру разбиения, в результате которой получаются подобласти в виде параллелограммов, каждый из которых находится в одной и той же среде. Однако при внесении проекции секции механизированной крепи в область исследований процедура разбиения существенно усложняется. Это связано с тем, что кроме вертикальных линий и линий, параллельных пласту, появляются линии общего положения, являющиеся контуром гидростоек и других элементов крепи. Для корректировки положения узлов конечных элементов вблизи гидростоек был

разработан специализированный графический редактор, с помощью которого можно осуществить перемещение любого узла и задать свойства материала любого конечного элемента.

Программа представляет собой совокупность двух модулей, первый из которых связан с окном выбора режима работы, а второй поддерживает окно редактирования, с помощью которого осуществляется корректировка положения вершин конечных элементов относительно выработанного пространства и элементов секции механизированной крепи. Окно редактирования имеет элементы перемещения изображения, его масштабирования и редактирования. Корректировка положения вершин конечных элементов осуществляется следующим образом.

Указатель курсора помещается на редактируемую вершину и методом Drag & Drop корректируется ее положение. После корректировки положения вершин конечных элементов меняют физические характеристики среды, в которой находятся скорректированные конечные элементы. На рисунке 69 представлено окно специализированного графического редактора.

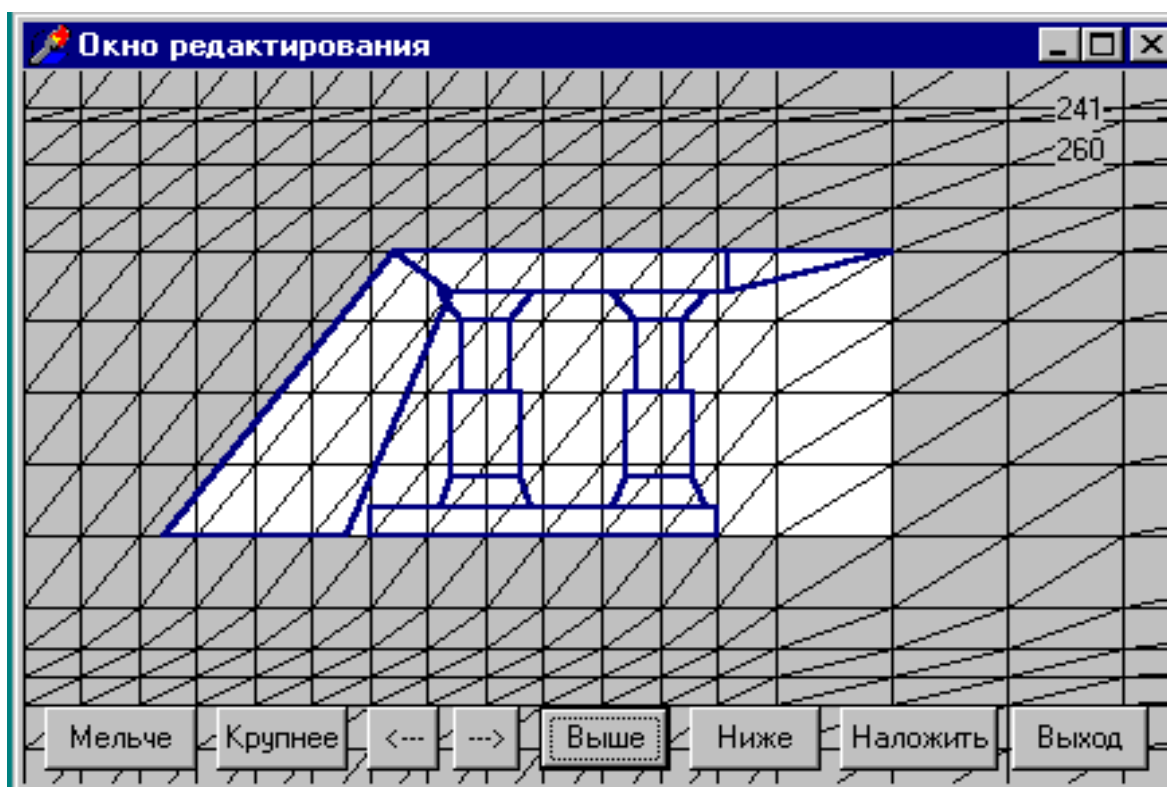


Рисунок 69. Одно из окон специализированного графического редактора.

Для автоматизации процесса получения триангуляционной сети с учетом линий общего положения был разработан сеточный генератор, в основу работы которого была положена лемма о трех линиях, суть которой заключается в следующем.

Любой узел локальной области представляет собой точку пересечения трех линий: линии контура секции крепи, вертикальной линии и линии, параллельной пласту. При пересечении вертикальной линии с линией контура секции механизированной крепи автоматически генерируется линия, параллельная пласту, и, наоборот, при пересечении линии, параллельной пласту, с линией проекции секции крепи автоматически генерируется вертикальная линия. Окно программы такого сеточного генератора представлено на рисунке 70. В заключение отметим, что для повышения гибкости программного комплекса при проведении научных исследований необходим набор различных программ препроцессорной подготовки данных.

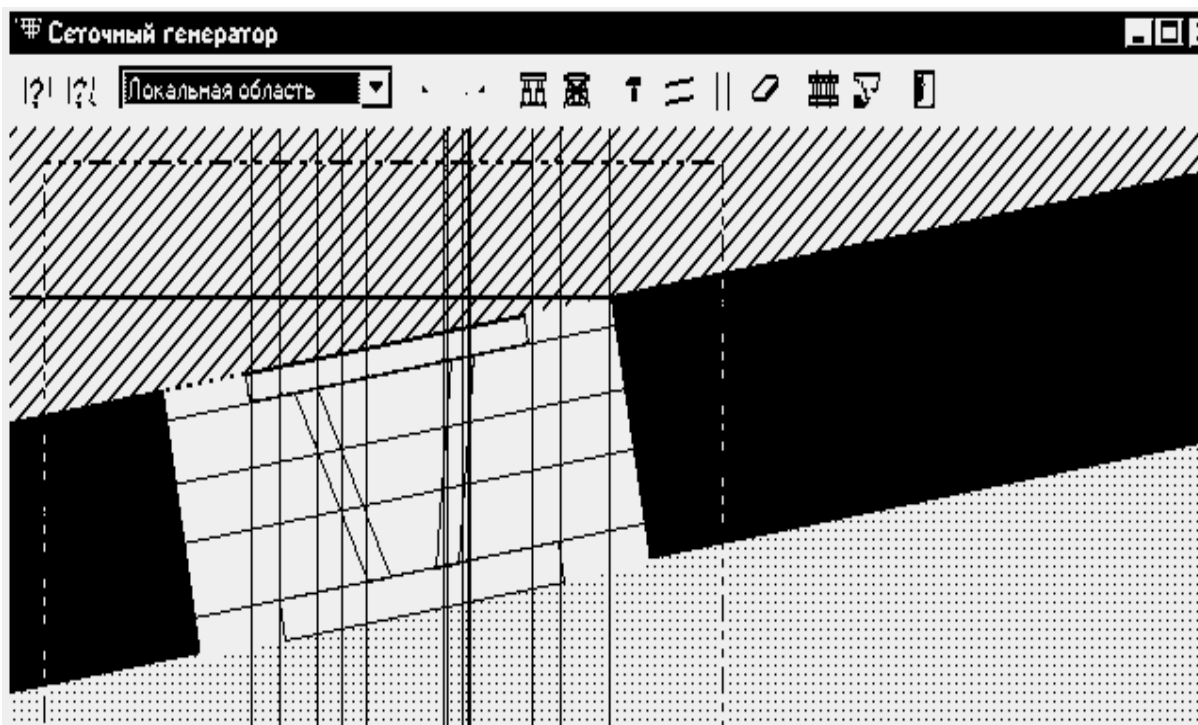


Рисунок 70. Окно программы сеточного генератора.

В конечном итоге все варианты сеточных генераторов формируют файлы данных, в которых помещаются координаты узлов конечных элементов и характеристики материала каждого из них вместе с граничными условиями. Совокупность дискретных областей, представленных набором конечных элементов, представляет собой математическую модель исследуемой системы “углепородный массив – секция механизированной крепи – выработанное пространство”, использование которой и подлежит исследованию.

Расчет геомеханического состояния углепородного массива.

Получение количественных показателей напряженно-деформированного состояния вмещающих пород осуществляется с помощью блока вычислений, использующий метод конечных элементов. Этот блок может быть оформлен в качестве автономно работающей программы и в качестве модуля, входящего в состав другого приложения. Исходными данными для этого шага являются параметры триангуляционной сети, вместе с граничными условиями, и заданные нагрузки, определяемые величиной начального распора секции механизированной крепи.

С точки зрения временных ресурсов – это самая интенсивная часть конечно-элементного анализа, требующая существенных затрат компьютерного времени, но не нуждающаяся, однако, во вмешательстве исследователя. Основными неизвестными являются смещения в узлах конечно-элементной модели. Величины смещений определяются в процессе решения системы линейных алгебраических уравнений высокого порядка. Левая часть системы уравнений представляет собой ленточную матрицу, полученную путем отсечения нулевых областей глобальной матрицы жесткости системы “углепородный массив – секция механизированной крепи”.

Глобальная матрица жесткости формируется путем суммирования локальных матриц жесткости конечных элементов. После определения смещений могут быть получены другие геомеханические параметры, являющиеся производными от смещений в узлах. Автономно работающая

программа позволяет осуществлять либо одиночный просчет для нарушенного горного массива, либо двукратный: для ненарушенного массива и для массива пород, ослабленного горной выработкой. Окно автономно работающей программы представлено на рисунке 71.

Постпроцессорная обработка полученных результатов.

Постпроцессинг осуществлялся с помощью вызова поисковой процедуры, позволяющей отобрать и разместить в единый файл полученные результаты расчетов заданного параметра, попадающие в окно наблюдения. Размеры окна, а также имя интересующего геомеханического параметра задаются исследователем.

Данные об узлах и конечных элементах, попавших в окно наблюдения, помещаются в дисковый файл и с помощью средств деловой графики отображаются на экране. Окно программы, осуществляющей выбор объектов и формирование файлов, представлено на рисунке 72. Построение графиков и диаграмм производили с помощью программных продуктов SURFER, EXCEL.

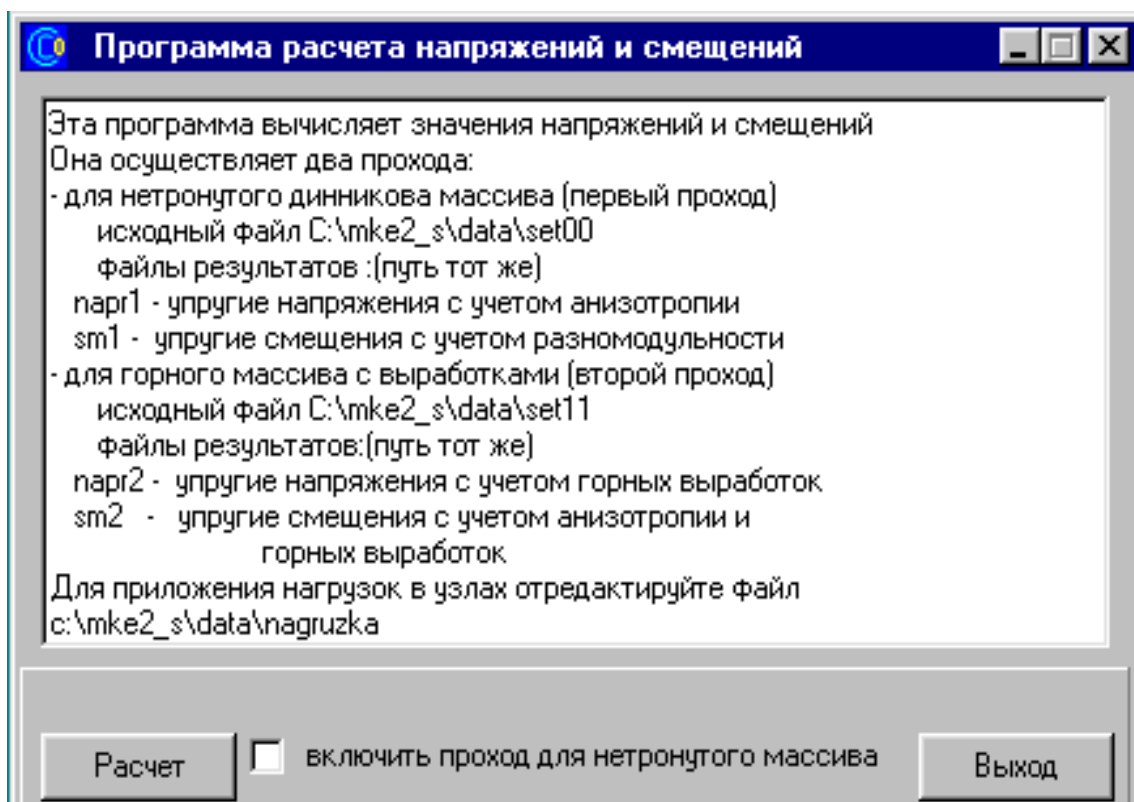


Рисунок 71. Окно программы получения решения.

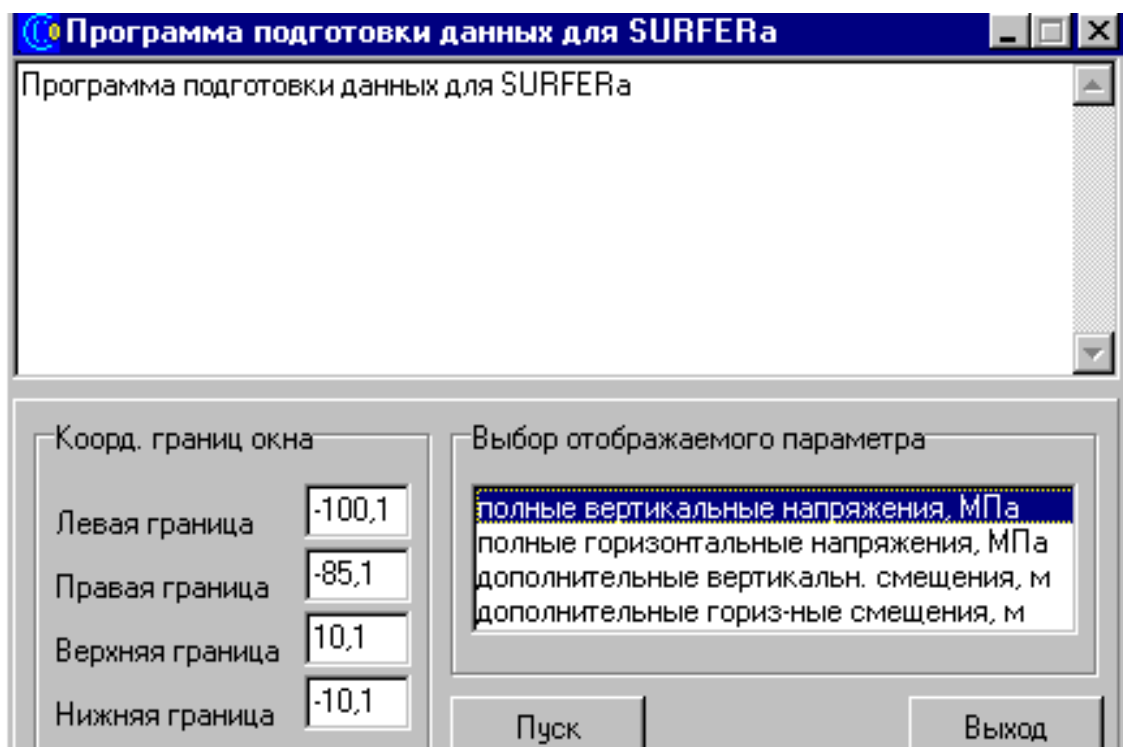


Рисунок 72. Окно программы постпроцессора

Визуализация полученных результатов исследования

Решение большинства инженерных задач горного профиля требует получения полей распределения напряжений и деформаций в упругом континууме. Для того, чтобы обеспечить условия непрерывности исследуемых смещений между соседними элементами, триангуляционная сеть должна быть достаточно густой, а количество конечных элементов весьма большим. Учитывая, что в результате решения горных задач для каждой вершины определяется несколько параметров, пользователь имеет дело с огромными массивами данных полученных результатов. Из этих массивов необходимо периодически извлекать данные об интересующих локальных областях, систематизировать их по требуемым параметрам и отображать в графическом виде. Для представления полученных результатов в графическом виде необходимо использовать:

- программы, имеющие средства деловой графики с возможностями интерполяции недостающих данных и сглаживания кривых;

- программы – "примочки", служащие для выборки данных из массива полученных результатов по различным поисковым признакам.

В качестве программы, имеющие средства деловой графики можно использовать MatCad, Excel, Surfer а также с помощью графических средств DELPHI. Из перечисленных программ целесообразно выделить программу Surfer. Эта программа служит для построения карт и планов различных местностей и поверхностей, выполнять различные расчеты с полученными картами и т.д. Функциональные возможности данной программы позволяют ее использовать в целях создания различной горной документации, такой как планы горных работ, карты пластов, построение изолиний напряжений или смещений вокруг выработанного пространства и т.д. Поскольку исходные данные для построения графика представлена в дискретной форме, то одним из достоинств программы SURFER является их экстраполирование. Благодаря этому данные одинакового значения соединяются плавной линией. Набор таких линий представляют общую картину смещений или напряжений в исследуемой области (Рисунок 73).

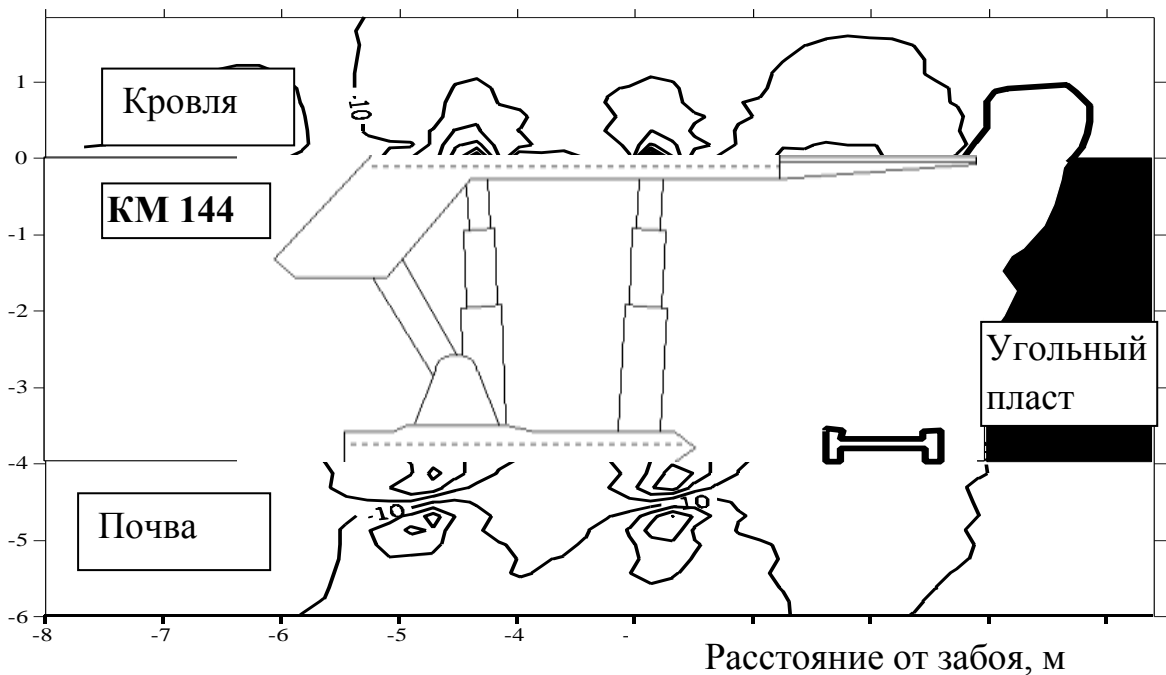


Рисунок 73. Изолинии вертикальных напряжений.

Программа, позволяющая произвести отбор данных по различным критериям для визуализации полученных результатов, пишется исследователем, знакомым с основами программирования. Такая программа в качестве исходных данных должна получить так называемое «окно», внутри которого находится интересующая часть поля (напряжений, перемещений и т. п.) и номер отображаемого параметра.

Недостатки такого способа визуализации налицо. Это использование «тяжеловесного» пакета SURFER для отображения данных и необходимость в специализированной программе отбора данных. Но, даже имея эти компоненты можно испытывать значительные затруднения, связанные с успешной навигацией в огромных массивах данных.

Рассмотренные выше недостатки указывают на необходимость использования специализированных программ, имеющих, с одной стороны, средства навигации, а с другой стороны, средства деловой графики. Программы подобного рода представляют собой специализированные браузеры.

При изучении взаимодействия секции механизированной крепи с боковыми породами методом конечных элементов разработана такая программа и реализована в инструментальной среде Delphi 7.

Программа позволяет вывести сечение пласта с механизированной крепью и триангуляционную сеть, наложенную на сечение. Шелчком мыши выбираются интересующие нас узлы или конечные элементы (Рисунок 74). Для выбранных узлов или элементов можно построить графики по различным параметрам, полученных в результате расчетов (Рисунок 75). Достаточно регулярно, при выполнении какого-либо обработчика событий, требуется на экране в заданном положении курсора манипулятора мышь определять номер узла или элемента триангуляционной сети.

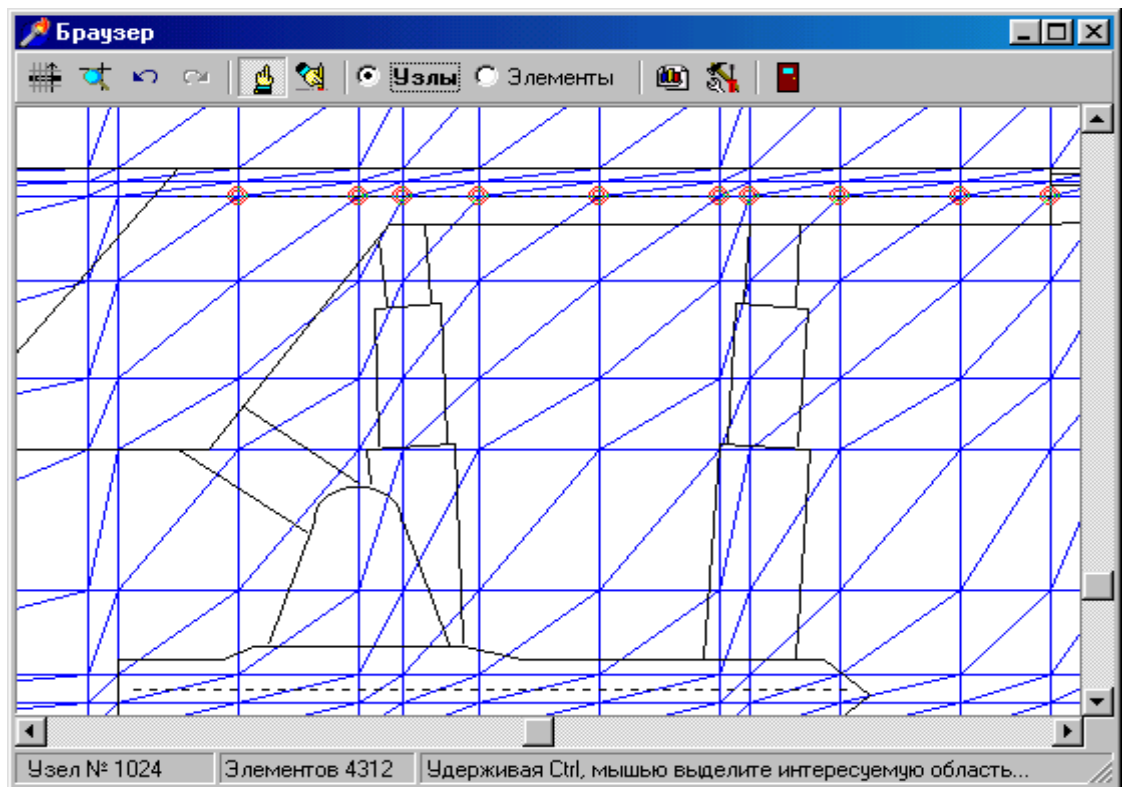


Рисунок 74. Окно выбора узлов или элементов.



Рисунок 75. Пример визуализации параметра.

Для этого разработана подпрограмма, которая осуществляет поиск интересующего нас объекта из массива данных. Она производит перебор всех узлов (элементов) до тех пор, пока точка курсора не окажется принадлежащей области данного объекта. Для узлов эта область составляет по три экранных точки (пиксела) влево, вправо, вверх и вниз от фактической координаты точки узла. Для элементов – площадь, ограниченная линиями фигуры. Принадлежность точки элементу определяется по методу "определения положения точки относительно каждой из сторон треугольника", который уступает методу "сравнения площадей" по быстрдействию, но дающему независимый от размеров элемента результат поиска.

Использование графики и средств анимации требует определенных компьютерных ресурсов. Идеальным вариантом явился бы мультимашинный комплекс. На одном из компьютеров при этом осуществляется визуализация процесса, а на другом производятся необходимые вычисления.

За время прорисовки анимированного изображения будут подготовлены данные для его дальнейшего изменения.

На рисунке 76 представлена копия экрана компьютера при работе программы имитации процесса выемки угля механизированным комплексом. При выемке угля и передвижении секций механизированной крепи происходит обрушение непосредственной и основной кровли. Обрушение кровли происходит блоками. В верхней части экрана прорисован график изменения нагрузки на стойки механизированной крепи при работе механизированного комплекса.

Эффективность имитационных систем убедительно доказана опытом их применения в черной металлургии как для реального управления сложными технологическими процессами, так и для обучения и повышения квалификации работников.

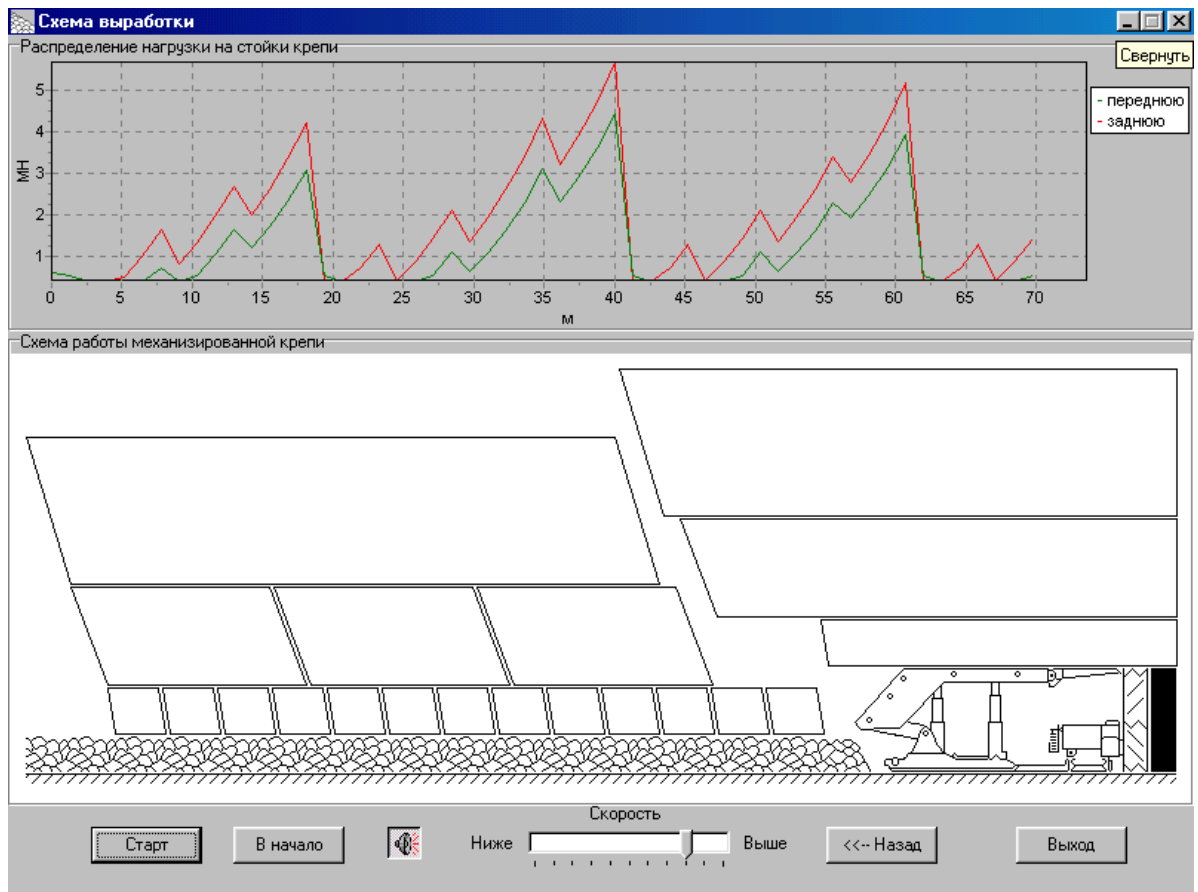


Рисунок 76. Имитации процесса выемки угля механизированным комплексом

Данные, полученные в результате моделирования процесса взаимодействия углеродного массива с циклически движущимся очистным забоем, организуются в хранилище данных, которое построено на принципах темпоральных, накопительных и пространственных баз данных. Поскольку в обработке участвуют разнородные сведения (скважины, порода, крепи, выработки), целесообразно использовать хранилище данных. Это позволяет создавать витрины данных, формируя срезы в виде ОЛАП-гиперкубов.

На основе полученных результатов, задав глубину залегания породного массива, можно обозначить зоны напряжений или смещений в исследуемой области. Пространственно-атрибутивная база данных, используемая в разработанной ГГИС, изначально реализует связь с географическими координатами. Благодаря этому появляется возможность оперативного переноса зон разрушения горных пород на географическую карту (рисунок.77).

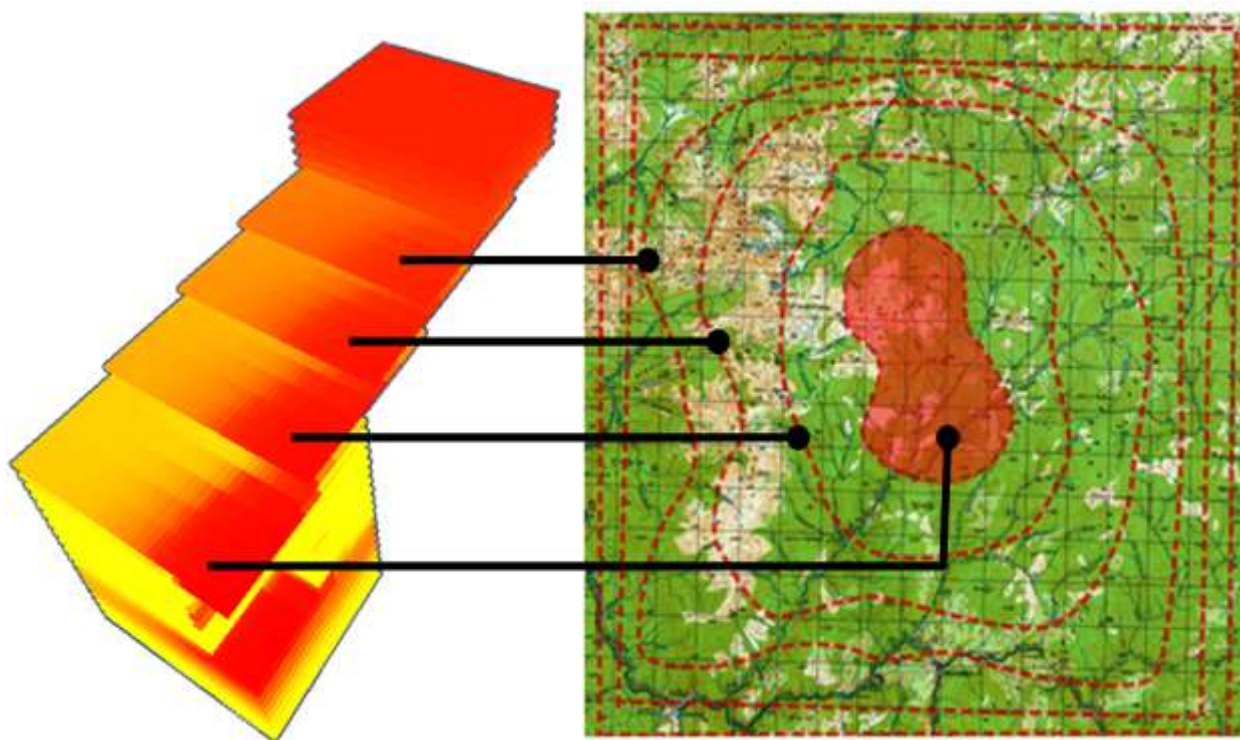


Рисунок 77. Концепция проецирования зоны разрушения горных пород на географическую карту ведения горных работ

5.5. Выводы по главе

Разработана компьютерная модель идентификации геомеханического взаимодействия механизированной крепи с углепородным массивом на основе адаптированного алгоритма для количественного прогнозирования изменения напряженно-деформированного состояния углепородного массива при циклическом воздействии на него секций механизированной крепи. Адаптация алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния углепородного массива производится с помощью итеративной процедуры настройки его параметров на основе отклонений вычисленных значений конвергенции основания и перекрытия секций крепи от измеренных и формирования допустимой области применения.

Аппаратная платформа современных персональных компьютеров (ПК), графические операционные системы и инструментальные средства со средой быстрой разработки приложений (RAD) позволяют проведение вычислительных экспериментов с использованием сеточных методов, дающих точечные решения в разумные сроки.

Продуктивность построения компьютерных моделей для количественного прогнозирования параметров геомеханического взаимодействия механизированных крепей с угольным пластом и вмещающими породами обеспечивается использованием объектно-ориентированной методологии с ее компонентами: объектно-ориентированным анализом, объектно-ориентированным проектированием и объектно-ориентированным программированием, от стадии построения математической модели до разработки приложений с модульной структурой и графическим интерфейсом.

6. РЕАЛИЗАЦИЯ ГОРНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

6.1. Выбор и характеристика объекта исследования геоинформационного моделирования геомеханических процессов при ведении горных работ

В настоящей диссертационной работе в качестве объекта исследования принята, в соответствии с поставленной задачей, система "механизированная крепь с изменяющейся несущей способностью – углепородный массив с накоплением деструктивных изменений – выработанное пространство с изменяющимися геометрическими характеристиками". Углепородный массив имитировался в виде набора угольных и породных слоев, представленных в виде пологих пластов в условиях залежей Южного Кузбасса.

В качестве примера был выбран очистной забой 3-9 ^{восток} шахты "Алардинская". Характеристики этого забоя приведены в таблице 8, а структура пород кровли, пласта и почвы представлена на рисунке 78. Выбранный выемочный участок обрабатывался механизированным комплексом 4КМ – 130. Управление кровлей происходило полным обрушением. Схема работы комбайна осуществлялась послойно комбинированным способом. Технология отработки выемочного пласта осуществлялась длинными столбами по простиранию.

Из анализа работы шахты за период с мая по август 2000 года следует, что средняя нагрузка на забой выемочного участка составляла 1700 тонн в сутки, при плановой норме 2930 тонн в сутки. Одной из причин неудовлетворительной работы комплексно-механизированного забоя 3-9 восток является то, что вышележащий горизонт +235 м погашен. Высокое давление, возникающее в результате оседания пород непосредственной кровли, сдерживает скорость подвигания очистного забоя.

Характеристики выемочного участка шахты "Алардинская"

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Показатели
1	Полная мощность пласта	м	3
2	Угол падения пласта	град.	16
3	Длина забоя по падению	м	73
4	Длина лавы по простиранию	м	910
5	Промышленные запасы	тыс. т	380
6	Добыча угля за сутки	т	1900
7	Добыча угля за месяц	тыс. т	57
8	Ширина захвата комбайна	м	0.63
9	Подвигание лавы за сутки	м	4.3
10	Подвигание лавы за месяц	м	129

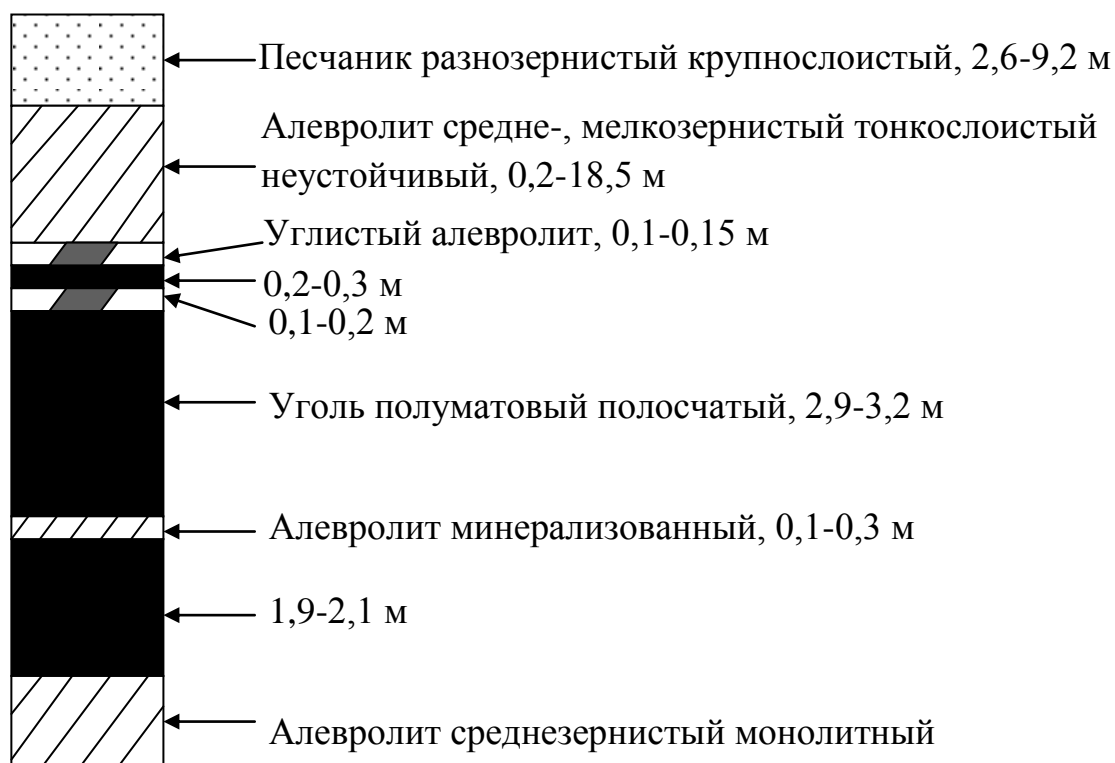


Рисунок 78. Структура пород кровли, пласта и почвы

Из практических наблюдений были сделаны выводы, что большее давление приходится на среднюю и верхнюю часть лавы. Следствием этого является большой отжим угля и обрушение пород кровли над посадочным рядом гидростоек секций механизированной крепи. Так, например, в районе с 16 по 37 секцию (всего 61 секция) расстояние от края козырька до поверхности забоя достигает 2,8 метра (Рисунок 79). Из этого следует, что характер взаимодействия пород кровли с секцией механизированной крепи характеризуется крайней неустойчивостью и, как следствие, высокой аварийностью. В результате большого бокового давления индивидуальная податливая крепь получает различного рода деформации в виде излома ножек верхнего борта, прогибание верхняков и т.п. В результате большого обнажения кровли происходили вывалы породы.

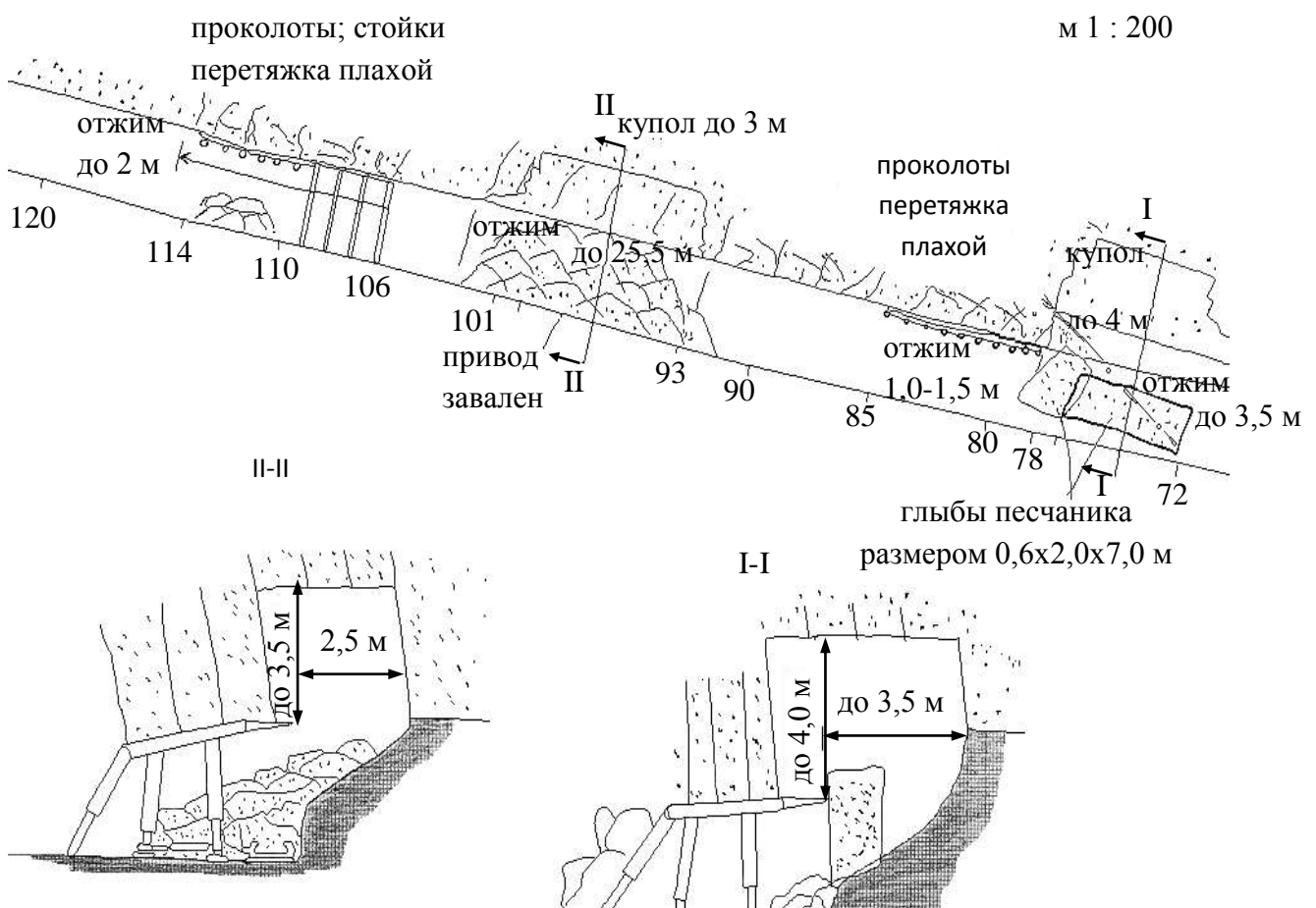


Рисунок 79. Схема обрушения пород непосредственной кровли по ширине лавы

В качестве меры для предотвращения попадания породы в рабочее пространство лавы производили перекрытие зоны от козырька до поверхности забоя. Для этого по специальным мероприятиям поверхность забоя обрушивается, в шпуров вставляются "корзины". "Корзины" представляют собой проколот (металлический прут диаметром 30 мм), изогнутый с одной стороны в кольцо. В "корзины" (в это кольцо) вставляется ножка или верхняя индивидуальной податливой крепи из СВП-22 соответствующей длины. "Корзины" устанавливаются напротив каждой секции. Сверху верхники перекрываются плахой, либо брусом (рисунок 80).

За полгода работы очистного забоя в результате обрушения кровли в завальной части лавы и наталкивания секций крепи на поверхность забоя несколько раз возникали аварийные ситуации, вследствие чего приходилось несколько раз поднимать секции крепи в рабочее положение. [179]

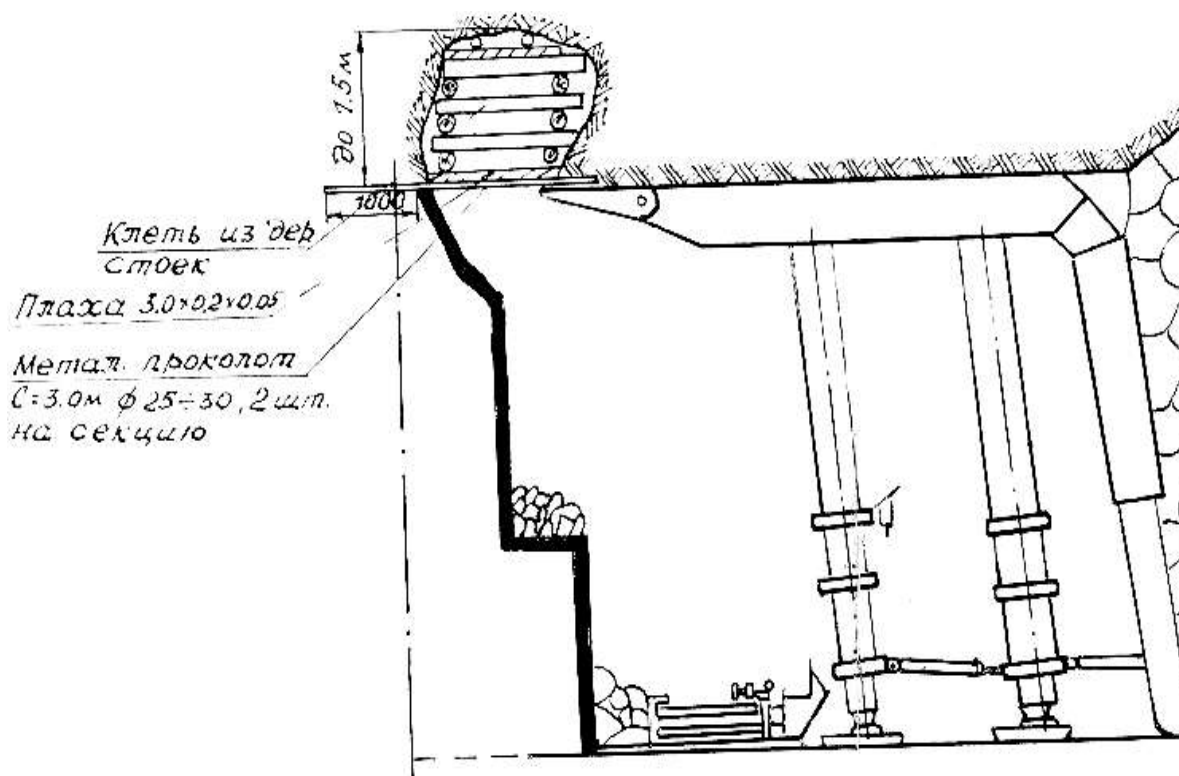


Рисунок 80. Меры предотвращения обрушения и попадания породы непосредственной кровли в рабочее пространство лавы

Выход из такого рода ситуаций требует значительного времени, т.к. секции крепи оказываются в положении "нажестко". Не все стойки крепи можно сразу выставить в рабочее положение, поэтому приходится отцеплять линейные домкраты и связи от ограждений, а лавный конвейер задвигать с помощью стоек ГВКУ.

На основе анализа горно-геологических условий залегания горных пластов на шахтах "Алардинская", "Капитальная", "Томская", "Есаульская", "Абашевская" и др. для моделирования геомеханического взаимодействия массива горных пород с механизированной крепью были выбраны следующие характеристики объекта исследования:

Угольный пласт. Уголь полуматовый полосчатый, мощность пласта – 3 м, коэффициент крепости – 1.2, сопротивление сжатию – 15 МПа, угол падения – 0°, глубина разработки – 200 м, несущая способность крепи – 700 МПа, длина выработанного пространства – 10 м.

Непосредственная кровля. Алевролит средне – мелкозернистый, тонкослоистый, неустойчивый, мощность пласта – 5 м, коэффициент крепости – 4, сопротивление сжатию – 42 МПа, шаг обрушения – 5 м.

Основная кровля. Песчаник разномзернистый крупнослоистый, мощность пласта – 15 м, коэффициент крепости – 6, сопротивление сжатию – 53 МПа.

Почва. Алевролит среднезернистый, монолитный, мощность пласта – 6 м, коэффициент крепости – 4, сопротивление сжатию – 45 МПа.

Обрушение непосредственной кровли за механизированной крепью происходит блоками длиной 4 – 6 м. Выемочные работы осуществляются механизированным комплексом КМ – 138 И. В таблице 9, приведены параметры и диапазон их изменения, которые использовались в процессе исследования.

Параметры исходных данных и диапазоны их изменения

№ п/п	Наименование параметра	Ед. <u>измер.</u>	Значения		
			базовый вариант	пределы изменения	шаг изменения
1	Глубина залегания угольного пласта	м	300	200 – 800	100
2	Мощность угольного пласта	м	2	1 – 4	1
3	Коэффициент крепости угля		1,2	0,6 – 1,2	0,2
4	Величина усилия развиваемого стойками <u>механизир. крепи</u>	т	600	200 – 1000	100
5	Длина консоли зависания пород непосредственной кровли	м	10	5 – 30	5

6.2. Геоинформационное моделирование шахтных полей для информационной поддержки горнодобывающего производства

Контроль над процессом добычи полезных ископаемых предлагается осуществлять с использованием тематических электронных карт. Такой подход позволит учитывать пространственно-атрибутивную привязку значимых объектов при обработке оперативной информации и осуществлении мониторинга состояния экологической ситуации в зоне ответственности угледобывающих предприятий. Что, в свою очередь, позволяет получать более точные результаты расчётов и осуществлять информационную поддержку при ведении горных работ. Объектная декомпозиция задач включает в себя следующие сущности: электронная карта, объект электронной карты, взаимодействия объектов.

В качестве основных элементов интерфейса используются две тематические карты. Первая тематическая карта включает в себя элементы для нанесения геологоразведочных данных, выбора режимов формирования геологических срезов и элементы интеграции со сторонними приложениями (например, Surfer) и базами данных. Вторая тематическая карта представляет собой интерактивный геологический срез, полученный по результатам моделирования механических свойств породного массива. С использованием второй карты можно визуализировать отдельный слой, изменить характеристики слоя и выполнить повторное моделирование.

На основе геопространственных данных размещения горных выработок сначала строится пространственная модель подземной части горного предприятия. С помощью средств деловой графики используются средства навигации, масштабирования и т.п. Далее строится совокупность буровых скважин в пределах всей области размещения горного предприятия. В качестве дневной поверхности выступает электронный атлас горнодобывающего региона на котором размещены проекции буровых скважин. [180] Каждая скважина имеет свой идентификатор. На основе использования общих геоатрибутивных баз данных пользователю предоставляется возможность исследовать структуру стратиграфической колонки со всеми геофизическими свойствами различных пород. В результате получаем компьютерную модель горных выработок с проекциями буровых скважин на электронной карте. (Рисунок 81)

Для создания скважин, слоев пород, узлов и веток шахт применяется технология «префабов». Она заключается в том, что каждый раз инстанцируется копия заранее заготовленного объекта вместо создания нового. Это позволяет оптимизировать построение трехмерного компьютерного изображения и улучшить производительность работы системы в целом.

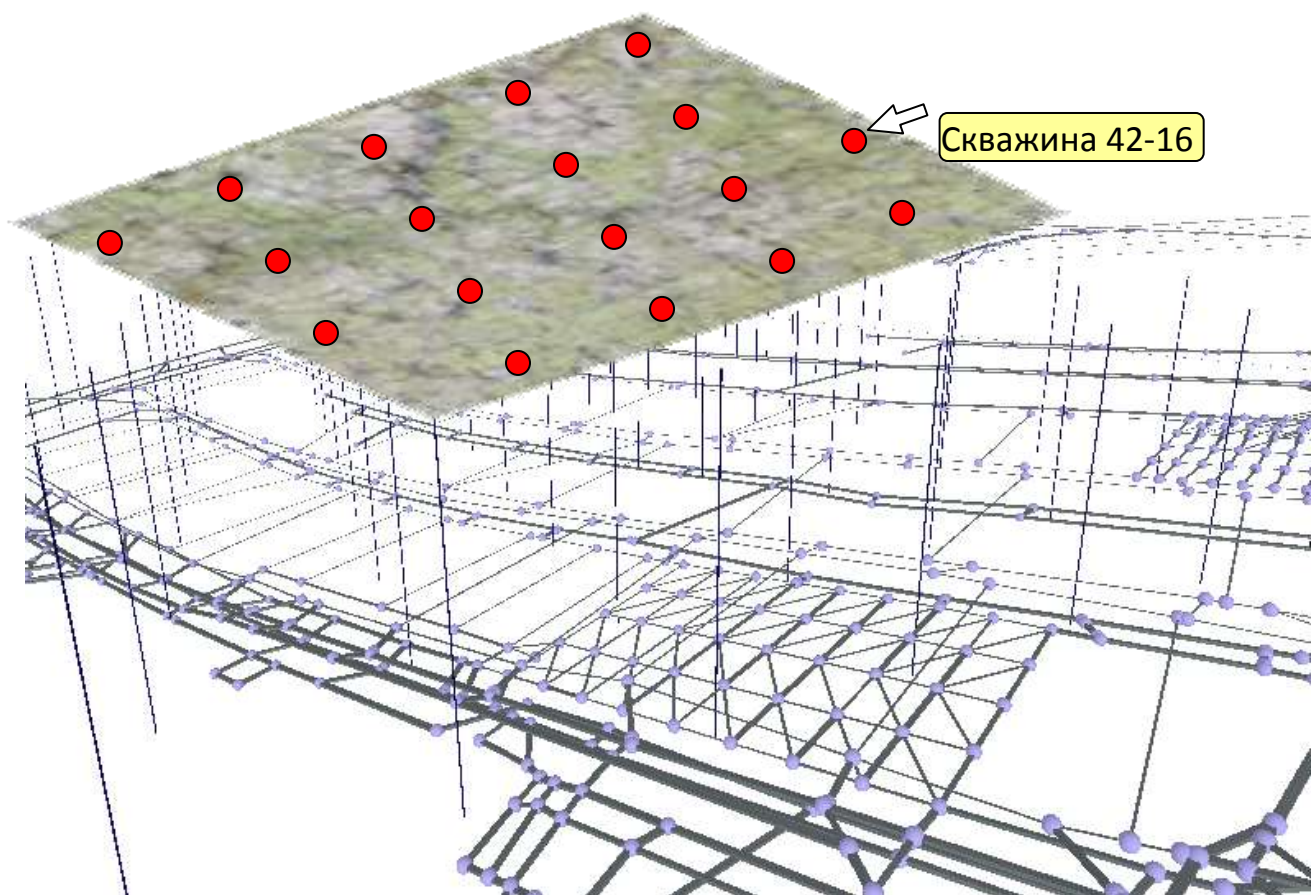


Рисунок 81. Компьютерная модель горных выработок с проекциями буровых скважин на электронной карте

Поскольку в качестве объекта исследования выступает область ведения очистных работ, то на электронной карте выделяется сеть буровых скважин, по данным которых производится описание результатов изменения массива горных пород в пределах выемочного столба угольного пласта от его почвы до дневной поверхности вследствие ведения очистных работ. В связи с этим следующим шагом исследования является построение геометрической модели слоев горных пород на основе базы геологоразведочных данных.

Для соединения конечных элементов с одинаковыми свойствами горных пород используются методы трехмерной интерполяции с внедрением элементов нечеткой логики, что позволяет создать из разведочных скважин видимость непрерывного горного массива пример которого представлен на рисунке 82.

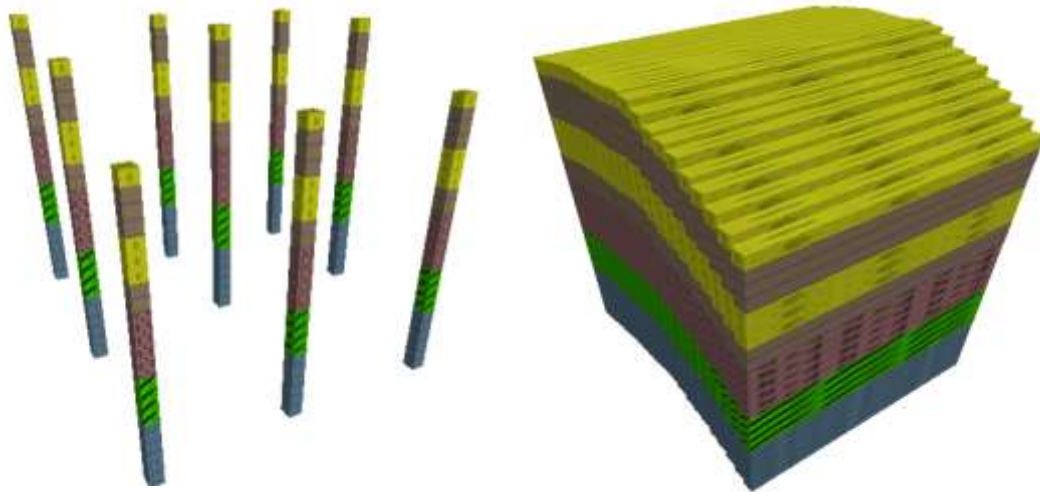


Рисунок 82. Геометрическая модель угленородного массива

Геологический разрез представляет собой вертикальное сечение земной коры от её поверхности в глубину. Разрезы горных пород составляются по данным геологических наблюдений, геологическим картам, материалам горных выработок, буровых скважин, геофизических исследований. В нашем случае, исходные данные поступают в виде стратиграфии по каждой скважине.

В рамках специализированной ГГИС разработан программный модуль позволяющий в автоматическом режиме строить разрезы угленородных массивов в заданном диапазоне данных. На основе базы геопространственных данных проводится моделирование угленородных пластов с учетом нарушения сплошности породного массива. Для решения этой проблемы использованы элементы нечеткой логики и элементы математической графики. В качестве входных параметров будут участвовать:

- величина изменения мощности пласта, которая определяется отношением значений мощностей пласта, в узловых точках (точки линии сечения или точки проекций скважин);
- расстояние до следующей узловой точки.

Созданная нечеткая система моделирования петрофизических композиций по заданным правилам будет определять необходимую мощность пласта, то есть выполнять некоторую функцию интерполяции, нахождения

промежуточных значений по имеющемуся дискретному набору данных. В качестве среды для создания данной модели используем Fuzzy Logic Toolbox, входящий в комплект программы MATLAB. Поскольку в Кузбассе ведется обработка пологих угольных пластов, то несплошность породного слоя определяется несоответствием соединяющих линий между стратиграфическими замерами с учетом экстраполирования имеющихся данных и линиями, не превышающими 30° по отношению к поверхности земли. Процедура построения геологического разреза состоит из следующих этапов:

1. строится линия разреза, которая может быть как прямой, так и ломанной, и не привязана к самим скважинам;
2. производится расчет пересечения призм, из которых состоит пространственная модель месторождения и плоскости разреза, данные визуализируются. Результат компьютерного моделирования горных пород представлен на рисунке 83.

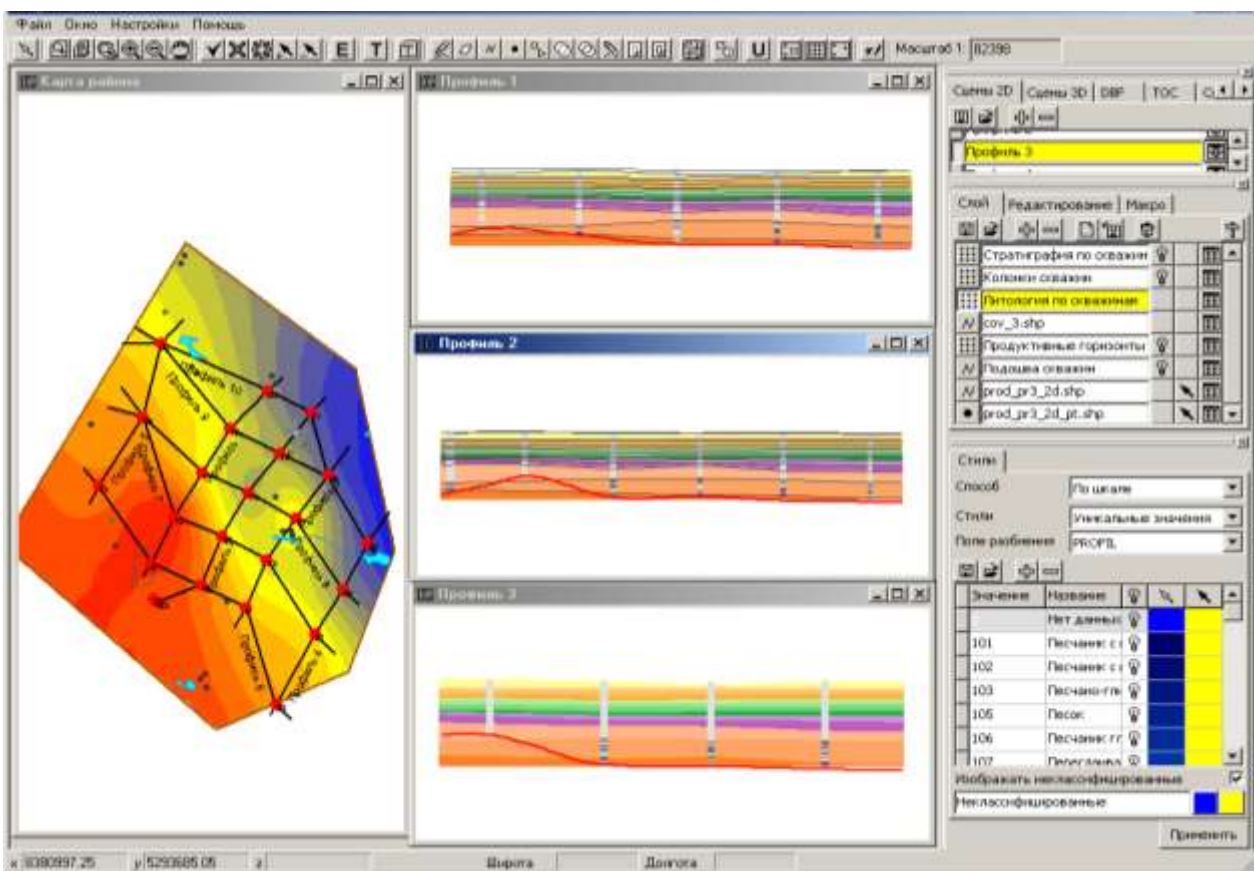


Рисунок 83. Построенный геологический разрез

Для реализации лингвистической модели используем входные переменные grad (градиент изменения пласта) и dist (расстояния до следующей отметки). Для переменной grad зададим следующие функции принадлежности: «отрицательный», «не изменяется», «положительный». Для точности введем две дополнительные промежуточные функции. Для переменной dist зададим функции принадлежности: «среднее» и «большое». Тогда правила нечеткого вывода будут иметь следующий вид:

1. Если «Градиент» – отрицательный ИЛИ «Расстояние» – большое, То «Мощность» – убывает.
2. Если «Градиент» – не изменяется ИЛИ «Расстояние» – небольшое, То «Мощность» – не изменяется.
3. Если «Градиент» – между отрицательным и не изменяется И «Расстояние» – среднее, То «Мощность» – убывает.
4. Если «Градиент» – положительный ИЛИ «Расстояние» – небольшое, То «Мощность» – не изменяется.
5. Если «Градиент» – между положительным и не изменяется И «Расстояние» – большое, То «Мощность» – возрастает.

После добавления правил можно проверить работу системы логического вывода, путем наблюдения изменения выходной переменной при изменении входных данных.

Модифицируя метод нечеткой логики, появляется возможность определения тектонических нарушений и «переломов» в породных пластах. Это возможно посредством присвоения пользователем лингвистической переменной для диапазона значений угла падения пласта. Например, для пологих пластовых месторождений, угол между дискретами меньше 30 градусов говорит о непрерывности пластов, если же угол больше – это говорит о «разломе» пласта. После построения трехмерного компьютерного изображения непрерывной модели горного массива появляется возможность сделать «разрез», получив изображение сечения углепородного массива.

При визуализации результатов использовались библиотеки OpenGL. Для отображения полной модели происходит отрисовка каждого слоя. Слои состоят из некоторого количества многоугольников, поэтому отрисовка слоя заключается в поочередном добавлении многоугольников на сцену.

Для повышения адекватности моделей сплошных сред из осадочных пород необходимо было представить последние как слоистую структуру с анизотропией 4 класса, позволяющей осуществлять пространственно-атрибутивное описание каждого выделенного пласта или пропластка обособленно.

В качестве базовой системы моделирования слоистого горного массива в пределах исследуемого участка месторождения может быть использована любая свободно распространяемый каркас ГИС, например QuantumGIS, «ГеоПлюс», и т.п.

Плюсом таких систем является то, что они построены на объектно-ориентированной методологии и являются открытыми. Это позволяет легко присоединять вновь создаваемые средства моделирования различных объектов и процессов горных систем (совокупность массивов горных пород и антропогенных объектов и процессов) к описываемой системе и использовать общие базы данных. После визуализации горного массива строится геометрическая модель подземного горного производства на основе пространственных данных о геометрии и сопряжении горных выработок. Входными данными являются координаты начала и конца выработки, высота, ширина выработки и тип сечения.

Программно обеспечивается корректный пространственный угол и расположение выработок. После этого трехмерная модель выработок пространственно синхронизируется с моделью горного массива, формируя совмещенное трехмерное компьютерное изображение. Компьютерная модель горного предприятия представлена на рисунке 84.

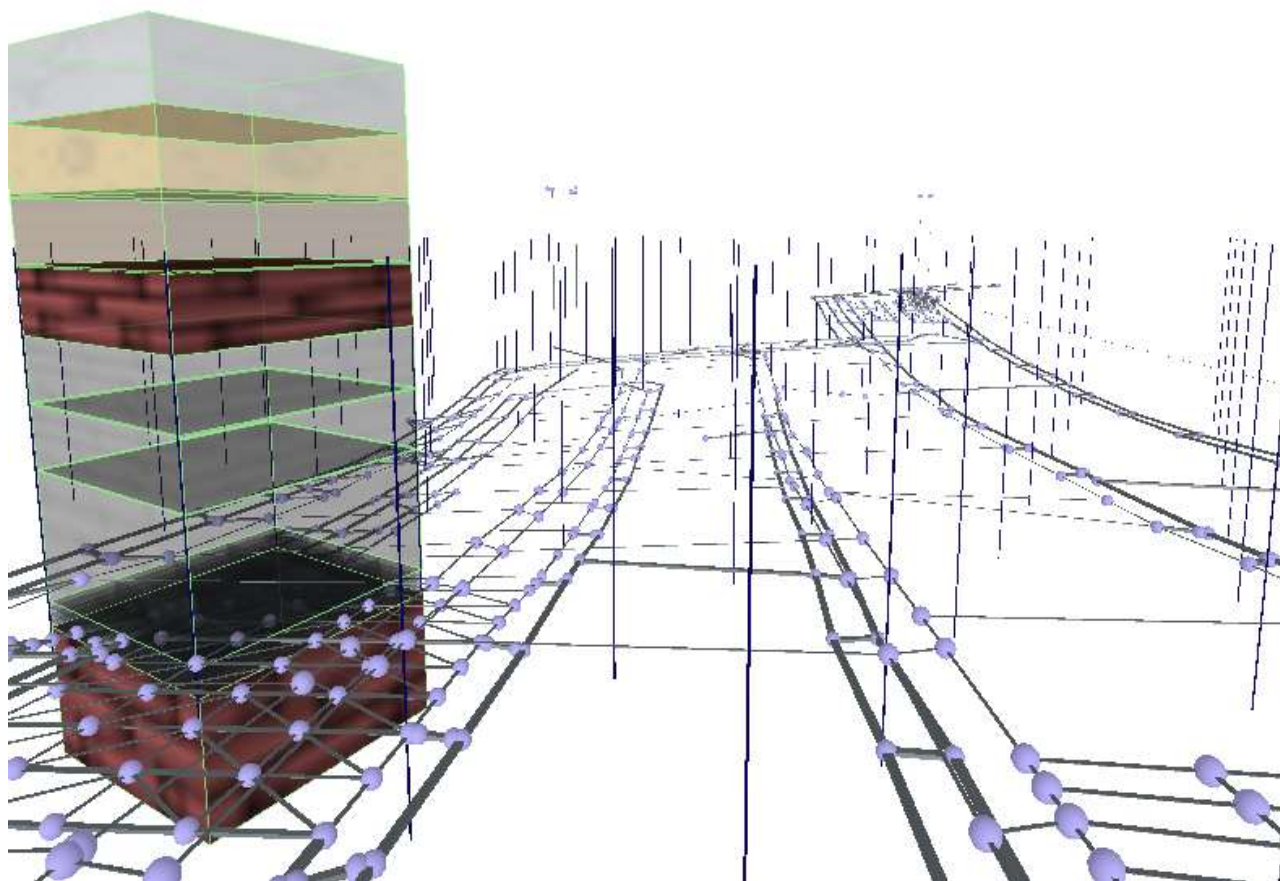


Рисунок 84. Компьютерная модель горного предприятия

Система визуализации предоставляет эргономичный интерфейс в виде «камеры», с помощью которой можно передвигаться по сцене и менять угол обзора. Это позволяет выявить неточности и убедиться в адекватной визуализации модели.

На следующем этапе шахтное поле «нарезается» на выемочные участки. Это позволяет подробнее изучить окрестности выработок и получить общее представление о характере изменений, которые могут произойти в случае продвижения очистного комплекса, а также о масштабе и соотношении размеров подземной части угольного предприятия с размерами горного массива, в частности, с высотой угольного пласта. К тому же, для визуализации выемочного участка требуется гораздо меньше аппаратных ресурсов, нежели для визуализации всего шахтного поля. Это оставляет «запас прочности» для случая, если будет необходимо добавить какие-то подробные детали, которые

могут быть важны при визуализации выемочного участка и не существенны при визуализации модели шахтного поля в целом.

Когда у нас есть модель слоев горных пород, и мы знаем, где и как примерно располагается угольный пласт, можно приступить к нанесению на электронную карту шахтных полей. Дискретизация области ведения очистных работ выполняется в автоматическом режиме в зависимости от типа используемой механизированной крепи, выбранной из базы данных горношахтного оборудования.

Принятая базовая система компьютерного моделирования позволяет представлять угольные и породные пласты как напластование плотно смыкающихся тел без их дальнейшего стратифицирования на пропластки. Поэтому в созданных нами моделях рассматриваются элементы (блоки) деформируемых пластов с мощностью, равной мощности в этом месте того пласта, в состав которого они входят до изменений. Так как в системе моделирования используются слабо формализованные данные, большинство моделируемых процессов имеют вероятностный характер. Вследствие этого для моделирования исследуемых процессов используется метод имитационного моделирования (метод Монте-Карло).

На основе разработанного классификатора объектов и процессов в горнотехнических системах, в модели геомеханического взаимодействия «углепородный массив – механизированная крепь», устанавливаются однозначные связи между объектами и протекающими процессами в пространстве и во времени.

Таким образом, в работе было проведено описание области исследования и выбран объект моделирования, входящий в состав горно-технической системы угольного предприятия. Для моделирования геомеханических процессов взаимодействия секций механизированной крепи с вмещающим углепородным массивом, для исследования динамики распределения напряженно-деформированного состояния горных пород, была реализована

геоинформационная система с уровнем анизотропии не ниже 4-го, т.е. содержащей данные об элементарных участках пласта, качественных характеристиках вмещающих пород содержащие перечень полезных ископаемых, физико-механические свойства породного массива и т.п. Такие сведения необходимы для проведения математических расчетов и становятся основой метода имитационного моделирования. В процессе расчета геомеханических параметров, между пользователем и специализированной ГГИС поддерживается интерфейс, пример которого представлен на рисунке 85.

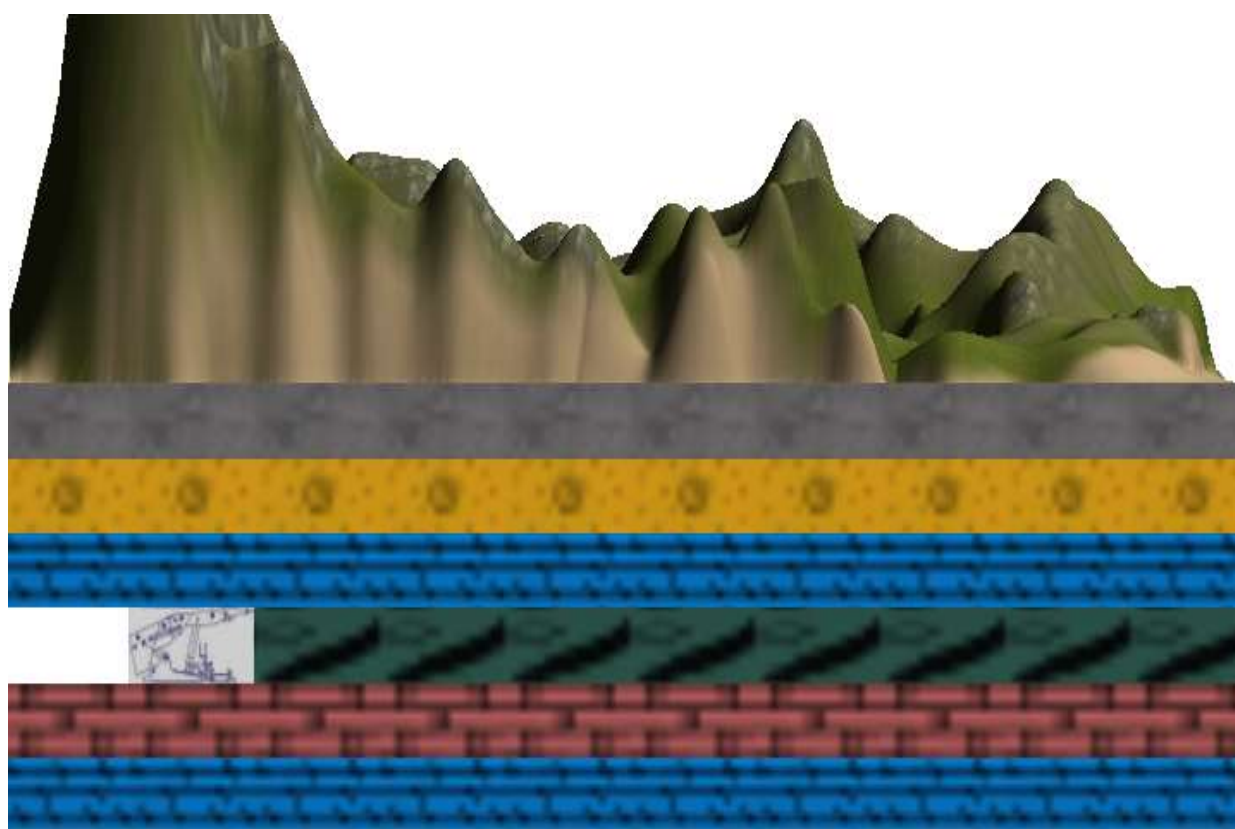


Рисунок 85. Визуализация процесса выемки угля

6.3. Геоинформационное моделирование напряженно-деформированного состояния углепородного массива в движущемся очистном забое

Для установления закономерностей взаимодействия механизированной крепи с углепородным массивом и вмещающими породами проведена серия вычислительных экспериментов, реализующая стратегию выбранного плана (таблица 7). Изучалось влияние горно-геологических и горнотехнических факторов, а также режимов передвижки секции механизированной крепи очистного забоя на параметры напряженно – деформированного состояния массива горных пород в характерных зонах, обозначенных условно точками 1,2,3,4,5 на рисунке 86.

Горно-геологические факторы были представлены: мощностью, глубиной разработки угольного пласта, коэффициентом крепости угля.

В процессе проведенных исследований изучено влияние усилия, развиваемого гидростойками крепи, одинакового в обеих гидростойках и разного, а также длины консоли зависания пород кровли.

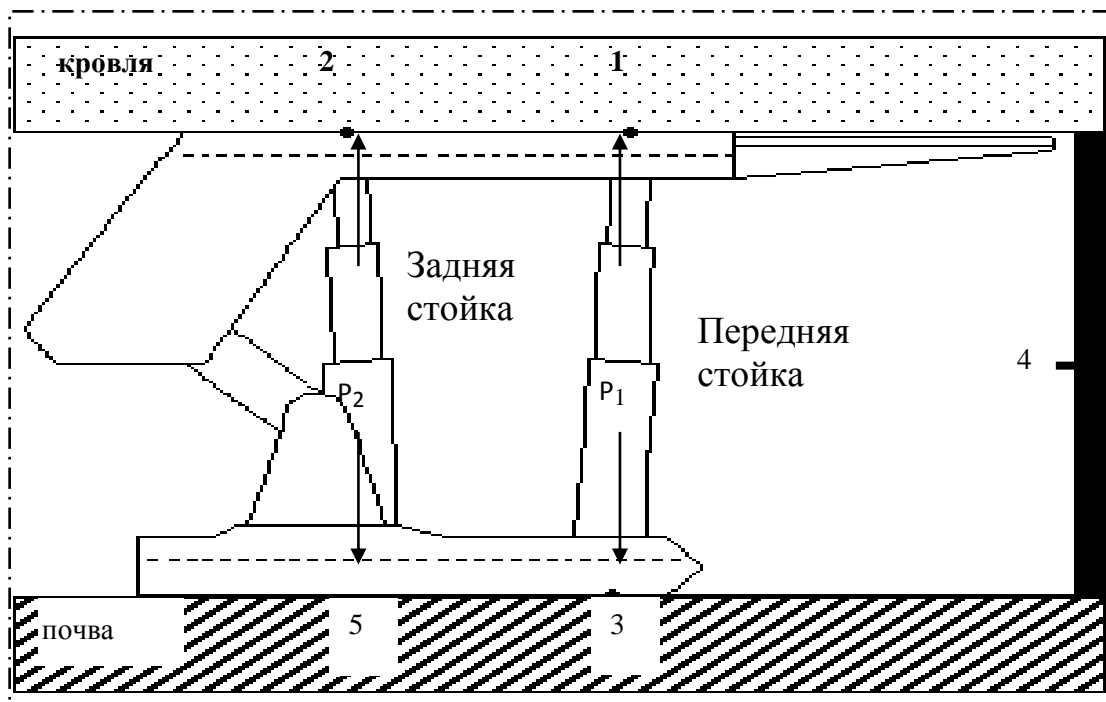


Рисунок 86. Схема сечения механизированной крепи и характерных точек

В ходе исследования влияния горно–геологических факторов на параметры процесса взаимодействия секции механизированной крепи с угольным пластом и вмещающими породами изучались процессы, протекающие в породном массиве кровли над передней и задней стойками механизированной крепи КМ-138И, в почве под передней стойкой, а также в середине угольного пласта впереди забоя.

В качестве варьируемых факторов выбраны: мощность и глубина разработки угольного пласта, коэффициент крепости угля.

На каждом шаге исследования определялись следующие параметры напряженно - деформированного состояния углепородного массива:

- вертикальные напряжения в почве и кровле пласта;
- вертикальные смещения в почве и кровле пласта;
- горизонтальные и вертикальные напряжения и смещения впереди забоя;
- горизонтальные смещения над стойками механизированной крепи.

Результаты группы экспериментов воспроизводились в виде графиков с использованием программ Excel, Surfer и т.п. После проведения вычислительных экспериментов во всем диапазоне варьируемого фактора изучались закономерности варьируемых показателей на параметры напряженно - деформированного состояния углепородного массива для различных участков зоны техногенного воздействия, а также оценивались зависимости параметров НДС от соответствующего фактора для конкретных точек массива горных пород.

Как указывалось выше, трехмерный массив горных пород был рассечен совокупностью параллельных плоскостей в направлении глобального движения угледобывающего комплекса. Такое разбиение с некоторой погрешностью позволяет предположить, что геомеханические процессы, протекающие в слоях – подобны. Рассмотрим несколько вариантов визуализации результатов имитационного моделирование напряженно-деформированного состояния

углепородного массива в движущемся очистном забое на примере изучения влияния мощности вынимаемого угольного пласта. На рисунке 87 приведены графики изменения полных вертикальных напряжений в породах кровли и почвы в зоне влияния гидравлических стоек секции механизированной крепи.

Из графиков следует, что непосредственно над перекрытием и под нижним основанием почвы и пласта на глубину до 2 м происходит интенсивное сжатие пород, и коэффициент концентрации вертикальных напряжений достигает 1,3. Точка перегиба графика находится в интервале от 2 до 3 м. Выше и ниже 3 м влияние секции механизированной крепи снижается.

В кровле происходит уменьшение величины сжимающих напряжений и на глубине 3-5 м коэффициент концентрации составляет примерно 0,5. Еще выше величина напряжений увеличивается до $\gamma \cdot H$. Аналогичный характер изменения напряжений наблюдается и в почве пласта.

Из сопоставления графиков, полученных для разных значений мощности слоя, представленных на рисунке 88, можно сделать вывод о том, что изменение мощности угольного пласта не оказывает существенного влияния на характер распределения вертикальных напряжений в породах кровли и почвы пласта при прочих неизменных условиях.

Анализ результатов исследований, отражающих влияние мощности вынимаемого слоя угольного пласта на характер распределения вертикальных смещений, дает основание утверждать, что смещение боковых пород над и под секцией механизированной крепи увеличивается в сторону выработанного пространства. В породах почвы (рисунок 88,в) наблюдается интенсивное пучение породного массива на глубине до 20 м от нижнего основания выработанного пространства.

Из графика видно, что чем больше мощность пласта, тем больше величина пучения пород почвы. При изменении мощности пласта в 4 раза, от 1 до 4 м, величина перемещения пород увеличивается в 1,2 раза.

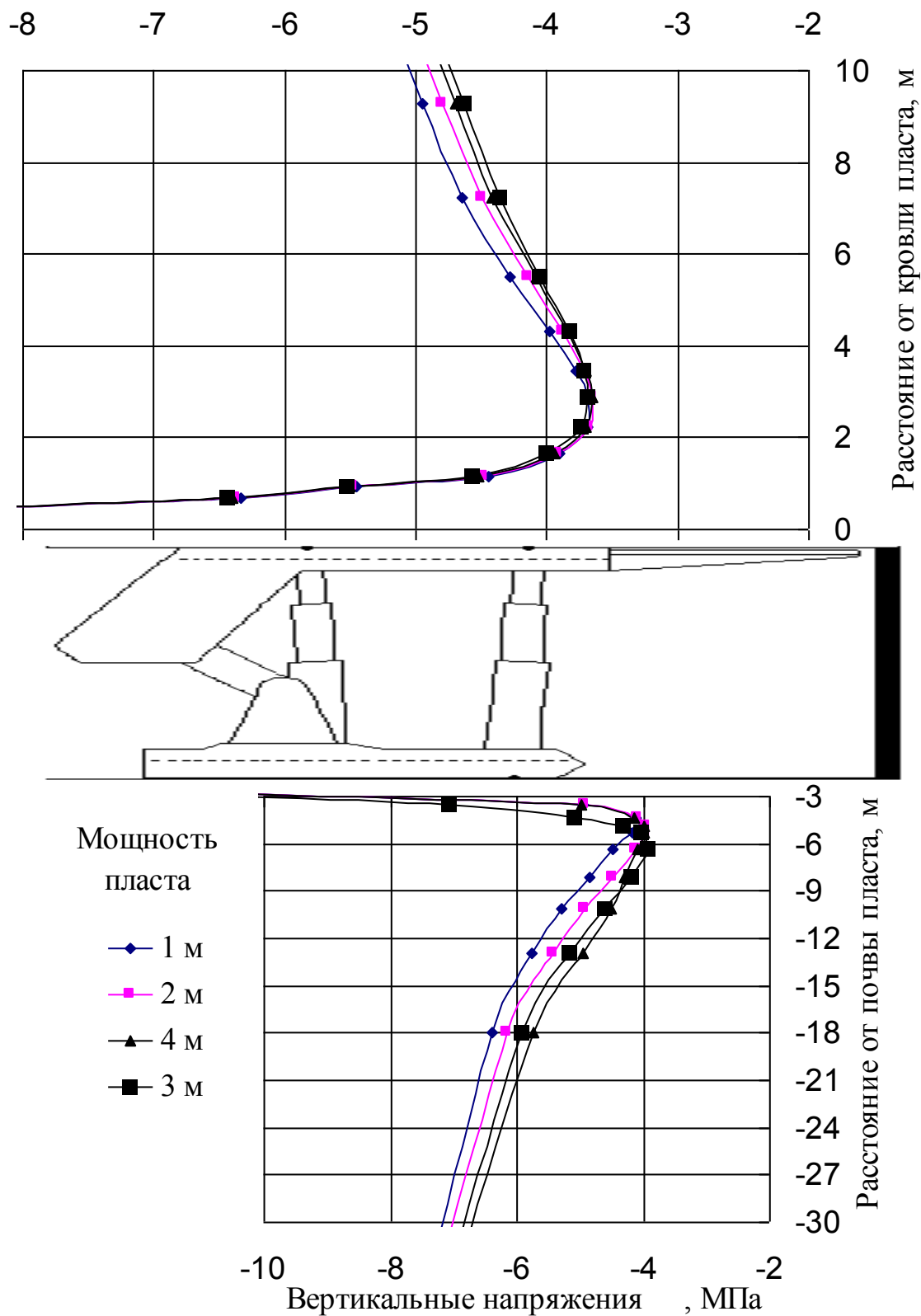


Рисунок 87. Графики изменения вертикальных напряжений (МПа) поднастойкамимеханизированнойкрепивзависимостиот мощности вынимаемого пласта

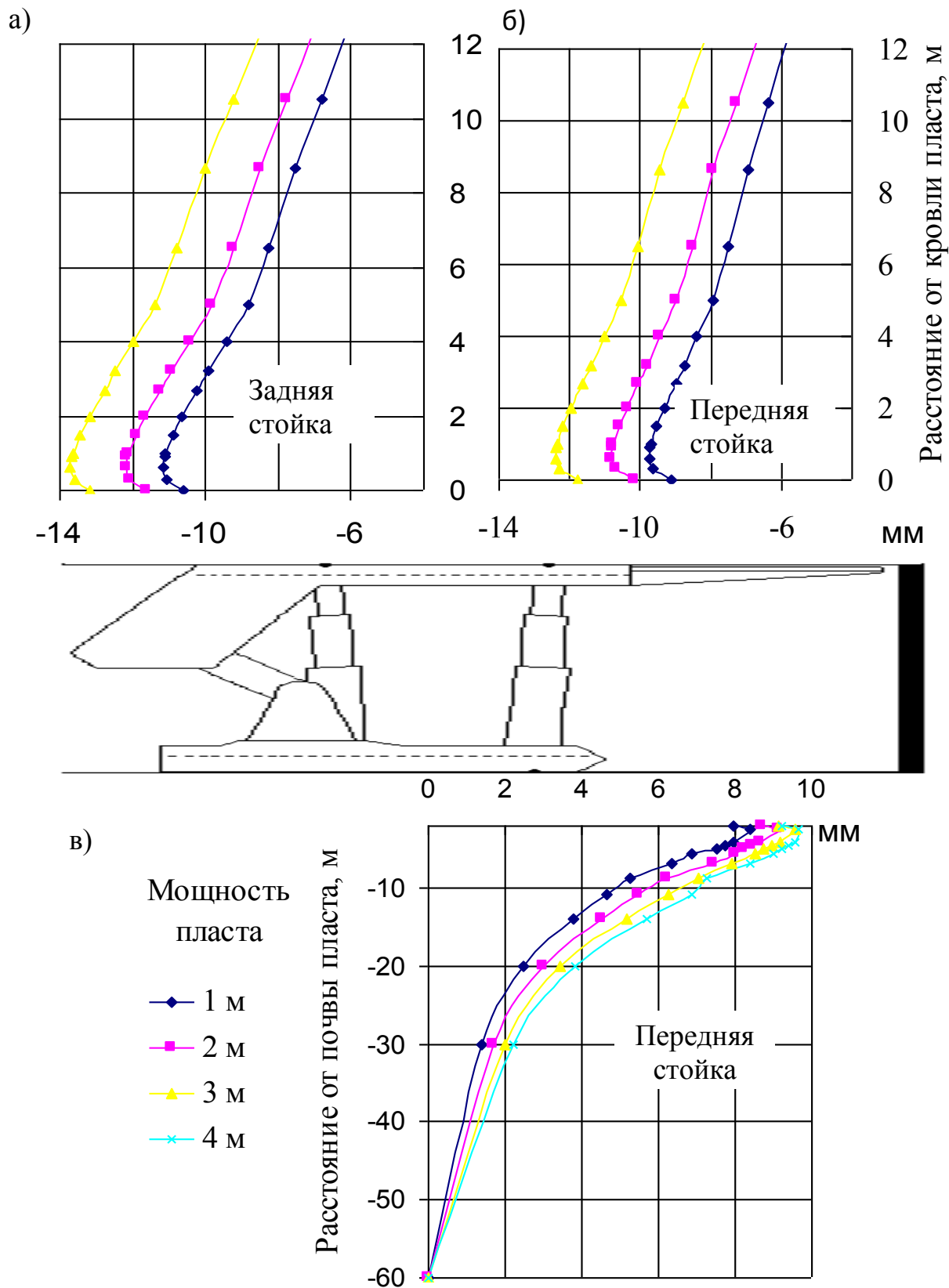


Рисунок 88. Графики вертикальных смещений (мм) в зависимости от мощности угольного пласта: а – над задней стойкой; б – над передней стойкой; в – под передней стойкой

В породах кровли также происходит смещение пород, причем, над передней стойкой величина смещения пород кровли в 1,4 раза меньше, чем над посадочным рядом механизированной крепи. Следовательно, чем больше мощность пласта, тем больше величина смещения пород кровли. С увеличением расстояния от поверхности почвы под передней стойкой секции крепи, величина смещений снижается и стремится к нулю.

На рисунке 89 приведены зависимости распределения напряжений и смещений в середине угольного забоя (точка 4 на рисунке 83) в зависимости от того же показателя, т.е. мощности вынимаемого угольного пласта. Из них видно, что с увеличением мощности пласта наблюдается уменьшение величины вертикальных сжимающих напряжений (рисунок 89,а) и увеличение горизонтальных смещений (рисунок 89,б) в середине забоя. При увеличении мощности угольного пласта в 4 раза величина сжимающих напряжений уменьшается примерно в 3 раза.

При исследовании характера распределения горизонтальных смещений впереди забоя установлено, что с увеличением мощности угольного пласта увеличивается и величина смещений в сторону выработанного пространства.

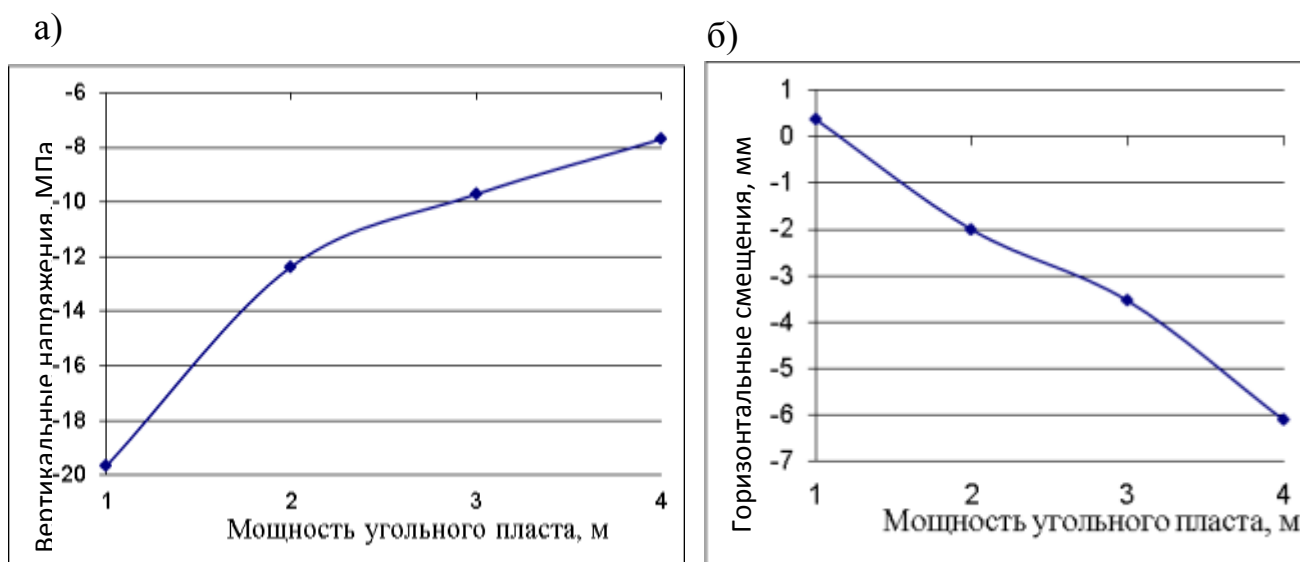


Рисунок 89. Влияние мощности угольного пласта на характер распределения напряжений и смещений на поверхности забоя: а) - вертикальных напряжений, МПа; б) - горизонтальных смещений, мм

Следовательно, с увеличением мощности пласта повышается вероятность отжима поверхности забоя. Это подтверждается характером изолиний отношения остаточной прочности пород к исходной (Рисунок 90). С увеличением мощности угольного пласта горизонтальные смещения увеличиваются. Величина этих смещений впереди забоя увеличивается от нижней части забоя к верхней.

Из сопоставления графиков и анализа полученных результатов можно сделать вывод, что мощность вынимаемого слоя угля влияет на характер распределения горизонтальных напряжений и вертикальных смещений.

Качество прогноза геомеханического взаимодействия механизированных крепей циклически движущихся очистных забоев угольных шахт с углепородным массивом можно существенно улучшить, если при имитации движения КМЗ учитывать предшествующее состояние и прогрессирующую

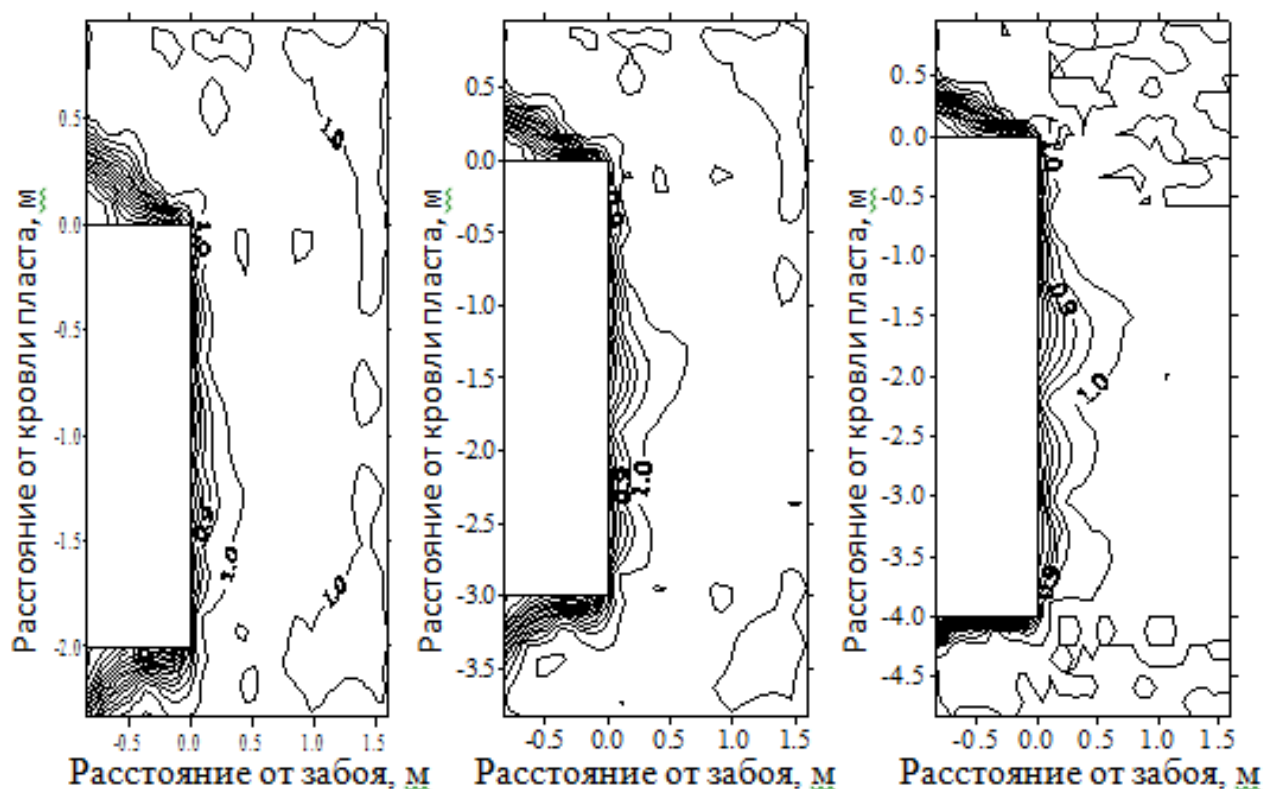


Рисунок 90. Изолинии отношения остаточной прочности к исходной при разной мощности вынимаемого слоя: а – 2 м, б – 3 м, в – 4 м

дезинтеграцию горных пород в зоне техногенного воздействия, что позволит получить более достоверные результаты. Движение очистного забоя в пространстве выемочного столба можно представить в виде двух участков и соответствующих им режимов: неустановившегося – при движении КМЗ от монтажной камеры до первого генерального обрушения пород кровли и периодически–установившегося – при дальнейшем движении КМЗ с относительно постоянным шагом обрушения пород кровли.

По длине выемочного столба наблюдаются перемещающиеся зоны с разными режимами геомеханического взаимодействия механизированной крепи с углепородным массивом: зона неустановившегося режима – при движении КМЗ от монтажной камеры до первичного обрушения пород кровли и зона периодически-установившегося режима – при дальнейшем периодическом обрушении пород кровли. Выявлено наличие переходной зоны между зонами неустановившегося и периодически-установившегося геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом, в которой происходит активизация осадок пород основной кровли и отжима угля от забоя с последующим затуханием этих процессов.

Установлено, что периодический характер нагрузок на непосредственную кровлю со стороны секции крепи является причиной снижения прочности пород кровли. В неустановившемся режиме (до первого обрушения пород основной кровли) при каждом новом цикле площадь разрушенных пород на проекции увеличивается более чем в 2 раза, в то время как в периодически-установившемся режиме она остается практически одинаковой. Это подтверждается удовлетворительным совпадением расчетных размеров зон с измененной структурой пород кровли и фактических вывалов при циклическом движении очистного забоя.

На рисунке 91 представлена картина постепенного снижения устойчивости пород непосредственной кровли при движении очистного забоя.

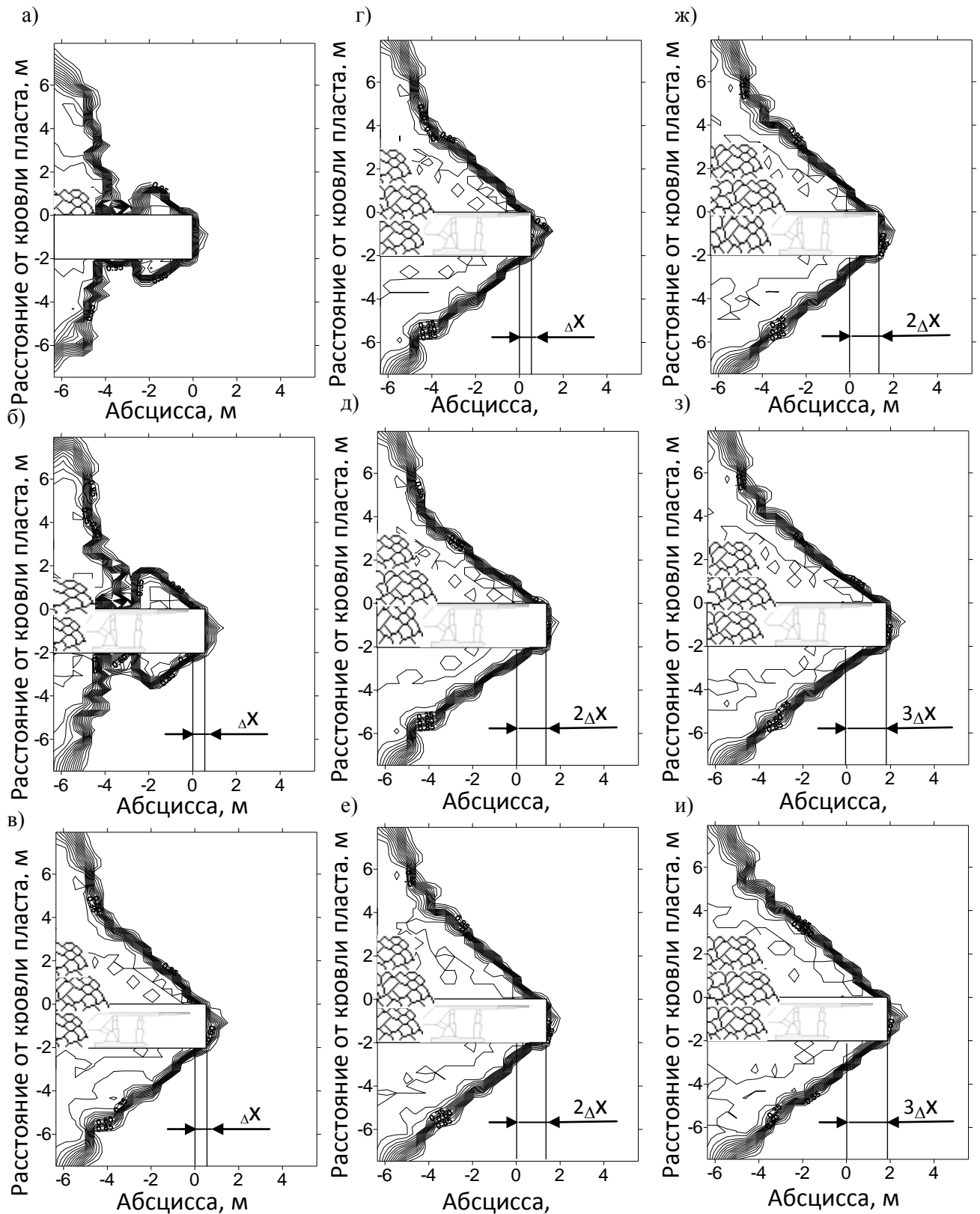


Рисунок 91. Изменение отношения остаточной прочности к исходной при движении механизированной крепи на глубине 600 м с шагом передвижки $\Delta x = 0,8$ м; а–и - последовательность движения забоя

Условия работы секций механизированной крепи в переходной зоне наиболее тяжелые. Рекомендуется выбирать тип и конструкцию механизированной крепи по геомеханическим параметрам, определяемым в переходной зоне от неустановившегося к периодически-установившемуся геомеханическому взаимодействию механизированных крепей с углепородным массивом.

Эффективность применения механизированных крепей в значительной степени зависит от способа их передвижки. Довольно часто применяется способ передвижки с полной разгрузкой секций (потерей контакта с кровлей) и распором в новом положении. Эти операции периодически повторяются в каждом цикле. В результате такого характера взаимодействия крепи с кровлей происходит многократное знакопеременное смещение кровли в пределах поддерживаемого призабойного пространства, которое приводит к уменьшению естественной несущей способности горных пород, их разрыхлению, дополнительному расслоению, раскрытию трещин и частичным вывалам. В результате над крепью образуются пустоты, которые увеличиваются с каждой передвижкой. Кроме того, отслоившаяся при разгрузке и перемещении секций порода на перекрытиях препятствует последующему распору секций, что является причиной еще более значительных вывалов пород непосредственной кровли.

На рисунке 92 представлено семейство изолиний вертикальных смещений в породах кровли в момент передвижки секции крепи при циклическом движении очистного забоя. Анализ графиков позволяет сделать вывод о том, что с использованием подпора величина вертикальных смещений в породах кровли уменьшается. Увеличение подпора выше определенного значения приводит к изменению направления смещений. Таким образом, при использовании подпора определенной величины во время передвижки секции механизированной крепи можно избежать обрушения пород кровли в призабойной зоне.

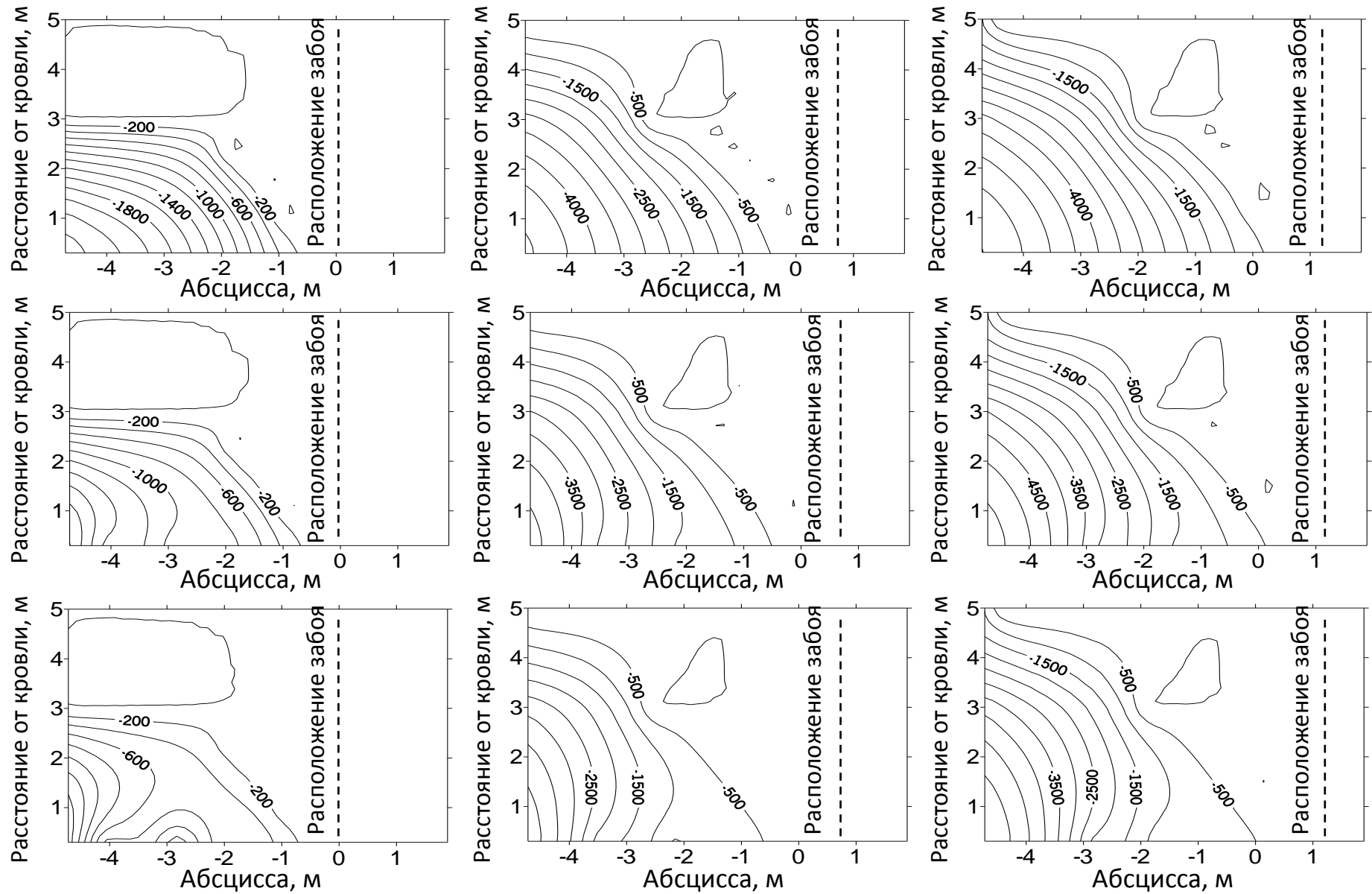


Рисунок 92. Изолинии вертикальных смещений в породах кровли над механизированной крепью в трех циклах перемещения с активным подпором (P_n) на глубине $H=300$ м: а – $P_n = 0$ т; б – $P_n = 2$ т; $P_n = 4$ т

Этот вывод подтверждается исследованиями и наблюдениями, проведенными в комплексно-механизированных забоях на шахтах концерна "Кузнецкуголь", связанные со способом передвижки секции крепи. В результате проведенных исследований установлено, что передвижка секции с подпором обеспечивает удовлетворительное обжатие пород кровли на контакте с верхним перекрытием крепи, предотвращая заколы и вывалы.

6.4. Использование геоинформационного анализа для управления горным давлением при отработке угольных пластов

Современное горное механизированное предприятие, выполняя свои основные функции, связанные с добычей полезного ископаемого, его транспортировкой и частичной переработкой, реализует большое количество разнообразных производственных технологических процессов, синхронизированных во времени и пространстве. Добыча полезного ископаемого сопровождается и различного рода геомеханическими процессами, в том числе горными ударами и внезапными выбросами угля и газа. [181-185]

Надлежащее качество управления (регулирования) таким сложным объектом может быть достигнуто только путем изучения пространства различных технологических и геомеханических закономерностей. Для ускорения процесса приобретения знаний производятся различного рода вычислительные эксперименты с использованием компьютерной техники.

Решение многих проблем в горной промышленности возможно на основе принципов имитационного моделирования. Их использование позволяет в рамках единой методологии описать функционирование и взаимодействие технологических подсистем и горной среды с учетом пространственно-временной динамики горных работ. Пространственный специализированный анализ производится в целях выявления тенденций развития явлений в пространстве и во времени.

При проведении пространственного анализа можно использовать только те представления объектов реального мира, которые возможно реализовать с помощью моделей данных, заложенных в систему. Отображение результатов геоинформационного моделирования напряженно-деформированного состояния угленосного массива производится по содержащимся базе данных численным характеристикам.

На практике графическое воспроизведение данных приобретает черты картографического изображения, поэтому почти всегда, говоря о визуализации данных в ГИС, имеется в виду их картографическая визуализация. В традиционной картографии графические средства включают систему картографических знаков и надписей, указывающие местоположение пространственных объектов и характеризующих их сущность в виде некоторых атрибутов, выражаемых в количественной форме. Для тематического картографирования результатов исследований используются следующие способы картографического изображения.

Способ изолиний – применяется для количественной характеристики континуальных поверхностей распределения напряжений или смещений в исследуемой области. Изолинии соединяют точки с одинаковыми значениями картографируемого показателя. С помощью изолиний показываются изменения явления во времени.

Способ ареалов – применяется для характеристики областей распространения области разрушенных пород. Если расчетные показатели геомеханического состояния породного массива, в какой либо дискрете превысят их значения в нетронутом массиве, то в этой области отрисовывается ареал, показывающий площадь разрушенных пород на электронной тематической карте ведения горных работ.

Возможность периодического снятия и отображения результатов имитационного моделирования в одном и том же срезе, при различных положениях очистного забоя, позволит анимировать процесс выемки угля.

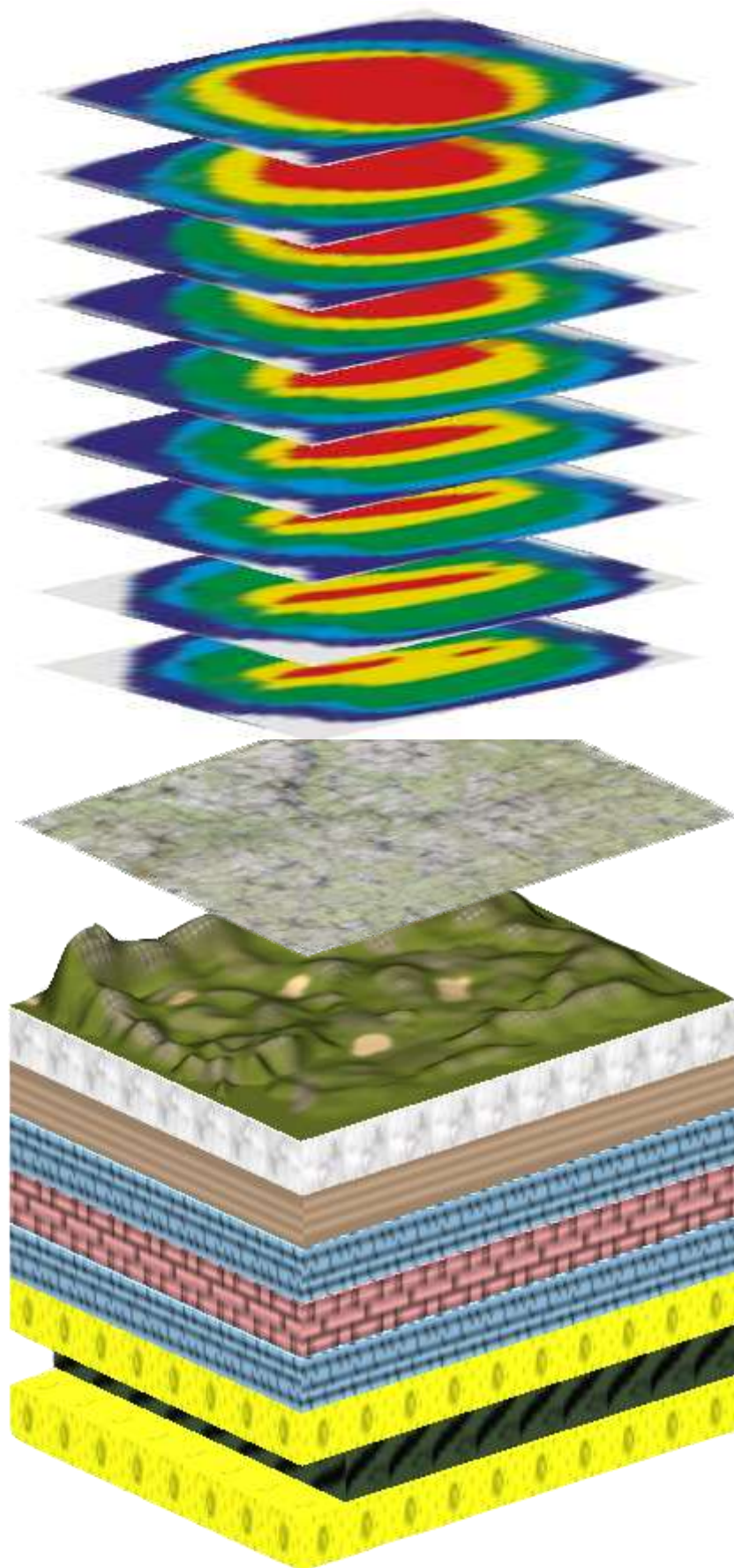


Рисунок 93. Технология создания анимации тематической карты

Поскольку результаты в базе данных размещаются по кадрам в виде массивов данных, это позволит исследовать динамику развития опасных зон не только во времени, но и по событиям. Возможность проигрывания каждого кадра в отдельности позволит детально разбирать и осмысливать причины возникновения аварийных ситуаций с учетом движения очистного забоя. [186]

При создании шахтного поля на тематической карте фиксируются три точки, которые привязываются к географическим показателям – долгота и широта. Положения этих точек таковы, что они определяют размер и геометрию шахтного поля. Линия (плоскость), от которой будет осуществляться движение очистного забоя, является нулевой отметкой для моделирования геомеханических процессов при ведении очистных работ. В результате получаем дискретную область, в которой по длине выемочного столба, дискрета равна шагу передвижки механизированного комплекса (0,8 м.), а по ширине – ширине механизированной крепи, например 1,5 м.

Разместив полученные результаты на электронной карте ведения выемочных работ, можно осуществить их координатную привязку. Это позволит рассматривать влияние процесса добычи угля в системе взаимодействия объектов с геопространственными характеристиками. На основании полученных данных, можно будет осуществлять прогноз опасных участков при выемке полезных ископаемых, и оценить целесообразность ведения горных работ. (Рисунок 93)

Данные моделирования движения очистного забоя с определённым шагом хранятся в реляционной базе данных по принципу «ключ-значение». Такой подход позволяет получать интересующие данные за линейное время, вне зависимости от количества крепей и размеров базы данных. В качестве основы для приложения используется программный каркас, реализующий общие функции ГИС и поддерживающий расширение посредством модулей.

При необходимости результаты моделирования геомеханического взаимодействия угленосного массива с циклически движущимся очистным забоем можно отобразить на электронных картах с использованием

графических средств положенные в основу географических информационных систем таких как QGIS, ARCVIEW GISи т.п.

Изолинии напряжений могут быть визуализированы как на виде сверху в области ведения горных работ в пределах шахтного поля, так и на отдельных срезах. Таким образом, при создании тематических карт, результаты математического моделирования целесообразно выводить в виде набора изолиний. На рисунке 94 показан пример визуализации семейства изолиний отношения остаточной прочности пород к исходной при движении очистного забоя от монтажной камеры. Жирная линия на карте показывает местонахождение очистного забоя. Пунктирной линией показано положение горных выработок.

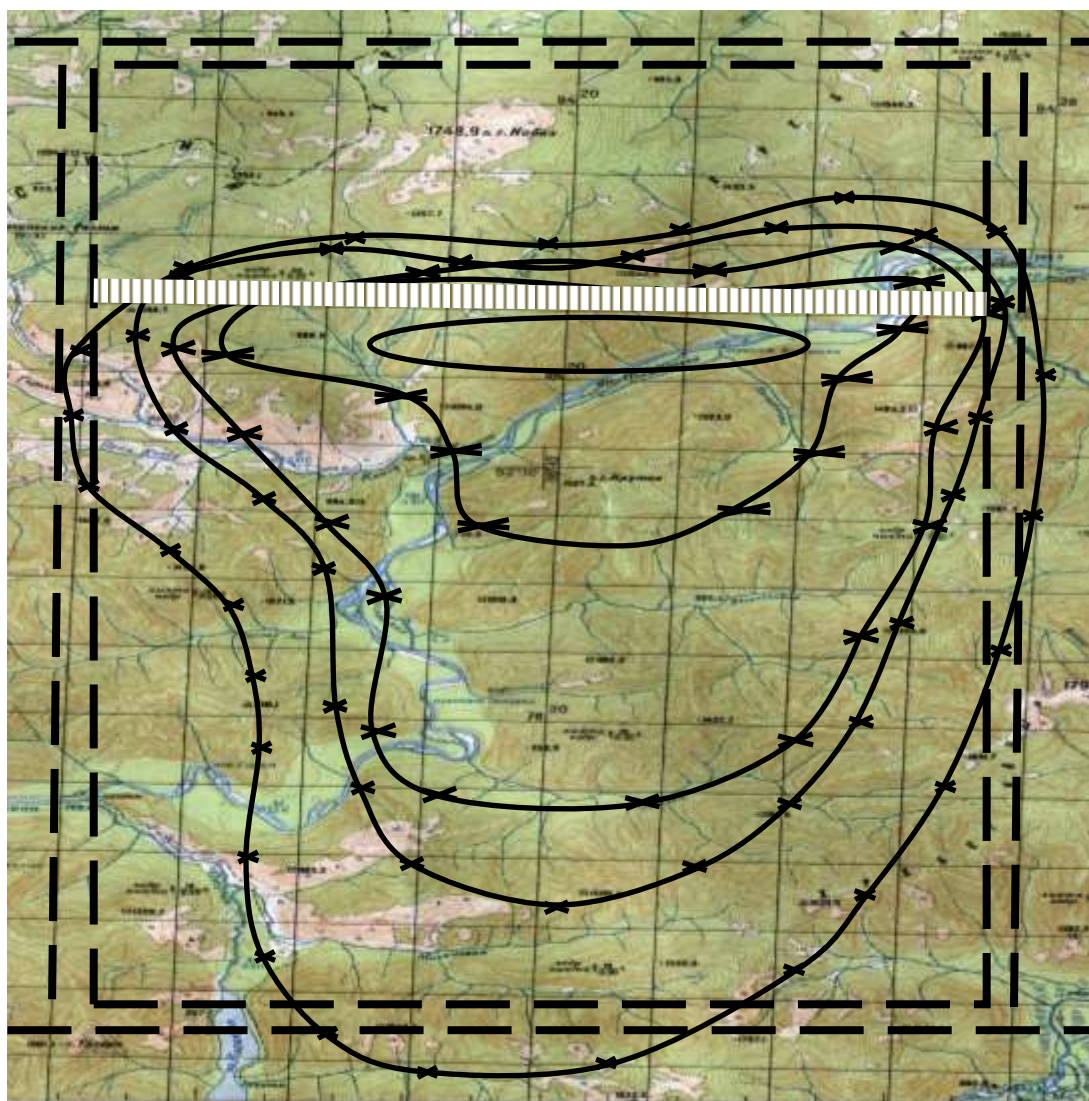


Рисунок 94. Визуализация результатов моделирования

Картографическая анимация, полученная при моделировании по событиям, наглядно отображает изменение процесса и позволяет сделать выводы, способствующие повышению безопасности при ведении очистных работ. [187] Для уменьшения размера выходного файла для каждого «кадра» применяется PNG-сжатие. Во время рендеринга изображений для «кадров» допустимо применять распределенную многопоточную обработку при наличии аппаратной возможности. В любом случае, создание полноценной картографической анимации будет возможно только тогда, когда будут получены все статические графические изображения. Из полученных изображений формируется видео файл, который дополнительно сжимается кодеком h264 и программы FFmpeg. Концепция получения картографической анимации по событиям представлена на рисунке 95. Все процессы формирования картографической анимации требуют крупных затрат аппаратных и временных ресурсов, в связи с чем предлагается проводить рендеринг анимации на более мощном сервере, не лишая пользователя возможности продолжать работать в ГИС.

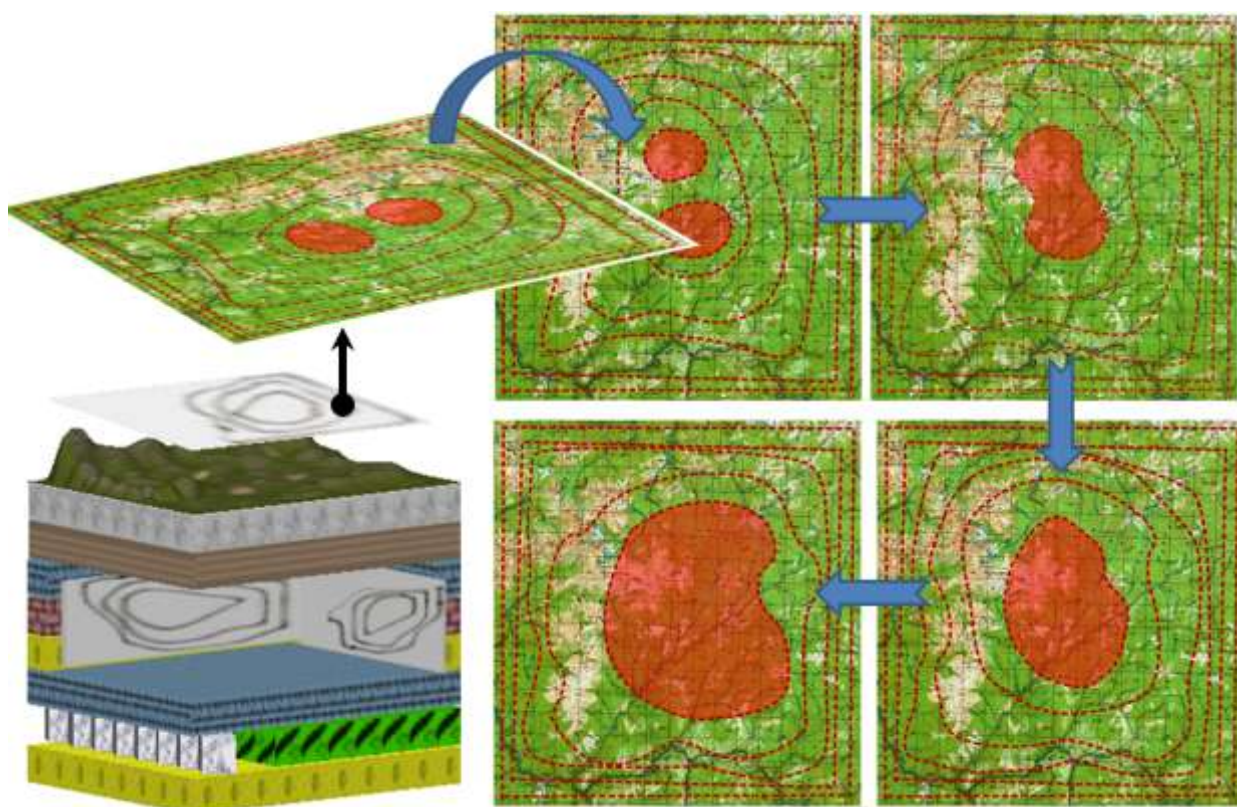


Рисунок 95. Концепция получения картографической анимации по событиям

6.5 Выводы по главе

Отображение результатов моделирования ведения очистных работ в пределах выемочного участка с использованием ГИС – технологий на тематических электронных картах позволит осуществлять прогноз опасных зон и планировать профилактические мероприятия по предотвращению аварийных ситуаций, выбирать очистной механизированный комплекс с силовыми характеристиками крепи, соответствующими наиболее сложной горно-геологической ситуации по длине выемочного столба на этапе разработки паспорта выемочного участка.

Полученные результаты можно разместить на электронной карте ведения выемочных работ и осуществить их координатную привязку. Это позволит рассматривать влияние процесса добычи угля в системе взаимодействия объектов с геопространственными характеристиками. Изолинии напряжений или смещений могут быть визуализированы как на виде сверху в области ведения горных работ в пределах шахтного поля, так и на отдельных срезах.

Таким образом, в рамках данной диссертационной работы геоинформационная система рассматривается как информационно-программная система, позволяющая осуществлять поиск, анализ, редактирование, хранение и визуализацию пространственных данных, основой интеграции которых является географическая информация. В процессе создания тематических карт используются топологические модели объектов предметной области. В частности, по результатам моделирования параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива при ведении очистных работ на различных выемочных участках может быть построена региональная геоинформационная система мониторинга состояния углепородных массивов для информационной поддержки горнодобывающего предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научной квалификационной работой, в которой решена крупная, имеющая важное народнохозяйственное значение, проблема, заключающаяся в развитии теоретических основ и разработке информационно-аналитического обеспечения геоинформационных систем, моделирования динамики состояния углепородного массива при отработке угольных пластов, для поддержки принятия управленческих решений при проектировании и эксплуатации горнотехнических систем, имеющая важное народнохозяйственное значение для повышения безопасности ведения горных работ. Такая задача может быть решена на основе использования пространственных данных электронного картографирования и компьютерного моделирования прогрессирующего снижения устойчивости пород кровли вынимаемого угольного пласта при циклическом воздействии секций механизированной крепи на углепородный массив.

На основе выполненных автором исследований получены следующие основные результаты.

Предложены теоретические основы построения специализированных ГГИС, позволяющие создавать адаптивные компьютерные системы поддержки принятия решений в процессе ведения горных работ, основанные на использовании стека уровневых моделей при проектировании и эксплуатации промышленных систем угольных предприятий в части повышения безопасности горных работ.

Осуществлено развитие функционально-объектного подхода к проектированию и программированию специализированных ГГИС. Доказано, что описание алгоритма в виде структуры взаимодействующих функциональных объектов достаточно для решения задач прогнозирования опасных ситуаций при ведении очистных работ.

Доказано, что информационно-аналитическое обеспечение ГГИС должно включать средства электронного картографирования горно-геологического строения углепородного массива, горных выработок и элементов технологических систем, а также средства компьютерного моделирования геомеханических процессов.

Разработана типовая конфигурация информационно-аналитического обеспечения в виде ГИС-приложения, отличающаяся наличием средств электронного картографирования и математического моделирования геомеханических процессов взаимодействия углепородного массива и технологического оборудования, что повышает полноту обработки информации по сравнению с типовыми ГИС и улучшает условия для принятия управленческих решений.

Разработана интегрированная геоинформационная модель хранения картографических данных и результатов моделирования геомеханических процессов в окрестности очистного забоя, основанная на использовании HOIAP-технологии. Полученный банк пространственно-атрибутивных данных может использоваться как часть информационно-аналитической системы для поддержки принятия управленческих решений по проектированию горнотехнических систем.

Разработана концептуальная модель построения пространственных компьютерных геоизображений новых видов, позволяющая изучать динамику появления и развития зон повышенного давления для выработки рекомендаций по снижению аварийных ситуаций при ведении очистных работ комплексно-механизированными забоями.

Разработан и программно реализован метод имитационного моделирования геомеханических процессов взаимодействия механизированной крепи с углепородным массивом. Достоверность полученных результатов достигается компьютерным моделированием силовых и геометрических характеристик оборудования очистного забоя с учетом прогрессирующего

снижения устойчивости пород кровли при циклическом воздействии на них усилий со стороны секций механизированной крепи и подтверждается данными мониторинга состояния углепородного массива и крепи.

Предложена методика расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестностях очистного забоя, включающая процедуру настройки алгоритма прогнозного моделирования на основе ретроспективных данных, что позволяет повысить достоверность прогноза зон, опасных по обрушениям и геодинамическим явлениям.

Научные результаты и практические рекомендации, разработанные автором, использовались при разработке паспортов выемочных участков шахт УК “Южкузбассуголь”, а также в учебном процессе НФИ КемГУ. Проектирование специализированных программных средств моделирования горно-геологического строения массивов горных пород используется для создания студентами НФИ КемГУ специализированных геоинформационных систем и получения компьютерных геоизображений на основе пространственных данных Кузбасского углепородного массива и средств электронного картографирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов В.В., Жорж Н.В. Геоинформационные технологии разведки и поиска месторождений полезных ископаемых неосвоенных территорий: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 163 с.: ил.
2. Каплунов Д. Р. , Радченко Д. Н. Обоснование полного цикла комплексного освоения недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / Горный информационно-аналитический бюллетень, том 1, № 12: М. 2011, С. 447-455.
3. [Электронный ресурс], <http://industry-portal24.ru/problems/2784-metody-obosnovaniya-optimalnyh-parametrov-v-teorii-proektirovaniya-osvoeniya-nedr.htm>
4. Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, С.А. Корнеев Систематизация и типизация горнотехнических систем комбинированной геотехнологии /Горный информационно-аналитический бюллетень № 11: М. 2009, С. 194-205.
5. Классификация АИС, [Электронный ресурс], <http://gigabaza.ru/doc/148520-pall.html>
6. Середович, В.А. Геоинформационные системы [Текст] : монография / В.А. Середович, В.Н. Ключниченко, Н.В. Тимофеева. –Новосибирск : СГГА, 2008.
7. Сараев А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии //Труды Крымской Академии наук. — Симферополь: СОНАТ, 2006. — С. 47-59, http://matmodelling.pbnet.ru/Statya_Saraev_Shcherbina.pdf
8. Информационная модель предприятия /НТУИТ, Национальный открытый университет им. В.С. Черномырдина, [Электронный ресурс], <http://www.intuit.ru/studies/courses/3735/977/lecture/14683?page=1>

9. Головицына М.В. Информационные технологии в экономике / Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет) [Электронный ресурс]: <http://www.studfiles.ru/preview/3640929/>
10. Смирнова Г.Н. и др. Проектирование экономических информационных систем: Учебник/Г.Н. Смирнова, А.А. Сорокин, Ю.Ф. Тельнов; Под ред. Ю.Ф. Тельнова.—М.: Финансы и статистика, 2001.— 512 с.: ил.
11. Головицына М.В. Информационные технологии в экономике, [Электронный ресурс]: <http://www.studfiles.ru/preview/5255331/page:45/>
12. Терелянский, П. В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования : монография / П. В. Терелянский ; ВолгГТУ. — Волгоград, 2009. — 127 с.
13. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
14. Celko Joe. Analytics and OLAP in SQL. Morgan Kaufmann, 2006. 208 p.
15. Ларсон Б. Разработка бизнес-аналитики в Microsoft SQL Server 2005. – СПб.: Питер, 2008. – 684 с.
16. Кудрявцев Ю.А. OLAP технологии: обзор решаемых задач и исследований // Бизнес-информатика. – 2008. №1. – С. 66-70.
17. Киселев М., Соломатин Е.. Средства добычи знаний в бизнесе и финансах. — Открытые системы, № 4, 1997, с. 41–44.
18. Дюк В., Самойленко А. Data Mining: учебный курс(+CD). — СПб.: Питер, 2001. — 368с.: ил.
19. Геоинформационный портал ГИС-ассоциации – ArcViewGIS [Электронный ресурс]. – <http://www.gisa.ru/3577.html>
20. ArcView [Электронный ресурс]. — <http://www.esri.com/software/arcgis/arcview>
21. ГИС – ArcView GIS [Электронный ресурс]. – <http://gispro.ucoz.ru/index/0-6>

22. Компания Autodesk [Электронный ресурс]. – <http://www.autodesk.ru/>
23. ESTI MAP - официальный представитель Pitney Bowes Software [Электронный ресурс]. – <http://www.esti-map.ru/>
24. Инструментарий для MapInfo 5.0. [Электронный ресурс]. – <http://www.map-info.ru/>
25. ГИС "Панорама" [Электронный ресурс]. – http://www.gisinfo.ru/products/products_panorama.htm
26. Географические информационные системы, [Электронный ресурс], <https://geographyofrussia.com/geograficheskie-informacionnye-sistemy/>
27. Геоинформационные системы и технологии, [Электронный ресурс], <http://gistechinik.ru/publik/git.html>
28. Модели в геоинформационных технологиях, [Электронный ресурс], <http://gistechinik.ru/pub/3-publik/44-referat2.html>
29. Поставьте на карту компьютер - программный комплекс «Пангея» [Электронный ресурс]. – <http://www.mining-media.ru/ru/article/geoinformsys/533-postavte-na-kartu-kompyuter-programnyj-kompleks-pangeya>
30. ГИС-технологии в российской горной промышленности [Электронный ресурс]. – <http://zolotodb.ru/articles/placer/other/10767>
31. Геоинформационная система DATAMINE при производстве маркшейдерских работ на рудниках АО «Казцинк» [Электронный ресурс]. – http://www.rusnauka.com/11._NPRT_2007/Tecnic/22161.doc.htm
32. Компания Micromine [Электронный ресурс]. – <http://www.miningexpo.ru/company/8077>
33. Mining Software & Geological Software [Электронный ресурс]. – <http://www.micromine.com/>
34. Пакет программ Geobank [Электронный ресурс]. – <http://ru.micromine.com/обновления/geobank/>

- 35.Что такое MICROMINE [Электронный ресурс]. –
<http://ru.micromine.com/продукты/micromine/>
- 36.Datamine [Электронный ресурс]. – <http://datamine-it.com/>
- 37.Программный комплекс "Datamine" как единый инструмент текущего и оперативного планирования добычи и обогащения полезного ископаемого на горнорудных предприятиях АО "Казцик" [Электронный ресурс]. – www.do.ektu.kz/news/conf_geo/list/a34.doc
- 38.E3De version 3.0 [Электронный ресурс]. –
<http://cadprograms.ru/programs/geographic-information-systems/page/3/>
- 39.GEOVIA Surpac [Электронный ресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/продукты/surpac>
- 40.Surpac Benefits [Электронный ресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/node/17>
- 41.MineSched 8.0 [Электронный ресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/node/71>
- 42.MineSched [Электронный ресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/продукты/minesched>
- 43.Scheduling for surface and underground mines[Электронныйресурс]. –
http://ru.gemcomsoftware.com//sites/default/files/products/minesched/GEOVIA_MineSched_Brochure.pdf
- 44.Интегрированные решения для геологии, моделирования запасов, планирования горных работ и добычи полезных ископаемых [Электронный ресурс]. – <http://ru.gemcomsoftware.com/продукты/gems>
- 45.Gemcom Gems [Электронный ресурс]. –
http://ru.gemcomsoftware.com/sites/default/files/products/gems/_GEOVIA_GEMS_Brochure_RUS.pdf
- 46.Strategic mine planning – optimize mine profits [Электронныйресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/node/73>
- 47.PCBC [Электронный ресурс]. – <http://ru.gemcomsoftware.com/продукты/pcbc>

48. PCBC Benefits [Электронный ресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/node/353>
49. Преимущества Использования Hub [Электронный ресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/продукты/hub>
50. InSite Benefits [Электронный ресурс]. –
<http://ru.gemcomsoftware.com/node/343>
51. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ВНИИГЕОСИСТЕМ [Электронный ресурс]. – <http://www.geosys.ru/index.php/ru/activity.html>
52. Распределённая геоинформационная система [Электронный ресурс]. –
<http://www.integro.ru/projects/gis/rgis.htm>
53. Состав системы ПАНГЕЯ [Электронный ресурс]. –
http://www.pangea.ru/ru/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=201
54. Малышев Ю.Н., Литвиненко В.С. Анализ состояния техники и технологии добычи угля в России и за рубежом. / Уголь, 1995, № 6, - С. 28 – 29.
55. Гринько Н.К., Архипов Н.А. Повышение технического уровня угольной промышленности. – М.: Недра, 1991. – 222 с.
56. Воскобоев Ф.Н., Семенов Ю.А., Звездкин В.А. Активные способы управления геомеханическим состоянием массива при подземных работах. / Международная конференция 1996 г. – Санкт-Петербург, Россия.
57. Парамонов В.И., Иозенес Н.А. Исследование опыта конструирования и эксплуатации щитовых крепей для длинных очистных забоев. / Уголь, 1994, № 1,2, - С. 34 – 36, 48 - 52
58. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев. / Под ред. Худина Ю.Л. – М.: Недра, 1990. – 413 с
59. Степанов Ю.А. Разработка методики выбора оптимальных параметров и режимов управления механизированными крепями при отработке пологих угольных пластов. / II Международная конференция "Нетрадиционные и

- интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых". – Новокузнецк, Россия, 1997, с. 18 – 19.
60. Кошелев Н.В., Куракалов А.Н., Томасов А.Г., Бурма И.И. Применение взрывоцелевой разгрузки породного массива. – Шахтное строительство, 1982, № 7, с. 10 – 12.
61. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. -М.:Высшая школа, 1994.-544 с.
62. Ли Т.Г., Адамс Г.Э., Гейнз У.М. Управление процессами с помощью вычислительных машин. Моделирование и оптимизация. /Нью-Йорк, 1968. Пер. с англ., под ред. В.И. Мудрова. М., Изд-во "Советское радио", 1972. - 312 с.
63. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. / Учебное пособие для вузов. - М.: Недра, 1989. - 270 с.
64. Каледин В.О. Численно-аналитические модели в прочностных расчетах пространственных конструкций / НФИ КемГУ.- Новокузнецк, 2000.- 204 с.
65. Воскобоев Ф.Н., Семенов Ю.А., Звездкин В.А. Активные способы управления геомеханическим состоянием массива при подземных работах. / Международная конференция 1996 г. Санкт-Петербург, Россия, - С. 24 - 28.
66. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкций крепей. / Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1992. - 543 с.
67. Разупрочнение труднообрушаемых кровель угольных пластов. / С.Т. Кузнецов, Ю.А. Семенов, В.П. Шишкин и др. - М.: Недра, 1987. - 200 с.
68. Шишкин В.Г., Гусельников Л.М. Разупрочнение пород кровли гидромикроторпедированием. // Уголь, 1981, № 11, - С. 27 – 30.
69. Кузнецов С.Т. О направлениях совершенствования механизированных крепей и приемов активного управления кровлей при их управлении. - М.: Изд. ЦНИИЭИ угля, 1970. – 210 с.

70. Докукин А.В. и др. Моделирование предельного напряженного состояния угольных пластов. / Докукин А.В. и др. - М.: Недра, 1981. - 149 с.
71. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. / Учеб.пособие для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. - М., "Высшая школа", 1976. – 368 с.
72. Наша Учёба – учебные материалы [Электронный ресурс]. – http://nashaucheba.ru/цветков_в.я._геоинформационные_системы_и_технологии?page=14
73. Открытые программные системы с применением геоинформационных технологий в горной промышленности [Электронный ресурс]. – <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=409>
74. Геоинформационные системы в горном деле [Электронный ресурс]. – <http://www.km.ru/referats/ED5AF4D6A1294FEBA2E3E4C39EFF9B1D#>
75. Цветков В.Я. Моделирование в научных исследованиях и проектировании. - М.: ГКНТ, ВНИЦентр, 1991. - 125 с
76. Степанов Ю.А. Разработка способа повышения надежности механизированной крепи угольных шахт. / II Международная конференция "Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых". – Новокузнецк, Россия, 1997. - С. 18 – 19.
77. Статистическая динамика горных машин. / А.В. Докукин и др. - М.: Машиностроение, 1978. - 239 с.
78. Степанов Ю.А. Разработка методики выбора оптимальных параметров и режимов управления механизированными крепями при отработке пологих угольных пластов. / II Международная конференция "Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых". – Новокузнецк, Россия, 1997. - С. 16 – 17.
79. Применение методики стержневой аппроксимации для расчета крепей различных конструкций. / В.М. Еганов, А.Е. Коряков, С.П. Туляков: Тул. Гос. ун-т. – Тула. 1998. – 12 с. – Рус. – Деп. в ВИНТИ 27.11.98. №3494-В98.

80. Степанов Ю.А., Степанов А.В., Фрянов В.Н. Анализ условий работы секции механизированной крепи с использованием численных методов механики горных пород. / Материалы VII Международной научно-практической конференции / Под общей редакцией В.Н. Фрянова, Е.В. Пугачева (СибГИУ, г. Новокузнецк) – 2000. – С. 92-94.
81. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ И ПЕРЕРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»
<http://www.kanmash.ru/biblio/newnew/2.pdf>,
<http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-ushakov-kz-bezopasnost-vedeniya-gornyh-rabot-i-gornospasatelnoe-delo-2002.pdf>
82. К.З. Ушаков, И.О. Каледина, Б.Ф. Кирин и др. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело: Учеб. для вузов. / К.З. Ушаков, И.О. Каледина, Б.Ф. Кирин, М.А. Сребный, Е.Я. Диколенко, А. М. Ильин, А.П. Семенов; Под общ. ред. К.З. Ушакова. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. — 487 с.: ил.
83. Степанов Ю.А. Структура региональной геоинформационной системы при ведении выемочных работ угледобывающих предприятий / Геоинформатика-2012, №1 / [Электронный ресурс]. — <http://www.geosys.ru/index.php/ru/journal/2012-03-05-12-09-46.html>
84. RUP [Электронный ресурс]. — www.ibm.com/software/awdtools/rup (дата обращения 25.11.2011)
85. Мартин Фаулер. Шаблоны корпоративных приложений. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2012. — 544с.
86. Спинеллис Д. Идеальная архитектура. Ведущие специалисты о красоте программных архитектур / Спинеллис Д., Гусиос Г. — СПб.: Символ-Плюс, 2010. — 528с.
87. Marunescu. EJB Design Patterns. — New York: John Wiley, 2002.

88. Степанов Ю.А., Фанасков В.С., Боярчук А.А. Использование предметно-ориентированных языков в процессе электронного картографирования // Интеллект и наука: труды XII Междунар. науч. конф./ отв. ред. А.В.Хныкин; Межинститут. Базовая кафедра «Прикладная физика и космические технологии» СФУ; Железногор. филиал СФУ.- Красноярск: Центр информации, 2012. – 400 с.
89. Степанов Ю.А., Бурмин Л.Н. Специализированная ГИС для моделирования процессов горного предприятия // Геоинформатика/ Степанов Ю.А., Бурмин Л.Н. научный журнал: НИИ ГГГ систем, Москва, Россия - М., 2015, №1. – 36-41 С.
90. Which Kind Of Array Or Collection Should I Use? [Электронный ресурс] Unity3D Community Wiki wiki.unity3d.com URL: <http://goo.gl/G692SP> (Дата обращения: 18.11.2015)
91. Степанов Ю.А. Способы автоматизации процесса дискретизации области исследования на конечные элементы // Горный информационноаналитический бюллетень. Mining informational and analytical bulletin /Степанов Ю.А., Степанов А.В. : М. – Изд-во «Горная книга», №6, 2011. 424 С. (С. 316-320)
92. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Сегерлинд Л. Пер. с англ. к.ф.н. А.А. Шестакова – М.: Мир, 1979. 392 с.
93. Степанов Ю.А. Адаптация и развитие метода конечных элементов для расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива // Вестник Кузбасского государственного технического университета / Степанов Ю.А. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2011. № 4. 168 С. С. 31 – 34
94. Тикунов В.С. Основы геоинформатики: В 2-х кн. Кн. 1: учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр "Академия", 2004.

95. Горский В.Г., Адлер Ю.П. Планирование промышленных экспериментов. - М. "Металлургия", 1974. - 264 с.
96. Степанов А.В., Степанов Ю.А., Фрянов В.Н. О прогнозировании параметров геомеханических процессов угольных шахт. /Перспективные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Труды VIII Международной научно-практической конференции. / Под общей редакцией В.Н. Фрянова, Е.В Пугачева/ СибГИУ, г.Новокузнецк, 2001. – 304 с.
97. Кроль Е.Т. Высокопроизводительное и надежное оборудование шахтерам. / Уголь, 1995, № 6, - С. 18 – 25
98. [Электронный ресурс]. – http://www.seobuilding.ru/wiki/Имитационное_моделирование
99. Степанов Ю.А., Степанов А.В., Фрянов В.Н. Имитационное моделирование технологических и геомеханических процессов выемки угля. / Проблемы электроснабжения и электросбережения на горно-рудных и металлургических предприятиях Кузбасса: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию юбилею кафедры горной электромеханики СибГИУ – Новокузнецк, 2000, - 184 с.
100. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
101. Волков В.Н. Основы теории систем и системного анализа /в.н. Волков, А.А. Денисов. – СПб. :Изд-во СПбГТУ, 1997
102. Степанов Ю.А., Модель идентификации геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом / Горный информационно-аналитический бюллетень. Mining informational and analytical bulletin: М. – Изд-во «Горная книга», №7, 2011. 422 С
103. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 32 с.

104. Марков Н.Г., Горяев Р.И., Захарова А.А., Ковин Р.В., Черноусов М.В. Математический аппарат для построения тематических карт при изучении и использовании недр // Трансферные технологии в информатике. . Томск: Изд-во ТПУ. . 1999. . Вып 1. . С. 53-61.
105. Зиновьев А.Ю., Питенко А.А. Визуализация произвольных данных методом упругих карт // Материалы конференции молодых ученых Красноярского научного центра СО РАН, апрель 2000г. . Красноярск: КНЦ СО РАН. . 2000. . С.18.20.
106. Зиновьев А.Ю., Питенко А.А., Россиев А.А. Проектирование многомерных данных на двумерную сетку. // 2-я Всероссийская научно-техническая конференция .Нейроинформатика-2000.. Сборник научных трудов. Ч.1. М.: МИФИ. . 2000. . С.80-88.
107. Зиновьев А.Ю., Питенко А.А. Картографирование произвольных данных. // "Студент и научно-технический прогресс":Информационные технологии. Материалы XXXVIII международнойнаучной студенческой конференции. Новосибирск: НГУ.. 2000. .С.38.
108. Методы визуализации данных [Электронный ресурс]. – <http://bug.kpi.ua/stud/work/RGR/DATAMINING/datavisualisatmethods.html>
109. Стратегия развития ИТ-отрасли России подверглась серьезной корректировке[Электронный ресурс]. – <http://www.olap.ru/home.asp?artId=2146>
110. Черемисина Е.Н., Никитин А.А. Геоинформационные системы и технологии : учебник для вузов / Е.Н. Черемисина., А.А. Никитин. - М, : ВНИИгеосистем, 2011, - 376 с.
111. Курс лекций по дисциплине «Базы данных в ГИС» для студентов факультета «Геодезия картография и землеустройство» Николаев 2008 г [Электронный ресурс]. – <http://do.gendocs.ru/docs/index-182724.html?page=2>
112. Методы и средства визуализации [Электронный ресурс]. – <http://www.citymap.odessa.ua/?52>

113. Геоинформатика. Анимация и картографические способы изображения. Анимация поверхностей. [Электронный ресурс]. – <http://eduknigi.ru/tikunov/geoinformatika.php?id=77>
114. Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов / Е.Г.Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; Под ред. В. С.Тикунова. —М: Издательский центр «Академия», 2005. — 480 с , [8] с. цв. ил. (Классический университетский учебник) ISBN 5-7695- 1924-X
115. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии [Электронный ресурс]. – http://nashaucheba.ru/v24030/цветков_в.я._геоинформационные_системы_и_технологии?page=2
116. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы.: Пер. с англ. – М: Дата+, 1999.
117. Степанов Ю.А. К вопросу о применении DSL в специализированных ГИС //Степанов Ю.А., Фанасков В.С. / XII Международная конференция "Информатика: проблемы, методология, технологии", Воронеж - февраль 2012 года.
118. Фанасков В.С. Технология разработки программного обеспечения специализированных геоинформационных систем. Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2011. – 573 с.
119. Alfred V. Aho. Compilers: Principles, Techniques, & Tools / Alfred V. Aho, Monica S. Lam, Ravi Sethi, Jeffrey D. Ullman .–Prentice Hall. – 2006
120. Language Implementation Patterns: Create Your Own Domain-Specific and General Terence Parr. Programming Languages (Pragmatic Programmers). - Pragmatic Bookshelf. - 2010
121. DebasishGhosh. DSLs in Action. - Manning Publications. - 2010
122. Michael L. Scott. Programming Language Pragmatics. - Morgan Kaufmann. – 2009

123. Степанов Ю.А. Программная реализация таблиц переменных для DSL используемых в специализированных ГИС // Степанов Ю.А., Фанасков В.С., Боярчук А.А. / Информационные системы и технологии: материалы международной научно-технической конференции. – Красноярск: Изд. Научно-инновационный центр – май 2012, С. 103-107
124. Исследования по использованию методик гибкой разработки AgileSurvey [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – http://www.versionone.com/pdf/2011_State_of_Agile_Development_Survey_Results.pdf (дата обращения 20.07.2012)
125. Newkirk, JW and Vorontsov, AA. Test-Driven Development in Microsoft .NET, Microsoft Press, 2004.
126. Фаулер М. Рефакторинг: улучшение существующего кода. – СПб: Символ-Плюс, 2010. – 432с.
127. Поль М. Дюваль Непрерывная интеграция: улучшение качества программного обеспечения и снижение риска / Поль М. Дюваль, Стивен М. Матиас III, Эндрю Гловер. – Вильямс, 2008.
128. М. Кон. Scrum: гибкая методология разработки ПО. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. – 576с.
129. Фанасков В.С. К вопросу о проектировании архитектуры специализированного программного обеспечения на баз ГИС-технологий / Фанасков В.С., Степанов Ю.А. – Информационные системы и технологии: материалы международной научно-технической конференции. – Красноярск: Изд. Научно-инновационный центр – май 2012.
130. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы.: Пер. с англ. – М: Дата+, 1999.
131. Филатов Н.Н. Географические информационные системы. Применение ГИС при изучении окружающей среды: Учеб.пособие. — Петрозаводск: Изд-во КГПУ, 1997. — 104 с.

132. Трофимова С.Ф. Проблемы концептуального моделирования в ГИС. — «Геоинформатика-2000»//Тр. Международной науч.-практ. конференции / Под ред. А. И. Рюмкина, Ю. Л. Костюка, А. В. Скворцова. — Томск: Изд-во Томск, ун-та, 2000. — С. 7-12.
133. Лурье И. К. Основы геоинформатики и создание ГИС. / Дистанционное зондирование и географические информационные системы / Под ред. А.М.Берлянта. - Ч. 1. - М.: ООО «ИНЭКС-92», 2002. - 140 с.
134. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. — Ч. I . Теоретическая геоинформатика. Вып. 1 . - М . : ДАТА +, 1998. — 118 с.
135. Тикунов В.С. Моделирование в картографии. — М.: Изд-во МГУ,1997.- 405 с
136. Степанов Ю.А. Методика построения компьютерной трехмерной модели шахты / Ю.А. Степанов, Л.Н. Бурмин// Вестник компьютерных и информационных технологий - Москва, 2015. – №9.– С. 25-31
137. HOLAP URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/HOLAP> (дата обращения: 22.04.2015).
138. Шек В.М. Объектно-ориентированное моделирование горнопромышленных систем. – Учеб.пособие. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2000. – 304 с
139. Степанов Ю.А. О постановке задачи имитационного моделирования геомеханических процессов // Высокие технологии, образование, промышленность. Т.1: сборник статей Одиннадцатой международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологии в промышленности". 27-29 апреля 2011 г., Санкт-Петербург, Россия/под ред.А.П.Кудинова.-СПб.:Изд-во Политехн.ун-та, 2011.-494 с.
140. Галлагер Р. Метод конечных элементов. / Основы: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 428 с.

141. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными.
/Пер. с англ. Кондрашова В.Е., Курякина В.Ф.; Под ред. Яненко. – М.: Мир,
1981. – 216 с.
142. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. - М.:
Недра, 1987. - 221 с.
143. Степанов Ю.А. Сеточный генератор. Материалы научно- практической
конференции Кузбасса, / Под общ. ред. проф. К.Еафанасьева/. Кемерово:
Изд-во "Полиграф", часть 2, январь 2001 г. – 220 с. сервер: [Электронный
ресурс]. – <http://conference/kemsu.ru/infokuz>.
144. Степанов Ю.А., Степанов А.В. О средствах навигации в
триангуляционной сети конечных элементов. Нетрадиционные и
интенсивные технологии разработки месторождений полезных
ископаемых. / Труды V Международной конференции./ СибГИУ.-
Новокузнецк, 2000. -208 с.
145. Степанов Ю.А., Степанов А.В. Корректировка триангуляционной
сети метода конечных элементов с помощью графического редактора ЭВМ.
Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений
полезных ископаемых: Труды IV Международной конференции / СибГИУ.
– Новокузнецк, 1999. – 273 с.
146. Фаулер М., Скотт К. UML в кратком изложении. Применение
стандартного языка объектного моделирования. / Пер с англ. – М.: Мир,
1999. – 191 с.
147. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство
пользователя. / Пер. с англ. – М.: ДМК., 2000. – 432 с.
148. Тейксер, Стив, Пачеко, Ксавье. Delphi 5. Руководство разработчика, том
1. Основные методы и технологии программирования. / Пер с англ.:
Учеб.пособ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2000. – 832 с.

149. Тейксеры, Стив, Пачеко, Ксавье. Delphi 5. Руководство разработчика, том 2. Разработка компонентов и программирование баз данных. / Пер. с англ.: Учеб.пособ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2000. – 992 с.
150. Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др. Основы геоинформатики: Учеб. пособие / Под ред. В. С.Тикунова. — М.: Издат. центр «Академия», 2004. - Кн. 1 - 352 с ; Кн. 2 - 480 с.
151. Имитационное моделирование сложных динамических систем [Электронный ресурс]. – http://www.exponenta.ru/soft/others/mvs/ds_sim.asp
152. НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ [Электронный ресурс]. – http://icm.krasn.ru/ftp/thesis/rus_thesispitenko.pdf
153. Kohonen T. Self-Organizing Maps. Springer: Berlin . Heidelberg, 1997.
154. Россиев А.А. Моделирование данных при помощи кривых для восстановления пробелов в таблицах. // Методы нейроинформатики: Сб. Научных трудов. Красноярск: Изд-во КГТУ. . 1998. . 204 с.
155. Зиновьев А.Ю., Питенко А.А. Визуализация произвольных данных методом упругих карт // Материалы конференции молодых ученых Красноярского научного центра СО РАН, апрель 2000г. . Красноярск: КНЦ СО РАН. . 2000. . С.18.20.
156. Зиновьев А.Ю., Питенко А.А., Россиев А.А. Проектирование многомерных данных на двумерную сетку. // 2-я Всероссийская научно-техническая конференция .Нейроинформатика-2000.. Сборник научных трудов. Ч.1. М.: МИФИ. . 2000. . С.80-88.
157. Некрасов В.В. Акционерное общество открытого типа "Угольная компания "Кузнецкуголь". / Уголь, 1997, №4, - С. 20 – 24.
158. Спецификация требований программного обеспечения. Стандарт IEEE 830 [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – <http://standards.ieee.org/findstds/standard/830-1998.html> (дата обращения 18.07.2012)

159. Эванс Э. Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2012. – 448 с
160. ГрадиБуч. Язык UML. Руководство пользователя / ГрадиБуч, Джеймс Рамбо, А.Я. Якобсон, Г. Буч, Д. Рамбо, А. Джекобсон. – ДМК, 2006. – 496с.
161. Джим Арлоу. UML 2 и Унифицированный процесс: практический объектно-ориентированный анализ и проектирование, 2-е издание / Джим Арлоу, А. Нейштадт. – Символ-Плюс, 2007. – 624с.
162. Список свободного программного обеспечения ГИС [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_geographic_information_systems_software (дата обращения 18.07.2012)
163. Фаулер М. Предметно-ориентированные языки программирования. – Вильямс, 2011. – 657с.
164. Кобрунов, А. И. Методы нечёткого моделирования при изучении взаимосвязей между геофизическими параметрами / А. И. Кобрунов, А. В. Григорьевых // Геофизика. – М., 2010. – №2. – С. 17-23.
165. Кобрунов, А. И. Метод нечётких петрофизических композиций при прогнозировании петрофизических параметров / А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов, А. Н. Художилова // Вестник институт Геологии КомиНЦ УРО РАН. – 2011. – №9, сентябрь. – С. 18-24.
166. Кобрунов, А. И. Адаптация метода нечётких петрофизических композиций для определения подсчётных параметров Низевого месторождения / А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2011. – №6. – С. 307-315. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kobrunov/Kobrunov_1.pdf.
167. Кобрунов, А. И. Повышение достоверности подсчёта запасов углеводородов на основе метода нечётких петрофизических композиций / А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // SPE – 162038. 11.

- Самарский, А. А. Математическое моделирование / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М. : Физ-мат. лит., 2002. – 316 с.
168. Кобрунов, А. И. Математические методы моделирования в прикладной геофизике (избранные главы). В 2-х ч. Ч. 1. Функционально-аналитические основы [Текст] : учеб. пособие / А.И. Кобрунов. - Ухта: УГТУ, 2014. 224 с.
169. Степанов Ю.А. О способе визуализации результатов моделирования работы очистного забоя с использованием электронных карт / Ю.А. Степанов // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2013. –№2. – С. 216-220.
170. Степанов Ю.А.. Адаптация и развитие метода конечных элементов для расчета параметров напряженно-деформированного состояния угленосного массива // Вестник Кузбасского государственного технического университета / Степанов Ю.А. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2011. № 4. 168 С
171. Степанов, Ю.А. Компьютерное моделирование в задаче обеспечения безопасности ведения горных работ // Вестник НЦ ВОСТНИИ по безопасности работ в горной промышленности – Кемерово, 2016. –№ 1. – 67-72 С.
172. Степанов Ю.А.. Математическое моделирование разработки угольных пластов // Гуманитарные и социальные проблемы обеспечения безопасности горнодобывающих регионов [Текст] : сб. ст. участников экспертного совещания в рамках XVII Международной специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России. Майнинг – 2010» и I Специализированной выставки «Охрана, безопасность труда и жизнедеятельности», г. Новокузнецк, 2010 г. / НФИ ГОУ ВПО «КемГУ» ; под общ.ред. В. С. Гершгорина. – Новокузнецк, 2011. – 94 с.
173. Чудинов А.Ю. Объектно-ориентированное моделирование состояния моноотраслевых городов на стадии реструктуризации угольного комплекса

- Кузбасса. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово, 2000.
174. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. /Пер. с англ. Кондрашова В.Е., Курякина В.Ф.; Под ред. Яненко. – М.: Мир, 1981. – 216 с.
175. Степанов Ю.А.. Компьютерное моделирование динамики изменения геомеханических параметров движущегося очистного забоя. // Перспективные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Труды VIII Международной научно-практической конференции / Степанов Ю.А., Степанов А.В. СибГИУ. – Новокузнецк, 2001.
176. Степанов Ю.А.. Сеточный генератор при решении горных задач. // Информационные недра Кузбасса: Материалы научно- практической конференции Кузбасса / КемГУ. - Кемерово, 2001. Ч.2.
177. Степанов Ю.А.. Способы автоматизации процесса дискретизации области исследования на конечные элементы// Горный информационно-аналитический бюллетень. Mining informational and analytical bulletin /Степанов Ю.А., Степанов А.В.: М. – Изд-во «Горная книга», №6, 2011. 424 С.
178. Степанов Ю.А.. Влияние секции механизированной крепи на геомеханические процессы в окрестности очистного забоя //Вестник Кузбасского государственного технического университета.-№6/ Степанов Ю.А., Степанов А.В..-2006.-199с.- Кемерово: Изд-во КузГТУ.
179. Степанов Ю.А., Паянок М.С. Анализ работы механизированного комплекса 4КМ130 в условиях шахты "Алардинская". /Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: Труды V Международной конференции./ СибГИУ.- Новокузнецк, 2000. – С. 76-77.
180. Степанов, Ю.А. Геоинформационные системы и промышленная безопасность угольных предприятий // Вестник НЦ ВОСТНИИ по

- безопасности работ в горной промышленности – Кемерово, 2015. – № 4. – С. 50-54
181. Калинин С.И. и др. Управление горным давлением при разработке пологих пластов с труднообрушаемой кровлей на шахтах Кузбасса. Кемерово : Недра, 1991, 244 с.
182. Кузнецов Ю.С. Устойчивость горных выработок на удароопасных участках рудников "Октябрьский" и "Таймырский" НГМК. – В кн.: Устойчивость и крепление горных выработок. Выпуск 7. М.: Гипроникель, 1981, с.62-69
183. Яковлев Д.В., Воскобоев Ф.Н., Кузнецов С.Т. Об управлении состоянием массива горных пород. М.: Горный вестник. Выпуск 4, 1998, с. 104 – 108
184. Малышев Ю.Н. Анализ состояния техники и технологии добычи угля в России и за рубежом. М.: Уголь №6, 1995, с. 28 – 29.
185. Кузнецов С.Т. О направлениях совершенствования механизированных крепей и приемов активного управления кровлей. М.: Машиностроение, 1970, 155 с.
186. Степанов, Ю.А. Обеспечение информационной поддержки ведения горных работ с использованием ГИС-технологий / Ю.А. Степанов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2014. – №4. – С.135
187. Степанов, Ю.А. Информационная система прогнозирования опасных зон повышенного горного давления в очистных забоях угольных шахт с использованием ГИС-технологий /Степанов Ю.А., Бурмин Л.Н.//ИТ журнал «Безопасность труда в промышленности» - Москва, 2015. № 12. – С. 50-54
188. Курленя М.В., Штеле В.И., Шалауров В.А. Развитие технологии подземных горных работ. – Новосибирск: Наука, 1985, 184 с.
189. Зубов В.П., Андрушкевич С.Г., Иванов А.А. Управление кровлей в лавах на больших глубинах. – Уголь, 1982, № 3, с. 16 – 20.

190. Коровин Ю.А. Методы определения основных параметров механизированных крепей. Уголь, 1982, № 4, с. 30 –34.
191. Автоматизация горных работ с ГИС K-MINE [Электронный ресурс]. – <http://kai.com.ua> (дата обращения 22.09.2012)
192. Кузнецов С.Т. Геомеханические аспекты оптимизации энергетических показателей взаимодействия механизированных крепей с массивом пород. / Международная конференция 1996 г.- Санкт – Петербург, Россия.
193. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. –360 с.
194. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев. /Под ред. Худина Ю.Л. – М.: Недра, 1990. – 413 с.
195. Яковлев Д.В., Воскобоев Ф.Н., Кузнецов С.Т. Об управлении состоянием массива горных пород. / Горный вестник. – 1998, Выпуск 4, - С. 104 – 108.
196. Малышев Ю.Н. Анализ состояния техники и технологии добычи угля в России и за рубежом. / Уголь, 1995, №6, - С. 28 – 29.
197. Процесс технологии и техники угледобычи на шахтах южного Кузбасса. / В.Г. Лаврик, С.Р. Ногих, Ю.П. Кушнеров и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000. – 176 с.
198. Кроль Е.Т. Высокопроизводительное и надежное оборудование шахтерам. / Уголь, 1995, № 6, - С. 18 – 25.
199. Ершов Л.В., Либерман Л.К., Нейман И.Б. Механика горных пород. – М.: Недра, 1987. -192 с.
200. Леоненков А.В. Самоучитель UML. – СПб.: БХВ – Петербург, 2001. – 304 с.
201. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1994. 382 с.

202. Имитационное моделирование работы механизированной крепи КМ-138И в очистном забое угольной шахты. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2000610940 – М.: 21.09.00
203. GIS, Spatial Analysis, and Modeling / J. M. David, F. G. Michael, B. Michael. – ESRI Press, 2005. – 480p.
204. GRASS GIS – Home [Электронный ресурс]. – <http://grass.osgeo.org/> (дата обращения 01.01.2013)
205. IBM Rational Unified Process (RUP) [Электронный ресурс]. – www.ibm.com/software/awdtools/rup (дата обращения 25.11.2011)
206. Ipek Ozkaya. Quality-Attribute Based Economic Valuation of Architectural Patterns. / Ipek Ozkaya, Rick Kazman, Mark Klein. – ESC '07 Proceedings of the First International Workshop on The Economics of Software and Computation, 2007. – 5p.
207. Черемисина Е.Н., Никитин А.А. Геоинформационные системы и технологии. Учебник для ВУЗов. - М.: ВНИИГеосистем, 2011, 376 стр.
208. Kruchten P. The Rational Unified Process: An Introduction (2nd Edition). Addison-Wesley Professional, March 14, 2000.
209. L.G. Wilpen. GIS Tutorial 1: Basic Workbook / Wilpen L. G., Kristen S. K. – ESRI Press, 2010. – 450p.
210. Language Implementation Patterns: Create Your Own Domain-Specific and General Terence Parr. Programming Languages (Pragmatic Programmers). – Pragmatic Bookshelf, 2010
211. List of geographic information systems software – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_geographic_information_systems_software (дата обращения 18.07.2012)
212. Managing the development of large systems [Электронный ресурс]. – <http://www.cs.umd.edu/class/spring2003/cmsc838p/Process/waterfall.pdf> (дата обращения 01.01.2013)

213. Manifesto for Agile Software Development [Электронный ресурс]. – <http://www.agilemanifesto.org/> (дата обращения 25.11.2011)
214. MapInfo - Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – <http://en.wikipedia.org/wiki/MapInfo> (дата обращения 01.01.2013)
215. Marunescu. EJB Design Patterns. – New York: John Wiley, 2002.
216. Michael K. Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS: A Workbook Approach to Learning GIS. – Wiley, 2009. – 624p.
217. Michael L. Scott. Programming Language Pragmatics. – Morgan Kaufmann, 2009
218. N.P. Gretchen. GIS Cartography: A Guide to Effective Map Design. – CRC Press, 2009. – 248p.
219. Newkirk JW. Test-Driven Development in Microsoft .NET, Microsoft Press, 2004.
220. Objectives of the V-Modell [Электронный ресурс]. – <http://v-modell.iabg.de/v-modell-xt-html-english/6bfcd8cb1c6.html#toc8> (дата обращения 01.01.2013)
221. Observer pattern – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Observer_pattern (дата обращения 05.06.2012).
222. Ormsby T. Getting to Know ArcGIS Desktop / Т Ormsby. Е. J. Napoleon, R. Burke, C. Groessl, L. Bowden. – ESRI Press, 2010. – 592p.
223. Paul B. Gis Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems, 3rd edition. – Eider Press, 2007. – 620p.
224. Pinde F. Web GIS: Principles and Applications / F. Pinde, S Jiulin. – ESRI Press, 2011. – 312p.
225. Pressman, Roger. Software Engineering: A Practitioner's Approach. Boston: McGraw Hill, 2010. pp. 45-47.
226. QGIS Application – Developers Corner – QGIS Issue Tracking [Электронный ресурс]. – http://hub.qgis.org/wiki/17/Developers_Corner (дата обращения 05.06.2012).

227. Rational Unified Process [Электронный ресурс]. – http://www.interface.ru/rational/rup01_t.htm (дата обращения 25.11.2011).
228. SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses [Электронный ресурс]. – <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (дата обращения 01.01.2013)
229. Software design pattern – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Software_design_pattern (дата обращения 05.06.2012).
230. Software Engineering Institute [Электронный ресурс]. – <http://www.sei.cmu.edu/> (дата обращения 07.10.2012)
231. Spatial database – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_database (дата обращения 25.11.2011)
232. State of Agile Development Survey Results [Электронный ресурс]. – http://www.versionone.com/pdf/2011_State_of_Agile_Development_Survey_Results.pdf (дата обращения 20.07.2012)
233. Strategy pattern – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Strategy_pattern (дата обращения 05.06.2012).
234. Structural pattern – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Structural_pattern (дата обращения 05.06.2012).
235. Unified Process – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Process (дата обращения 25.11.2011).
236. Самардак А.С. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ [Электронный ресурс]. – http://orensau.ru/ru/prochiedokumenty/doc_view/2547----2005
237. Питенко А.А. Нейросетевой анализ в геоинформационных системах [Электронный ресурс]. – <http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000310629.pdf>