

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСиС»

На правах рукописи



Стадник Денис Анатольевич

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ
БАЗЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВОЕНИЯ
ГЕОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Специальности:

25.00.21 - «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»,

25.00.35 - «Геоинформатика»

Диссертация

на соискание ученой степени

доктора технических наук

Научный консультант

доктор технических наук, профессор

Кузнецов Юрий Николаевич

Москва 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	5
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ И ПРАКТИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ	15
1.1. Анализ стратегий развития научно-технического прогресса и государственного управления в сфере недропользования	15
1.2. Основные этапы и направления развития информационного обеспечения проектных работ в угледобывающей отрасли.....	19
1.3. Анализ опыта проектирования угольных шахт высокого технико- экономического уровня	28
1.4. Анализ методической базы моделирования месторождений полезных ископаемых и синтеза горнотехнических систем для освоения их запасов....	35
1.5. Оценка состояния методической базы синтеза технологических систем угольных шахт на базе интеллектуальных технологий	56
1.6. Анализ методов управления горнотехническими системами	73
ВЫВОДЫ	82
2. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ	85
2.1. Общие положения.....	85
2.2. Методологические основы автоматизированного анализа горно- геологических характеристик угольных месторождений	86
2.3. Обоснование целесообразности создания банка эталонных горнотехнических моделей при переходе к визуальному интерактивному 3D-проектированию.....	100
2.4. Методические основы формирования критериальной базы оценки инновационных проектных решений.....	108

2.5. Разработка метода автоматизированного проектирования и управления горнотехническими системами в условиях роботизированной технологии отработки запасов полезных ископаемых	111
2.6. Научные основы формирования структуры единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов	116
2.7. Основные методические принципы формирования виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов	127
ВЫВОДЫ	133
3. МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАЛОННЫХ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	136
3.1. Моделирование георесурсного потенциала угольных месторождений..	136
3.2. Научно-методические основы принятия прогрессивных проектных решений по обоснованию качественных параметров технологических схем угольных шахт на базе экспертных систем.....	147
3.3. Моделирование динамики развития горных работ на базе нечеткой логики.....	158
3.4. Моделирование воздухораспределения в технологической системе угольной шахты на базе нейронных сетей	166
ВЫВОДЫ	184
4. СИНТЕЗ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ	186
4.1. Общие положения.....	186
4.2. Методические принципы моделирования геоструктур угольных месторождений.....	186
4.3. Реализация методических основ прогнозирования метаноносности угольных месторождений	192

4.4. Оценка работоспособности горнотехнической модели обоснования схем вскрытия запасов угольных месторождений	197
4.5. Методические принципы прогнозирования эффективности ведения комплексно-механизированных очистных работ	203
4.6. Основные методические рекомендации по реализации горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты.....	216
ВЫВОДЫ	222
5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	224
5.1. Основные методические рекомендации по формированию 3D- моделей пластовых месторождений полезных ископаемых в горно- геологических информационных системах	224
5.2. Рекомендации по формированию виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных месторождений	234
5.3. Рекомендации по практической реализации методологии разработки и использования эталонных горнотехнических моделей	240
5.4. Методические рекомендации по внедрению технологических карт в практику проектирования и управления горнотехническими системами.....	243
ВЫВОДЫ	252
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	254
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	256

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Многолетний опыт функционирования мировой угледобывающей отрасли свидетельствует об усложнении природных условий освоения георесурсного потенциала горных предприятий на фоне резких изменений конъюнктуры рынка их конечной продукции, что объективно предопределяет устойчивую тенденцию к переходу на адаптивные к этим условиям инновационные технологии отработки запасов полезного ископаемого в лицензионных границах. Однако при этом предстоит решение достаточно сложной задачи централизации управления горным производством уже на проектном уровне в связи с необходимостью отнесения недропользования и управления государственным фондом недр к числу основных направлений федеральной энергетической политики.

При переходе к формированию современной технологической базы функционирования угледобывающей отрасли возникает необходимость разработки принципиально новых проектных решений, отвечающих тенденциям развития мирового сообщества и базирующихся на использовании последних достижений в области науки и техники, что даст возможность классифицировать их как инновационные и прогрессивные. Наиболее перспективным направлением представляется ориентация на горнотехнические системы, позволяющие на базе использования современных многофункциональных робототехнических кластеров и управления ими с использованием средств искусственного интеллекта добиться положительной динамики функционирования горных предприятий в условиях неопределенности при корректном отслеживании конъюнктуры мирового рынка ископаемых углей. Использование адаптивных горнотехнических систем, способных результативно управлять технологическими процессами в автоматизированном режиме, предопределяет возможность перехода на качественно новые геотехнологии освоения недр.

В связи с вышеизложенным требования к качеству проектов угольных шахт становятся более жесткими в части большей адекватности, гибкости, обоснованности и необходимости прогнозирования хода горного производства, использования знаний и опыта квалифицированного персонала. Применение в практике управления освоением недр надежного прогнозирования влияния изменений горно-геологических условий отработки запасов полезного ископаемого на технико-экономические показатели освоения недр возможно лишь при реализации моделирования горнотехнических систем. В результате этого с высокой степенью объективности прогнозируются возможные изменения в процессе всего периода интенсивной отработки запасов угольных шахт и в заданном режиме корректируются технологические, организационные и ремонтно-профилактические мероприятия.

Степень разработанности темы исследования. К сожалению, следует констатировать, что вся имеющаяся в угледобывающей отрасли теоретическая основа сопровождения горных работ не обеспечена современной геоинформационной базой - фундаментом, который позволяет результативно функционировать отраслевой системе автоматизированного проектирования шахт. Формирование подобной базы дает возможность интерактивного взаимодействия со многими областями знаний для разработки и сопровождения качественного проекта освоения георесурсного потенциала угольных месторождений.

Отсутствие системного моделирования в областях проектирования, управления производственными комплексами, прогнозирования выходных технико-экономических характеристик приводит к несоответствию проектных, планируемых и фактических показателей качества освоения георесурсов. Таким образом, актуализируется необходимость перехода на более совершенную систему проектирования, базирующуюся не только на статичных проектах отработки запасов угля и производственных программах, но и на результатах прогнозирования изменений характеристик качества функционирования технологических звеньев горного производства.

Реализация идеи создания развивающегося проекта освоения георесурсного потенциала требует непрерывного прогнозирования развития техники и технологии добычи угля, учета изменений горно-геологических и горнотехнических условий ведения горных работ в течение всего срока освоения запасов месторождения или его отдельного участка.

В этой связи отчетливо проявляет себя проблема автоматизации проектирования с целью внедрения машинного моделирования горнотехнических систем на этапе их проектирования и непосредственно в контуре управления производством, то есть реализация эффекта адаптивности горнотехнических систем имеет место, в том числе, в реальном масштабе времени. Однако есть основание с должной объективностью утверждать, что современная методологическая база проектирования горнотехнических систем далеко не всегда отвечает вышеизложенным требованиям. В связи с этим исследования, направленные на разработку научно-методической базы автоматизированного проектирования освоения георесурсного потенциала угольных шахт могут достаточно объективно рассматриваться как решение актуальной научной и практической проблемы.

Целью диссертации является разработка научно-методической базы автоматизированного проектирования освоения георесурсного потенциала угольных шахт, реализация которой обеспечивает возможность повышения технологического и технико-экономического уровня горного производства в соответствии с требованиями конъюнктуры рынка конечной продукции на угольной основе.

Основная идея работы состоит в синтезе горнотехнических моделей, наделенных прогностическими возможностями для обоснования и адаптивной корректировки в перманентном режиме проектных решений при объективном учете изменений внешней и внутренней сред функционирования горных предприятий.

Задачи исследования:

- развитие стратегических направлений теории и практики проектирования горных предприятий, функционирующих в различных горно-геологических и горнотехнических условиях;
- разработка структуры единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт;
- обоснование необходимости реализации методов искусственного интеллекта для автоматизированного анализа больших массивов геоинформационных данных и синтеза прогрессивных проектных решений на основе системного моделирования;
- разработка научно-методических основ создания горнотехнических моделей, обеспечивающих соответствие проектных решений изменениям условий освоения запасов угольных месторождений;
- обоснование выбора технологической платформы для практической реализации виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт;
- разработка методической базы оценки качества результатов автоматизированного проектирования и управления реализацией проектных решений;
- апробация результатов исследований и разработка рекомендаций по реализации их в практике автоматизации технологической подготовки производства к освоению георесурсного потенциала угольных месторождений.

Методология и методы исследования:

- анализ и научное обобщение передового опыта и результатов научных исследований в рамках проблемы проектирования горнотехнических систем;
- шахтные исследования комплексов рабочих процессов при высокопроизводительной отработке запасов выемочных участков;
- системный анализ, автоматизированное проектирование, технологическое и компьютерное моделирование;

- методы теории надежности, теории вероятностей, искусственного интеллекта и математической статистики с использованием ЭВМ при обработке геоинформационных данных и анализе результатов исследований.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Для повышения уровня прогрессивности проектных решений по освоению георесурсного потенциала угольных шахт необходимо формирование единой отраслевой системы автоматизированного проектирования, обеспечивающей инфраструктурную поддержку инновационного развития угольной промышленности (25.00.21).

2. Переход на перманентное использование эталонных горнотехнических моделей, наделенных прогностическими возможностями и созданных при участии ведущих экспертов в области горного дела, обеспечивает адекватность проектных решений изменениям внутренней и внешней сред функционирования горных предприятий (25.00.21).

3. Теоретическую основу автоматизированного проектирования и управления горнотехническими системами при использовании эталонных моделей позиционируют методы искусственного интеллекта, функционально ориентированные на минимизацию негативного влияния нечеткой и неполной информации о горных работах, а также позволяющие учитывать знания и опыт квалифицированного персонала горного предприятия (25.00.21).

4. Технологическая карта горнотехнической системы являет собой базовый инструмент автоматизированного управления режимами освоения георесурсов угольных шахт, в том числе при использовании роботизированного оборудования (25.00.21).

5. Оценка георесурсного потенциала угольных шахт реализуется посредством интеллектуального анализа в автоматизированном режиме больших массивов данных, формализованных прежде всего горно-геологическими информационными системами в цифровых 3D-моделях месторождений полезных ископаемых (25.00.35).

6. Виртуальное пространство единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов формируется на основе структуры упорядоченных связей горнотехнических моделей и 3D-моделей угольных месторождений в составе технологических карт (25.00.35).

7. Использование системного моделирования на базе современного арсенала геоинформационных технологий позволяет в рамках стратегического перехода на цифровую экономику осуществлять объективную оценку и повышать уровень качества проектов угольных шахт (25.00.35).

Научная новизна результатов исследования:

- научно обоснованы требования к формированию единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов, обеспечивающей реализацию прогрессивных направлений практики разработки инновационных проектов угольных шахт;

- обоснована необходимость создания банка эталонных горнотехнических моделей на основании системного моделирования и автоматизированного синтеза технологических систем, который позволит реализовать переход к визуальному интерактивному 3D-моделированию при обосновании прогрессивных проектных решений по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений;

- разработаны методические основы синтеза эталонных горнотехнических моделей, учитывающих неопределенность и недостаточную четкость исходной геологической и горнотехнической информации, знания высококвалифицированного менеджмента горных предприятий и проектных организаций, а также передовой опыт отработки запасов угля в различных условиях;

- научно обоснована структура технологических карт горнотехнических систем для управления режимами освоения георесурсов угольных шахт в виртуальном пространстве;

- разработаны научно-методические основы повышения качества

исходной горно-геологической информации на базе 3D-моделей угольных месторождений при использовании горно-геологических информационных систем;

- разработана критериальная база оценки проектных решений инновационного уровня, реализуемая при автоматизированном проектировании и управлении горнотехническими системами угольных шахт с использованием геоинформационных технологий и системного моделирования.

Личный вклад автора. Автором выполнен комплекс работ, включающих формулирование цели и задач исследования, обоснование методики проведения исследования, а также анализ результатов научных исследований и тенденций совершенствования теории и практики проектирования горных предприятий в направлении внедрения инновационных проектных решений по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений, по результатам которого разработаны структура единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных месторождений и рекомендации по формированию ее виртуального пространства. Разработаны методические рекомендации по использованию результатов исследований в практике синтеза горнотехнических моделей и 3D-моделей угольных месторождений при автоматизированном проектировании и управлении горнотехническими системами угольных шахт, в том числе при использовании роботизированного горного оборудования. Сформулированы защищаемые научные положения. Осуществлена реализация результатов диссертации при выполнении проектных работ и организации учебного процесса в рамках подготовки обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело».

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии методологических основ проектирования горнотехнических систем с функцией гибкого реагирования в автоматизированном режиме на изменения условий освоения георесурсного потенциала угольных шахт.

Практическая значимость диссертации. Разработаны рекомендации по использованию результатов исследования в практике разработки инновационных проектов, что обеспечит должную адекватность проектных решений в течение всего периода отработки запасов угольных шахт.

Реализованы процедуры синтеза эталонных горнотехнических моделей для формирования инновационных проектных решений, обеспечивающие выбор и обоснование в автоматизированном режиме прогрессивных технологических и пространственно-планировочных решений в условиях неопределенности и нечеткости геологической и горнотехнической информации.

Разработаны рекомендации по практическому использованию технологических карт при управлении горнотехническими системами в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов.

Разработаны рекомендации по реализации цифровых 3D-моделей угольных месторождений в горно-геологических информационных системах при проектировании отработки запасов и оценке георесурсного потенциала угольных месторождений.

Разработаны рекомендации по прогнозной оценке благонадежности и технологичности освоения георесурсного потенциала угольных шахт при автоматизированном проектировании и управлении горнотехническими системами.

Обоснованность и достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций работы подтверждаются:

- анализом представительного объема геолого-маркшейдерской и проектной документации отечественных и зарубежных угольных шахт с интенсивной отработкой запасов полезного ископаемого;
- корректным использованием методов автоматизированного проектирования, технологического и компьютерного моделирования, прогнозирования, искусственного интеллекта, теории вероятностей и системного анализа;

- использованием современных геоинформационных технологий и программных продуктов при формировании виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов;

- апробацией предложенных моделей и алгоритмов на базе сравнения результатов их применения с реализуемыми проектными решениями на действующих угледобывающих предприятиях.

Реализация выводов и рекомендаций. Разработанные в диссертации рекомендации по организации системы автоматизированного проектирования угольных шахт приняты к использованию в ООО «Сибирский Институт Горного Дела» в составе холдинга «СДС-Уголь», а также используются при выборе и обосновании проектных технологических решений по отработке запасов выемочных полей на шахтах АО «СУЭК». Результаты исследования интегрированы в общую структуру учебно-методического и научного комплекса кафедры «Геотехнологии освоения недр» для реализации учебных и научных задач при многоуровневой подготовке обучающихся в НИТУ «МИСиС».

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации докладывались и получили одобрение на научных семинарах кафедр «Подземная разработка пластовых месторождений» МГГУ (Москва, 2008-2014 гг.), «Геотехнологии освоения недр» НИТУ «МИСиС» (Москва, 2015-2018 гг.); на международных научных симпозиумах в рамках «Недели горняка» (Москва, 2008-2018 гг.); на межрегиональной научно-практической конференции «Системный подход к созданию эффективных угледобывающих предприятий с использованием наукоемких технологий» (Киселевск, 2008 г.); на международной научно-практической конференции «Подземные горные работы – 21 век» (Ленинск-Кузнецкий, 2013 г.); на VII международной научно-практической конференции «Россия и мир: развитие цивилизаций в XXI веке – прогнозы и прогнозирование» (Москва, 2017 г.); на III Международной научно-практической конференции «Открытые горные работы в XXI веке», (Красноярск, 2017 г.).

Публикации. Соискатель имеет 29 научных трудов, в том числе 24 научных статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 монография, 1 авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов и заключения, содержит 62 рисунка, 5 таблиц и список литературы из 300 наименований.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ И ПРАКТИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

1.1. Анализ стратегий развития научно-технического прогресса и государственного управления в сфере недропользования

В настоящее время основным конкурентным преимуществом функционирования экономики России, а также ключевым обеспечением экономики нашей страны является именно минерально-сырьевая база. Соответственно, центральной задачей горнодобывающей отрасли, от которой существенно зависят интересы государства в области экономики и внешней политики, является поддержание состояния минерально-сырьевой базы на современном, инновационном технологическом уровне [138, 250, 288, 289].

Отличительной чертой минерально-сырьевой базы России является ее комплексность – она включает в себя практически все виды полезных ископаемых: топливно-энергетические ресурсы, черные металлы, цветные и редкие металлы, благородные металлы и алмазы, неметаллические полезные ископаемые [116, 237–240, 244, 251, 281].

В настоящее время согласно законодательству РФ пользователями недр могут быть субъекты предпринимательской деятельности, в том числе участники простого товарищества, иностранные граждане, юридические лица. Пользователями недр на условиях соглашений о разделе продукции могут быть юридические лица и объединения юридических лиц, создаваемые на основе договоров о совместной деятельности, а также не имеющие статуса юридического лица при условии, что участники таких объединений несут солидарную ответственность по обязательствам, вытекающим из соглашений о разделе продукции [252, 280].

Для осуществления разведки, добычи, строительства подземных сооружений и образования особо охраняемых геологических объектов пользователю недр выделяется горный отвод – геометризованный блок недр, ограниченный в плане и по глубине, координаты которого указаны в лицензии. Для выполнения геологического изучения без существенного нарушения недр пользователю выдается геологический отвод, границы которого определены в лицензии [247, 253].

Как правило, лицензии для геологического изучения недр выдаются на срок до 5-ти лет, а для добычи полезных ископаемых – до 20-ти лет и более. Владелец лицензии обязан предоставлять в Минприроды России или его территориальные подразделения ежегодный отчет о своей деятельности, результаты поисковых и разведочных работ, сведения о добытых и погашенных запасах полезных ископаемых [254].

Каждый из этапов процесса недропользования, особенно в части геологоразведочных работ, от стадии проектирования до геолого-экономических расчетов регламентируется ведомственными, нормативными и инструктивными документами, обеспечивающими определенную стандартизацию ведения работ и представления их результатов в отчетах, способствующую рациональной организации недропользования. Также такими документами оговорены процедуры экспертизы и контроля выполняемых работ и их результатов. Однако само технологическое проектирование горных работ ничем не стандартизировано и осуществляется владельцами лицензий согласно их возможностям [162, 283–285].

Таким образом, можно сделать вывод, что некоторые сдерживающие факторы существенно влияют на передовое развитие минерально-сырьевой базы Российской Федерации. К таким факторам можно отнести следующие:

- организация отрасли в целом в плане освоения и добычи ресурсов требует внедрения инноваций;
- современная система регулирования отношений недропользования не осуществляет в должной мере перспективного ведения геологоразведочных и

проектировочных работ с привлечением новейших достижений технического прогресса;

- отсутствие единой информационной среды, которая позволяла бы осуществлять оперативный и регламентированный доступ органов управления и недропользователей к геологическим информационным ресурсам;

- необходимо определение наиболее перспективных регионов освоения недр, опережая прогнозно-минералогические исследования и поисковые работы;

- государственные закупки в сфере недропользования не обеспечивают финансирование на весь цикл работ от разведки и обнаружения перспективных площадей до его освоения.

Анализ государственного управления в сфере недропользования свидетельствует о том, что в России еще недостаточно развиты законодательная база и инфраструктурная поддержка технического регулирования в сфере проектирования горнотехнических систем. Отсутствие на государственном уровне механизма формирования набора нормативных требований и показателей оценки качества каждого проекта освоения георесурсов негативно сказывается на развитии техники и технологии в горной отрасли промышленности. Сейчас виден достаточно большой разрыв между ростом использования современных методов проектирования и техническим уровнем производства, что приводит к снижению уровня прогрессивности принимаемых в угольной отрасли проектных решений [62, 80].

Управление недрами — одно из основных направлений государственной политики в области использования и охраны природных ресурсов и необходимое условие обеспечения рационального и комплексного использования недр. Однако в настоящее время роль государства в области управления недрами носит регулятивный характер. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что в дальнейшем государственное управление недрами будет заменено на государственное регулирование. Это обеспечит наиболее рациональное и комплексное освоение недр, а также их охрану. Для этого необходимо создание

единой системы регулирования недропользования на основе управляющих недрами факторов [132, 134].

Горнодобывающая отрасль отличается высокой степенью наукоемкости. Результатом научных исследований здесь являются новые данные и знания о геологическом строении недр, закономерностях формирования и размещения полезных ископаемых, а также научно-технические решения и технологии, обеспечивающие повышение эффективности поисков и разведки месторождений, рациональности освоения и использования минерального сырья, инновационных методов добычи и проектирования горного производства [10, 30, 53, 81, 82]. В настоящее время основными технико-экономическими направлениями развития угольной промышленности России до 2030 года поставлена задача увеличивать производительность труда на шахтах в 1,5-2 раза. При этом темпы увеличения производительности должны увеличиться в 2-3 раза [286].

Для осуществления этих задач должны быть разработаны и реализованы научно обоснованные мероприятия, направленные на раскрытие, мобилизацию резервов повышения производительности труда и снижение себестоимости добываемого угля [113].

Обоснованное определение эффективности, времени, порядка осуществления таких мероприятий возможно лишь в рамках перспективного долгосрочного планирования, основанного на прогнозировании тенденций изменения горнотехнических параметров и установления взаимосвязи между этими параметрами и производительностью труда [24, 88, 175, 177, 178].

Таким образом, реализация достаточно большого комплекса мероприятий, которые должны быть ориентированы на повышение инвестиционной привлекательности геологоразведочных проектов, на расширение объемов и рост эффективности геологоразведочных работ с привлечением научно-технического прогресса, совершенствование государственных и экономических механизмов в плане управления и регулирования недропользования обеспечит устойчивое развитие использования минерального сырья в Российской Федерации. При этом прежде всего необходимо обратить внимание на сохранение ведущей роли

государственного управления в сфере недропользования [132, 136].

1.2. Основные этапы и направления развития информационного обеспечения проектных работ в угледобывающей отрасли

При проектировании строительства или реконструкции предприятий угольной промышленности для обоснования и реализации проектных решений, обеспечивающих максимальную экономическую эффективность инвестиций, как правило, схема информационных потоков представляется в следующем виде (Рисунок 1) [25, 122].

Проектам горных предприятий свойственен принципиальный и сложно устранимый недостаток: создаваемые сегодня, в век ускоренного научного прогресса, проекты реализуются в далеком будущем, зачастую лишь через 10 лет и более от момента проектирования. Соответственно проектные решения, основанные даже на самой передовой, современной информации и опыте, не гарантируют, что предприятие, построенное по такому проекту, будет высокоэффективным и сверхконкурентноспособным в будущем. Сложность заключается в том, что горные предприятия по освоению месторождений полезных ископаемых, как производственная система, обладают рядом статичных, плохо поддающихся изменениям объектов, такими как местоположение промплощадки, число и параметры вскрывающих выработок и т.д. Ко всему прочему любая корректировка или переделка связана с достаточно большими затратами, например, проведение новых горных выработок или изменение площади поперечного сечения существующих при переходе предприятия на использование нового оборудования [81].

Если проанализировать тот порядок проектирования и планирования эффективности функционирования показателей горного предприятия, который существует в настоящее время, то можно прийти к выводу, что он базируется на экспертных заключениях высококвалифицированных специалистов. В практике

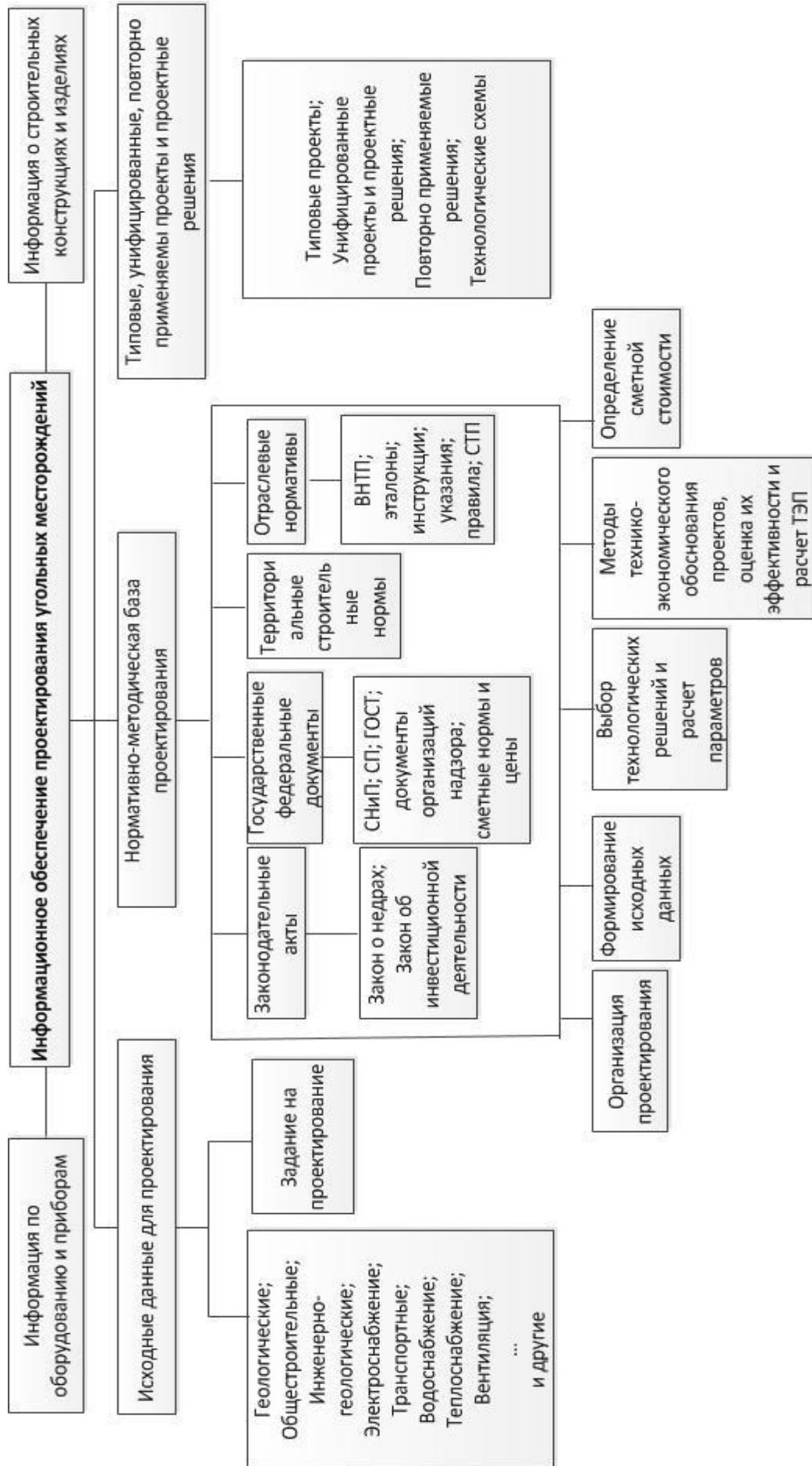


Рисунок 1 - Информация, используемая при проектировании отработки запасов угольных месторождений

проектирования и планирования горных работ к самым основополагающим и изначальным задачам необходимо отнести:

- прогнозирование горно-геологических и горнотехнических характеристик месторождения, включая перспективы приращения запасов полезного ископаемого;
- выявление закономерностей и тенденций развития техники и технологии подземной добычи полезного ископаемого (средства механизации основных и вспомогательных процессов, системы разработки, схемы вскрытия и подготовки запасов полезных ископаемых);
- прогнозирование количественных характеристик производственных процессов и шахты в целом;
- социально-экономические прогнозы, касающиеся развития инфраструктуры района месторождения, обеспеченности материальными и энергетическими ресурсами, плотности образовательного и материального уровня населения, роста производительности труда рабочих на различных стадиях производства и т.д.

Для прогнозирования технико-экономических показателей горного производства в теории проектирования используются статистические, экспертные методы прогнозирования и нормативное прогнозирование.

При статистическом прогнозировании анализируется ретроспективная информация о состоянии и поведении объекта исследований в прошлом, определяется тенденция развития объекта и рассчитываются количественные характеристики его прогнозного состояния методом временных рядов с помощью регрессионных моделей или методом имитационного моделирования. Достоверность статистического прогноза падает с увеличением глубины прогноза.

Методы экспертных оценок основаны на использовании информации высококвалифицированных специалистов в той конкретной области, к которой относится исследуемый объект. Информация об объекте складывается из субъективных оценок экспертов на основе методов математической статистики.

Этот метод используется при отсутствии достаточно представительных статистических данных об объекте. Чем сложнее исследуемый объект, тем надежнее статистический метод прогнозирования. В этом заключаются преимущества эвристического характера решения тех или иных задач освоения недр.

Для количественной оценки влияния тех или иных факторов на объект исследования применяются различные методы. Один из самых распространенных - метод ранжирования (упорядочения). Полученная информация обрабатывается методами математической статистики, и таким образом субъективные мнения преобразуются в количественные оценки.

Нормативное прогнозирование - процесс нахождения оптимального пути (среди множества возможных) достижения определенной цели развития исследуемого объекта в будущем. Особенностью его является наличие генеральной цели. При этом прогнозируются не количественные показатели объекта, а пути их достижения в будущем при том или ином уровне развития технологии и техники освоения и сохранения недр.

Таким образом, весомыми недостатками планирования горных работ на предприятии сейчас являются:

1. «Волевой» метод при принятии перспективного плана;
2. Субъективный характер планирования и внедрения мероприятий, которые призваны обеспечивать рост производительности труда;
3. При расчете производительности труда не учитывается скорость изменения технико-экономических показателей функционирования горнотехнических систем.

К тому же следует добавить, что представление облика угольной шахты в будущем затруднено из-за отсутствия системных прогнозов повышения качества проектных решений.

Технологический прогресс в области ведения горных работ, прогрессивные достижения человечества в области техники, инновационные способы организации труда, в том числе применение робототехники, - все это необходимо

учитывать при разработке проекта шахты. К тому же не следует забывать и о различных формах учета прогрессивных и инновационных решений в области добычи угля, которые выводят сам производственный процесс на совершенно новый качественный уровень. Если пренебречь всеми вышеперечисленными требованиями при проектировании, снизится или придет в несоответствие уровень работоспособности шахты с уровнем современных технологических тенденций, что приведет к реконструкции шахты или глобальному пересмотру проектных решений.

Таким образом, основное назначение прогнозных разработок в практике проектирования шахт состоит не только в определении особенностей залегания угольных пластов и качества запасов полезного ископаемого, но и в выявлении наиболее вероятных тенденций развития технологии и установлении момента времени появления качественно новых видов горной техники.

При проектировании шахт глубину прогнозирования качественных и количественных характеристик технологических схем обычно принимают равной 15-20 годам. Эта величина определяется «долгожитием» основных элементов технологической схемы шахты (схем вскрытия и подготовки запасов шахтного поля, системы разработки пластов, схем транспорта, проветривания, водоотлива, околоствольного двора), а также стационарных машин и установок.

Вследствие того что срок службы шахты, как правило, превышает 15-20 лет, составляются прогнозы и на следующие этапы ее развития. Однако эти прогнозы характеризуются недостаточно высокой достоверностью и носят, в основном, качественный характер.

В связи с тем, что проектируемое предприятие по своему технико-экономическому уровню должно превосходить существующие объекты своего класса, особую значимость приобретает прогнозирование на глубину 8-12 лет (период времени от проектирования до ввода шахты в эксплуатацию). Результаты этого прогнозирования должны обеспечить требуемую степень «современности» шахты на первом этапе функционирования.

Характер и содержание информации, используемой при проектировании,

предопределяют следующую структуру логической схемы прогнозирования:

- классификация шахт по горно-геологическим условиям и техническому уровню с целью выделения предприятий-эталонов для проектируемой шахты;
- прогнозирование совершенствования качественных характеристик технологической схемы шахты для выбора рациональных конкурирующих решений применительно к отдельным ее подсистемам и звеньям;
- прогнозирование развития средств механизации горных работ и их параметров;
- прогнозирование направлений развития комплексов оборудования для основных технологических звеньев шахты;
- прогнозирование параметров технологической схемы шахты и технико-экономических показателей ее функционирования;
- прогнозная оценка уровня прогрессивности проектных решений.

Базовая методика реализации приведенной логической схемы, основанной на информационных потоках горнодобывающего предприятия, заключается в частности в том, что классификация шахт как производственных объектов является весьма важным аспектом всей системы проектирования и позволяет в конечном итоге осуществлять объективную оценку уровня качества проектных решений.

Классификация шахт по горно-геологическим условиям имеет существенное значение в связи с тем, что вероятностная природа наличия этих условий в существенной мере определяет не только стохастический характер производственных процессов, но и результаты их ведения. Эффективность управления сложными системами определяется разнообразием их состояний, которые возникают вследствие взаимодействия с внешней средой, и влияния других факторов.

При проектировании шахт в качестве исходных геологических данных обычно используется информация, полученная по разведочным скважинам. В этом случае прогнозирование сводится к интерполяции промежуточных значений

геологических характеристик. Интерполяция заключается в построении интерполяционных полиномов, выборе шага интерполяции, определении опорных точек, оценке точности интерполяции по опорным точкам.

При наличии отработанных запасов шахтных полей, граничащих с полем проектируемой шахты, появляется возможность «объединить» массив геологической информации, что, несомненно, повышает детальность прогнозной карты участка месторождения (по каждому из пластов) и объективность выявляемых закономерностей изменения геологических характеристик [292]. Прогнозирование на базе ретроспективной информации осуществляется методами экспоненциального сглаживания, авторегрессии, гармонического анализа.

На первой стадии выделения действующих шахт-эталонов реализуется процедура «приведения» горно-геологических условий, т.е. из всей совокупности рассматриваемых шахт (включая проектируемую) выделяются подгруппы однородных по условиям отработки пластов предприятий.

Формальное разбиение совокупности необходимо проводить на основе многомерного статистического анализа с использованием аппарата теории распознавания образов. Основой информационных массивов при этом служат такие геологические характеристики (распределенные определенным образом «внутри» шахтных полей), как мощность и угол падения пластов, газоносность, водообильность, нарушенность шахтного поля, устойчивость боковых пород, сопротивляемость угля разрушению.

Окончательный отбор шахт-эталонов после «приведения» горно-геологических условий следует осуществлять на базе оценки степени технического совершенства производства на рассматриваемых предприятиях. Однако до настоящего времени перспективные методы прогнозирования в данной области так и не внедрены в практику проектирования горных предприятий.

Огромную важность при проектировании горных предприятий несет обоснование качественных характеристик технологических схем шахт. Практика

показывает, что особую значимость приобретают вопросы обоснования пространственно-планировочных решений на первом этапе функционирования шахты [1].

Рациональность раскройки шахтного поля состоит в максимально возможном учете геологических нарушений и сведении к минимуму их влияния на производственные процессы. Обоснование рационального варианта раскройки шахтного поля является стохастической задачей большой размерности, и ее решение требует применения комплекса систем автоматизированного проектирования. Вся необходимая для разработки рационального варианта раскройки шахтного поля информация в настоящее время представлена в электронном виде, но весь массив данных, как правило, хаотичен и находится в различных распределенных информационных системах [255, 256]. Соответственно, аккумуляция доступа ко всей имеющейся информации при разработке и эксплуатации 3D-модели угольного месторождения весьма актуальна в рамках формирования единой информационной базы. Инновационным решением также является возможность связи объектов поверхности земли (технологический комплекс, природные объекты, жилые массивы) с блоками трехмерной модели месторождения [108, 188].

Опираясь на исследования последних лет, основанные на проведении системного анализа, рекомендуется процедура формирования и применения информационной базы автоматизированного проектирования технологической системы шахты, представленная на Рисунке 2, с учетом адресного позиционирования блоков (Рисунок 3).

Однако, несмотря на многократные попытки получить решение данной задачи, вопросы обоснования рационального варианта раскройки шахтного поля в автоматическом режиме являются открытыми.

В этой связи, естественно, встает вопрос о необходимости разработки прогнозов параметров и показателей функционирования угольных шахт, основанных на непрерывных потоках информации, поступающих с предприятия. Причем прогнозирование должно вестись применительно к каждой конкретной

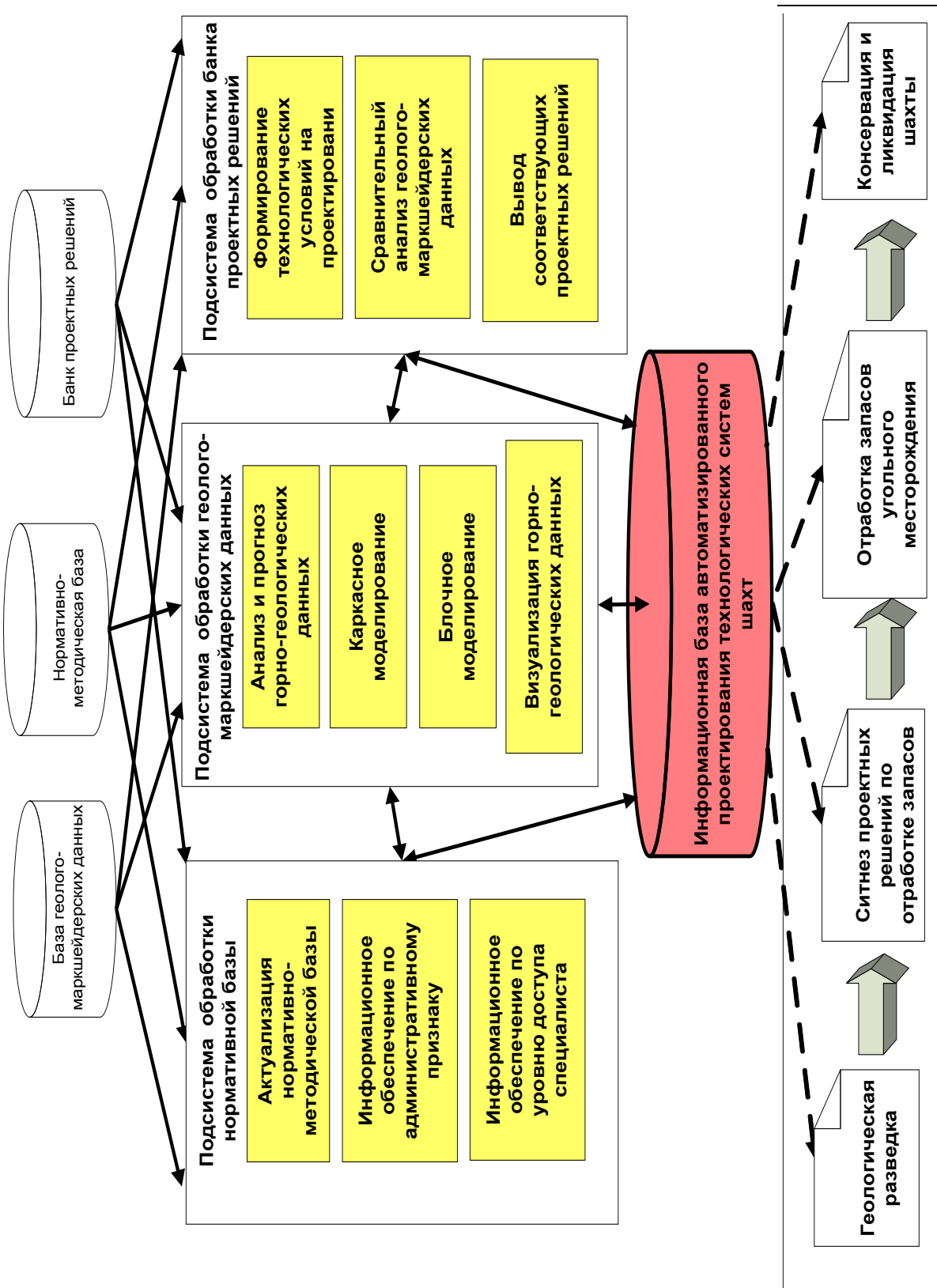


Рисунок 2 - Процедура формирования и применения информационного обеспечения при автоматизированном проектировании технологической системы шахты

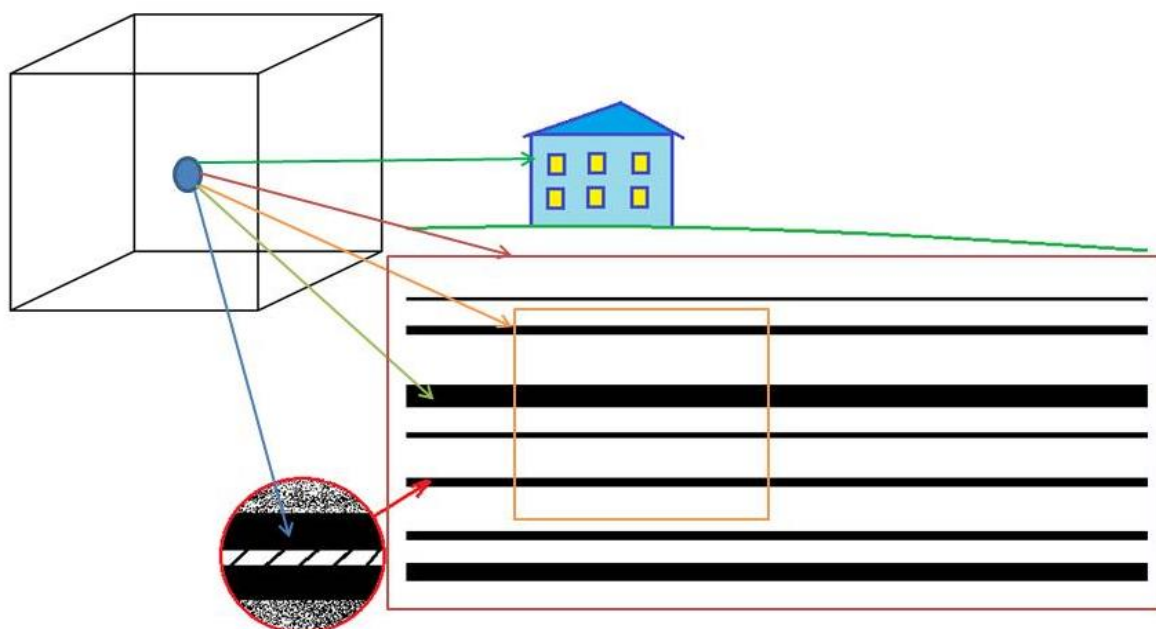


Рисунок 3 - Наглядное представление блока 3D-модели угольного месторождения с адресным позиционированием

шахте, лишь после этого следует осуществлять планирование параметров и показателей развития шахтного фонда на перспективу. Обоснованный прогноз позволяет уменьшить роль фактора неопределенности при выборе возможных решений в процессе планирования.

Уместно отметить, что прогнозирование в угольной промышленности до настоящего времени не имеет должного применения. Имеющиеся и этой области работы в основном посвящены качественным методам прогнозирования, на базе которых производится оценка перспектив развития угольной промышленности в целом или отдельных угольных районов.

1.3. Анализ опыта проектирования угольных шахт высокого технико-экономического уровня

Изменчивость условий залегания месторождения порождает ряд трудностей на всех этапах освоения запасов, т.к. возможности изучения горно-геологических условий на основании данных геологической разведки весьма ограничены.

Как при проектировании горных предприятий, так и при разработке угольных пластов приходится руководствоваться информацией, приближенно отражающей условия залегания месторождения. В этой связи степень обоснованности принимаемых технических и технологических решений весьма низка и зачастую приводит к значительным различного рода просчетам и издержкам [26, 27].

В силу того, что проектируемые на данном этапе шахты по структуре и технико-экономическому уровню во многом являются собой горные предприятия нового типа, обоснование и выбор параметров и показателей, закладываемых в проект шахты, специфичны в методическом отношении и сопряжены с целым рядом трудностей. Во-первых, это определяется общими для процесса проектирования сложностями в части прогнозного обоснования инновационного уровня проектных решений, во-вторых, - отсутствием предприятий-аналогов [49, 112, 117].

В связи с длительными сроками службы горнодобывающих предприятий и серьезными сложностями объективного прогнозирования параметров и технико-экономических показателей эффективного функционирования шахт актуализируется необходимость реализации идеи поэтапного проектирования горных предприятий [119].

В период эксплуатации предприятия проявляются противоречия между однозначно принятыми в проекте основными параметрами технологической схемы, с одной стороны, и изменениями горно-геологических условий и достижениями научно-технического прогресса в отрасли, с другой стороны [46, 75, 92, 95, 102]. Вероятность таких противоречий возрастает пропорционально длительности срока эксплуатации объекта, для которого рассчитываются те или иные параметры, отличающиеся высокой степенью статичности. К таким параметрам, как уже указывалось, относятся схемы вскрытия и подготовки запасов шахтных полей, система разработки угольных пластов, технологического комплекса на поверхности шахты, схемы шахтного подъема и транспорта. Устранение такого рода противоречий на практике реализуется путем

реконструкции предприятия, как правило, не предусмотренной в проекте его строительства [155, 163].

Меньшей статичностью обладают решения по выполнению технологических процессов очистных работ и проведению горных выработок [118]. Поэтому противоречия между принятыми в проекте решениями по реализации рабочих процессов и изменениями в условиях их выполнения, а также с достижениями научно-технического прогресса устраняются в большей части путем технического перевооружения элементов технологической схемы шахты.

Анализ производственной деятельности горных предприятий показывает, что потребность в качественных изменениях характеристик (параметров) технологических схем возникает с определенной периодичностью. Например, для угольных шахт период рационального «долгожития» основных проектных решений, установленных на стадии проектирования строительства шахты, находится в пределах 15-25 лет.

Точность определения и надежность стоимостных параметров на горные и строительные работы в связи с научно-техническим прогрессом также ограничиваются периодом времени не более 15-ти лет. По истечении этого времени они должны быть скорректированы или разработаны вновь.

Таким образом, рациональная глубина прогнозирования «долгожития», и, следовательно, значений параметров основных элементов технологических схем горных предприятий имеет свой предел, а утверждение о допустимости и эффективности принятия окончательных и неизменных характеристик технологической схемы шахты на весь срок службы приводит к несоответствию качества функционирования предприятия требованиям времени.

Это означает, что проектирование горного предприятия целесообразно вести исходя из условий установления его основных параметров на срок, ограниченный средней длительностью «долгожития» наиболее статичных характеристик его технологической схемы, т.е. на длительность определенного этапа, предусматривая вместе с тем возможные варианты развития предприятия с

прогноznыми оценками их эффективности, в рамках научно обоснованной геотехнологической стратегии освоения недр в данном регионе [224, 228, 229, 232].

Предпочтение должно отдаваться таким геометрическими формам технологических схем и конструктивным решениям, которые в наибольшей степени обладают динамической управляемостью с наименьшими затратами средств и времени. Это предопределяет необходимость многовариантности анализа проектных решений и пространственной определенности этапов развития предприятия.

Представление об этапах в развитии шахты как о некоторой последовательности чередования характерных состояний горных работ и технологии является основой формирования системы проектирования в целом. Для этого весь ожидаемый срок существования предприятия, включая проектирование, строительство и эксплуатацию, разбивается на отдельные этапы.

Для первого этапа, исходя из геологической характеристики месторождения, осуществляется проектирование предприятия с параметрами и технологическими решениями прогрессивными в течение промежутка времени, равного длительности этапа. К моменту отработки запасов на основе уточненных сведений о горно-геологических условиях с использованием достижений научно-технического прогресса должны быть разработаны и реализованы прогрессивные проектные решения, обеспечивающие эффективное освоение запасов следующего этапа существования предприятия. Такая процедура повторяется, и тем самым осуществляется динамическая система оптимального управления развитием предприятий на основе выбора и реализации прогрессивных проектных решений, соответствующих научно-техническому прогрессу и изменениям горно-геологических условий в процессе углубления горных работ и перехода на новые участки освоения недр [32, 36, 210].

Таким образом, особенность поэтапного метода проектирования горного предприятия заключается в возможности выбора наилучших сочетаний параметров технологической схемы, конкретизированных для первого или

очередного этапа, и характеризующих оптимальное поведение системы в будущем с учетом возможности их видоизменения. Предусмотренные параметры не являются неизменными и обязательными на весь срок существования предприятия. Обоснование параметров при поэтапном подходе производится в единстве решения технологических задач на каждом отдельном этапе и развитии предприятия в целом за весь срок его службы. Обоснование и обновление параметров на каждом этапе позволяет осуществлять прогрессивные тенденции в развитии техники, технологии и организации горного производства, учитывать потребности в сырье и конъюнктуру рынка конечной продукции шахты [22, 33].

Но не стоит забывать, что до сего времени проектирование угольных шахт базируется прежде всего на прогнозе различных уровней горных работ на предприятии. Специфика прогнозирования для целей повышения степени обоснованности проектных разработок обусловлена тем, что при проектировании необходимо учитывать непрерывное совершенствование техники и технологии горных работ, форм и методов организации производства и труда. Кроме того необходим учет резких проявлений прогресса в науке и технике, приводящих к качественным преобразованиям различных сторон производственного процесса угледобычи. Действительно, создание новых, более совершенных и высокопроизводительных средств комплексной механизация горных работ, внедрение принципиально новых систем разработки угольных пластов и других качественных характеристик технологической схемы шахты заметно сказываются на уровне эффективности работы предприятий. Неучет этих изменений на стадии проектирования приведет к несоответствию показателей качества функционирования шахты уровню технического прогресса в отрасли, к необходимости пересмотра проектных решений, осуществлению внеплановых реконструкций и реализации мероприятий по непредусмотренной модернизации технологических звеньев шахты [89, 190, 192, 204].

Таким образом, основное назначение современных прогнозных разработок при проектировании шахт состоит в выявлении наиболее вероятных тенденций развития совокупности параметров горных работ и технико-экономических

показателей эффективности эксплуатации шахты, в определении путей совершенствования технологии, установлении моментов времени появления новых видов горной техники, определении ее характеристик [85].

Вследствие того, что для шахт высокого технико-экономического уровня неприемлемо подавляющее большинство технологических решений, относящихся к современным угольным шахтам, предпроектное обоснование их параметров должно базироваться на принципе «конструкторской проработки» вариантов технологических подсистем. При этом следует соблюдать достаточную корректность «приведения» при сопоставлении горно-геологических условий проектируемой шахты и наиболее производительных предприятий, отличающихся наивысшим уровнем прогрессивности технологических решений.

Прогнозирование качественных характеристик технологической схемы шахты на глубину этапа проектирования может быть осуществлено с использованием выявленных альтернатив их развития с помощью методов экспертных оценок, патентной информации, логических функций, огибающих кривых, сплайн-функций, моделирования и др. Но при этом проектировщик должен отдавать себе отчет в том, что любая подсистема технологической схемы должна иметь количественное выражение. Поэтому на первой стадии прогнозирования формируется только «образ» подсистемы, например «агрегатная выемка угля в очистном забое», «гидравлический транспорт угля в пределах шахты» и т.д.

Затем, естественно, следует проектная проработка варианта технологической подсистемы. Следующим этапом является формирование количественного описания качественного элемента технологической схемы шахты путем моделирования его в виде сложной системы с учетом 3D-модели месторождения при «разыгрывании» различной формы связей для обеспечения выхода на заданный уровень параметров и показателей функционирования предприятия или его производственного звена.

Далее следует этап конструктивной увязки всех технологических подсистем.

Сущность проектирования угольных шахт с учетом прогнозирования сводится к следующему:

1. Входом системы являются горно-геологические условия разработки пластов проектируемой шахты с качественной и количественной характеристикой факторов и выходом на подсистему «анализ горно-геологических условий». В данной подсистеме формируются условия всех наиболее высокопроизводительных угольных шахт.

2. Исследуется влияние комплекса горно-геологических факторов на выбранные показатели и выделяются основные из них для последующей группировки шахт по фактору «геология».

3. С помощью методов распознавания образов и кластеризации выделяются группы шахт однородные по горно-геологическим условиям (включая и проектируемую шахту).

4. Формулируются требования при разработке технологических моделей для решения задачи прогнозирования параметров шахты.

5. Разрабатываются методические принципы оценки технологических схем угольных шахт по уровню их прогрессивности.

6. Осуществляется группировка шахт с помощью метода кластерного анализа по уровню прогрессивности технологических решений.

7. С помощью методов статистического прогнозирования (трендов, экспоненциального сглаживания, авторегрессии, экспертных оценок) на глубину до 15 лет определяются прогнозные значения основных параметров и показателей работы шахт, входящих в одну группу с проектируемой шахтой по фактору «геология» и являющихся условными эталонами для нее по уровню технического прогресса.

8. Выявляются тенденции развития угольной промышленности. Выявляются основные изменения качественных характеристик технологических схем угольных шахт.

9. Производится рациональная декомпозиция технологической схемы проектируемой шахты на технологические подсистемы (звенья).

10. Осуществляется разработка модели каждого из рассматриваемых технологических звеньев (очистного забоя, например) как сложной системы для получения прогнозных значений параметров и показателей эффективности их функционирования.

11. Осуществляется реализация моделей технологических звеньев как сложных систем.

12. Формируется набор выходных характеристик по каждому технологическому звену для последующего конструирования технологической схемы шахты.

Таким образом, в настоящее время проектирование угольных шахт базируется на методике объединения горных предприятий в однородные группы [235]. При этом в каждую из групп входят шахты близкие по совокупности основных признаков. Подобная группировка позволяет наиболее эффективно обосновывать управляющие воздействия в направлении повышения качества функционирования каждой шахты в отдельности. Однако реализации данной методической базы в системах автоматизированного проектирования угольных предприятий до сих пор не уделено должного внимания, и проектирование практически всех технологических звеньев осуществляется экспертами.

1.4. Анализ методической базы моделирования месторождений полезных ископаемых и синтеза горнотехнических систем для освоения их запасов

Одной из наиболее трудоемких работ, выполняемых геолого-маркшейдерской службой горных предприятий, является выполнение подсчета запасов полезного ископаемого в блоках, заданных технологическими и геологическими границами, с учетом их распределения по категориям разведанности, подготовленности к освоению, горизонтам, участкам и т.д., и оформление соответствующей отчетной документации. Около 80% времени, затрачиваемого на реализацию указанных функций, занимают рутинные

формализованные расчеты и оформление документации [58, 141, 158, 159, 198, 203].

В связи с повышением требований в направлении рационального использования недр объем геологической информации существенно возрастает. Ограничение роста численности управленческого персонала одновременно с увеличением объема геологической информации создает дефицит в балансе рабочего времени сотрудников геолого-маркшейдерской службы. Это, несомненно, приводит к сокращению затрат времени на выполнение неформализованных операций, таких, как оформление первичной геологической документации, исследование структурных особенностей месторождения и вещественного состава полезного ископаемого, т.е. тех операций, которые не завершаются выдачей строго формализованных документов и, тем не менее, являются основными в части подготовки достоверной геологической информации. Выходом из создавшейся ситуации является более широкое внедрение современной вычислительной техники, что позволит существенно сократить затраты времени на выполнение расчетных и оформительских работ [48, 51, 59].

В настоящее время на рынке программных продуктов весьма актуальными являются программы, реализующих функцию "Подсчет и движение запасов". При этом используется, как правило, интегрированная база данных в виде цифровой модели месторождения, разработанная для решения задач оперативного управления и планирования. Процесс моделирования месторождений полезных ископаемых и синтез горнотехнических систем для освоения их запасов на данном временном этапе сводится к построению 3D-моделей месторождений в соответствии с заданными условиями в горно-геологических информационных системах [19, 72, 164].

Однако существующая на горнодобывающих предприятиях документация, содержащая геолого-маркшейдерскую информацию, зачастую неудобна для использования в качестве входного документа, что требует разработки новых унифицированных форм документов. К тому же при разработке комплекса задач

для реализации функции "Подсчет и движение запасов" необходимо учитывать возможности типового решения их для групп предприятий. Также целесообразно уже на этапе постановки задачи рассмотреть вопрос об информационной увязке с соответствующими задачами систем автоматизированного проектирования горного предприятия. Существующие механизмы подсчета и оценки запасов в современных программных продуктах данные задачи не учитывают [137, 257]. Соответственно, для автоматизации процесса подсчета запасов шахтных полей с последующим автоматизированным формированием рациональных технологических схем их освоения необходим пересмотр математического аппарата в части прогнозирования горно-геологических данных в 3D-модели месторождения [94, 99, 104].

В настоящее время разработано множество методов прогнозирования. Все существующие методы можно разделить на количественные и качественные. Количественные методы базируются на анализе результатов статистических исследований, которые характеризуют развитие объекта прогнозирования в определенный период математическим способом. Иными словами, с помощью количественных методов можно получить численные оценки прогнозируемых характеристик. Качественные же методы в основном базируются на логическом анализе объектов прогнозирования и исходят из весьма общих закономерностей развития. Они опираются на опыт и аналитические способности высококвалифицированных специалистов-экспертов [67, 169, 207, 230, 233].

Наиболее распространенным из количественных методов в практике прогнозирования применительно к горному производству являются методы наименьших квадратов, экспоненциального сглаживания, авторегрессии, огибающих кривых, метод многовариантного прогнозирования, а также, как показывают исследования последних лет, метод сплайн-функций [166, 167, 206]. Из качественных методов прогнозирования чаще всего находит применение метод экспертных оценок.

Метод наименьших квадратов относится к группе однофакторных методов прогнозирования и реализуется по одному временному ряду. Под временным

рядом понимается числовая последовательность, характеризующая изменение во времени того или иного параметра (показателя).

Назначение метода наименьших квадратов заключается в выделении и экстраполяции детерминированной компоненты процесса. В этом случае временной ряд представляется в виде суммы:

$$y_t = Y(t) + e_t, \quad (1)$$

где $Y(t)$ - детерминированная функция времени (тренд);

e_t - случайная компонента, характеризующая отклонения от тренда, обусловленные влиянием на процесс каких-либо случайных факторов.

Сущность метода наименьших квадратов состоит в нахождении таких параметров, при которых сумма квадратов отклонений расчетных значений уровней временного ряда, полученных по формуле, от реальных значений была бы минимальной, т.е. сводилось бы к минимуму выражение:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

где Y_i - реальные (фактические) значения уровней временного ряда;

\hat{Y}_i - расчетные значения, полученные по формуле.

Основой метода, естественно, является корректный выбор зависимости. Часто приходится перебирать большое количество функциональных зависимостей, прежде чем удастся выделить действительно случайную компоненту, распределенную по нормальному закону с нулевой средней.

Для сглаживания временных рядов характеристик горного производства может быть использован следующий набор функций:

$$\begin{aligned} Y(t) &= a_0 + a_1 t, \\ Y(t) &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \\ Y(t) &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3, \\ Y(t) &= a_0 a_1^2, \\ Y(t) &= a_0 t^{a_1}, \\ Y(t) &= a_0 t^{a_1 t}, \\ Y(t) &= a_0 + \frac{a_1}{t}, \\ Y(t) &= a_0 + a_1 \ln(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где t – время в единицах рассматриваемого временного ряда;

a_0, a_1, \dots, a_p – неизвестные параметры, определяемые методом наименьших квадратов.

Оценки параметров a_0, a_1, \dots, a_p находятся путем решения системы нормальных уравнений, получаемых путем приравнивания к нулю частных производных выражений (3) по неизвестным a_0, a_1, \dots, a_p .

Оценка объективности выбора функционального вида тренда обычно производится путем построения и сравнения ряда функций между собой по величине среднеквадратичной ошибки:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p-1}}, \quad (4)$$

где Y_i – фактические значения уровней временного ряда;

\hat{Y}_i – расчетные значения уровней временного ряда;

n – число уровней во временном ряду;

p – число параметров, определяемых в формулах, описывающих тренд.

Для большей объективности выбора вида тренда могут привлекаться качественные методы, например, экспертные оценки.

Метод наименьших квадратов дает удовлетворительные результаты при использовании информации с малыми вариациями. В большей мере он пригоден для интерполяционных расчетов. Непосредственно метод наименьших квадратов может быть использован при прогнозировании на глубину не более 1-2 лет.

В основу метода экспоненциального сглаживания положен принцип сглаживания временного ряда с помощью взвешенной скользящей средней, в которой веса подчиняются экспоненциальному закону. Более ранним наблюдениям придается меньше веса по сравнению с более поздними наблюдениями. При прогнозировании с помощью метода экспоненциального сглаживания считается, что прогнозируемый процесс реализуется в тех же условиях, что и в анализируемом периоде.

Основное соотношение, связанное с реализацией метода, сводится к тому, что временной ряд $Y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ описывается полиномом P -й степени:

$$Y_t = a_0 + a_1 t + \frac{a^2}{2!} t^2 + \dots + \frac{a^p}{p!} t^p + e_t. \quad (5)$$

Прогноз уровней ряда Y_t на период времени $(t+1) \dots (t+n)$ может быть получен с помощью разложения на ряд Тейлора:

$$Y_{t+b}^k = Y_t^{(0)} + l Y_t^{(1)} + \frac{l^2}{2!} Y_t^{(2)} + \dots + \frac{l^{(p)}}{p!} Y_t^{(p)}, \quad (6)$$

где $Y_t^{(k)}$ – k -тая производная, взятая в момент времени t .

Обычно применительно к горному производству оперируют полиномами 1-го и 2-го порядков.

При использовании метода экспоненциального сглаживания для прогнозных расчетов важным вопросом считается выбор оптимального значения параметра сглаживания α . Если α близка к единице, прогноз учитывает лишь влияние последних наблюдений. Если α близка к нулю, то при прогнозе учитываются не только прошлые наблюдения, так как веса, по которым взвешиваются уровни ряда, убывают медленно.

Точный метод определения α в настоящее время отсутствует. Браун предложил выражение для определения α исходя из длины интервала сглаживания:

$$\alpha = \frac{2}{m+1}, \quad (7)$$

где m - число наблюдений, входящих в интервал сглаживания.

В практике прогнозирования часто используют различные процедуры для выбора оптимального значения параметра сглаживания α , которое должно соответствовать характерным особенностям (в широком смысле слова) временного ряда.

Метод экспоненциального сглаживания дает достаточно хорошие результаты при прогнозировании на глубину 5-7 лет. При этом исходный ряд должен включать 15-20 наблюдений. Данный метод получил широкое распространение из-за достаточной простоты возможности реализации алгоритма на ЭВМ.

Сущность метода авторегрессии состоит в том, что любой реальный

процесс характеризуется влиянием на него целого ряда факторов, в том числе и времени. В каждый момент времени совокупное действие факторов различно, естественно прогнозная модель должна учитывать все возможные проявления факторов.

Зависимость исследуемого процесса от своей предыстории за P прошлых периодов может быть описана авторегрессионной моделью вида:

$$Y_t + a_1 Y_{t-1} + \dots + a_p Y_{t-p} = e_t, \quad (8)$$

где $Y_t, Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}$ – реализация процесса в моменты $t, t-1, \dots, t-p$;

a_1, a_2, \dots, a_p – некоторые заданные числа;

e_t – случайный процесс с нулевым средним и ограниченной дисперсией;

P – порядок модели (число переменных, входящих в модель).

Основными условиями представления в подобном виде являются случайность и стационарность исследуемого процесса. Прогнозирование осуществляется по модели:

$$Y_{\tau+\sigma} = a_1 Y_{\tau+\sigma-1} + \dots + a_p Y_{\tau+\sigma-p}, \quad (9)$$

где τ – глубина прогнозирования.

Параметр модели a_j находится с использованием метода наименьших квадратов на условии минимума дисперсии:

$$D_{b_t} = \frac{1}{n-p-1} \sum_{t=p+1}^n e_t^2 = \frac{1}{n-p-1} \sum_{t=p+1}^n (Y_t - \sum_{j=1}^p a_j Y_{t-j})^2 \rightarrow \min. \quad (10)$$

Определение порядка модели является важным моментом при использовании метода авторегрессии. Для этой цели применяют статистический критерий Манна и Вальда, при этом строятся авторегрессионные модели порядка q , где $p < q < \frac{n}{2}$ для тех же наблюдений.

Если \sum_1 – сумма квадратов остатков для моделей порядка p , а \sum_2 – сумма квадратов остатков для модели порядка q , то величина $(n - q) \ln \frac{\sum_1}{\sum_2}$ имеет распределение χ^2 с $(q - p)$ -ми степенями свободы. Небольшая дисперсия величины e_t соответствует удовлетворительной аппроксимации авторегрессионной модели. Оценка дисперсии случайной величины e_t имеет вид:

$$\sigma_{\sigma_t}^2 = \frac{1}{n-p} \sum_{t=1}^n e_t^2, \quad (11)$$

где n - число наблюдений;

p - порядок авторегрессионной модели.

При оценке погрешности прогноза вероятность правильного предсказания обычно задается в пределах от 0,9 до 0,99. Большему значению вероятности, естественно, соответствует более широкий интервал, в котором будет находиться предсказанное значение переменной.

Несмотря на ряд сложностей использования метода авторегрессии, в частности, связанных с выбором порядка модели, жесткими условиями по величине выборки, практика прогнозирования показывает, что данный метод является достаточно надежным для получения прогнозов случайной компоненты. Прячем достаточно хорошие результаты можно получать даже при наличии гармонического тренда, а также при работе с нестационарными рядами.

Часто в практике прогнозирования приходится сталкиваться с динамическими рядами, характеризующими изменение во времени тех или иных главных признаков (параметров) объектов по принципу насыщения. Процесс резкого замедления темпов роста параметров свидетельствует об исчерпании «возможностей» объекта и необходимости перехода на новый уровень развития системы (смена технологических и технических формаций). Это может быть формализовано в виде уравнения сигмоидальной или логической кривой:

$$Y = \frac{A}{B + e^{-ct}}, \quad (12)$$

где A и B – параметры кривой, отношение которых характеризует предельное значение прогнозируемого признака объекта Y_{max} ;

t – время.

Точка перегиба на кривой может быть найдена из выражения:

$$t_n = \frac{\ln \frac{1}{B}}{c}. \quad (13)$$

Для нахождения параметров A , B , C методом наименьших квадратов строятся нелинейные уравнения. При этом заведомо полагается, что прогнозируемый динамический ряд описывается по закону логисты.

Следует иметь в виду, что логистическая кривая характеризует процесс на одном из этапов времени, т.е. каждому из последних соответствуют свои логические кривые, описывающие поведение главных признаков объекта. Тогда можно считать, что вокруг совокупности «малых» S-образных кривых будет описана «большая» S-образная кривая (огibaющая).

Если огibaющая кривая построена для ретроспективного периода, то прогнозирование осуществляется посредством экстраполяции кривой на требуемую глубину. В этом случае приемлемы практически все из рекомендуемых методов сглаживания динамических рядов.

Таким образом, процесс прогнозирования методом огibaющих кривых разделяется на следующие этапы:

- ретроспективный анализ развития системы и экспертная оценка направления ее развития на 10-15 лет;
- определение критерия для классификации системы;
- определение параметров, анализ изменений которых дает возможность эффективно прогнозировать развитие системы;
- определение качественных ступеней развития системы во времени;
- определение временных границ качественных ступеней развития системы и построение логических кривых по выбранным параметрам и характеристикам системы;
- построение огibaющей кривой по характерным точкам процесса развития системы;
- подбор аппроксимирующего многочлена огibaющей кривой.

При построении огibaющих кривых во многих случаях наблюдается перекрытие на отдельных этапах качественных ступеней развития системы (появление нового качества, когда определяющим является еще «старый» уровень качества).

При построении огibaющих следует руководствоваться правилом: на участках перекрытия остаются лишь те точки, которые соответствуют наиболее высокому уровню развития главного признака системы.

На этой основе и формируется временной (динамический) ряд, характеризующий динамику качества системы. Далее следует процедура сглаживания временного ряда с последующей экстраполяцией на принятую глубину прогнозирования.

Во многих случаях при разработке прогнозов возникает необходимость количественно оценить события, для описания которых недостаточно статистической информации или когда статистические методы неприемлемы для обоснованного заключения в будущих событиях и т.п. Эти случаи чаще всего имеют место при разработке долгосрочных прогнозов. В подобных случаях обычно прибегают к мнению квалифицированных специалистов (экспертов).

В основе большинства экспертных методов лежит анкета, представляющая собой опросный лист или таблицу и использующаяся для получения необходимой информации. Вопросы в анкетах должны быть сформулированы с учетом общепринятой терминологии. При этом должна быть исключена смысловая неоднозначность при формулировке вопросов. Последние в своей совокупности должны отвечать структуре объекта прогнозирования.

В практике прогнозных разработок используют как индивидуальную, так и коллективную форму экспертного прогнозирования. Чаще отдают предпочтение коллективной форме. Одним из самых распространенных методов коллективной экспертизы является «метод Дельфи». В основу метода положен принцип последовательной реализации процедур, направленных на формирование группового мнения по вопросам развития объекта прогнозирования.

При использовании для целей эвристического прогнозирования метода Дельфи весьма важным моментом является определение «веса» каждого эксперта. Естественно, «вес» должен быть пропорционален точности предсказания каждым экспертом. Возможен интуитивный подход к определению «весов» экспертов. В этом случае «вес» оценивается с учетом «активности» и компетентности экспертов. Более строгим и корректным подходом является подход к определению «весов» экспертов, базирующийся на тестовых заданиях или заданиях для краткосрочного прогнозирования. По мере наступления

событий (согласно заданиям) фиксируются ошибки предсказания каждого эксперта, и при достаточном количестве таких проб с помощью специальной методики аналитически вычисляется «вес» каждого эксперта [133, 142, 200].

В качестве показателя обобщенного мнения экспертов может быть использовано среднестатистическое значение величины оценки определенного объекта (в баллах или абсолютных величинах):

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m c_{ij} \alpha_i}{\sum_{i=1}^m \alpha_i}, \quad (14)$$

где c_{ij} - оценка, данная i -м экспертом j -ому объекту прогнозирования (в баллах или абсолютных величинах);

α_i – вес i -го эксперта (в баллах);

i - число экспертов, участвующих в опросе, $i = \overline{1, m}$;

j - число прогнозируемых объектов, $j = \overline{1, n}$.

Среднеквадратичное отклонение оценок, полученных j -ым объектом прогнозирования, может быть определено по формуле:

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (c_{ij} - M_j)^2 \alpha_i}}{\sum_{i=1}^m \alpha_i}. \quad (15)$$

Степень согласованности мнений экспертов с полученной оценкой M_j по j -ому объекту может характеризоваться коэффициентом вариации:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j}. \quad (16)$$

При необходимости оценки относительной важности объектов прогнозирования производится ранжирование оценок (в порядке убывания), данных каждым экспертом по каждому объекту. Максимальной оценке приписывается число 1, а минимальной – последнее число в натуральном ряду n (где n - число объектов прогнозирования). В случае равенства оценок, данных тем или иным экспертом, им приписывается одинаковый ранг, равный среднеарифметическому сумм мест, поделенных объектами между собой.

Сумма рангов, полученная в результате ранжирования i -м экспертом объектов прогнозирования, будет равна сумме первых чисел натурального ряда:

$$S_{R_i} = \sum_{j=1}^n R_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}, \quad (17)$$

где R_{ij} – ранг назначений i -ым экспертом j -ому объекту прогнозирования.

Степень согласованности мнений (оценок) экспертов оценивается с помощью коэффициента конкордации W , который может меняться в диапазоне от 0 до 1:

в случае различия всех рангов:

$$W = \frac{12D}{m^2(n^3-n)}; \quad (18)$$

при наличии среди рангов равных:

$$W = \frac{12D}{m^2(n^3-n) - m \sum_{i=1}^m T_i}, \quad (19)$$

где $D = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{1}{2}m(n+1) \right]^2$;

$T_i = \sum_{t_i}(t_3 - t_1)$ - показатель равных рангов, зависящий от их количества (t_i), определенного (назначенного) i -м экспертом.

Для оценки значимости коэффициента конкордации (при $n > 7$) используется распределение χ^2 при $n - 1$ степенях свободы:

$$\chi^2 = W_m(n - 1). \quad (20)$$

При совпадении некоторых рангов распределение приводится к виду:

$$\chi^2 = \frac{12D}{mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m T_i}. \quad (21)$$

Для оценки значимости коэффициента конкордации необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\chi^2 = (n - 1)mW > \chi_{\text{табл}}^2, \quad (22)$$

где $\chi_{\text{табл}}^2$ – табличное значение χ^2 , зависящее от числа степеней свободы $n - 1$ и уровня доверительной вероятности, которая обычно в подобных случаях принимается равной $0,95 \div 0,99$.

При $n \leq 7$ оценка значимости коэффициента конкордации W осуществляется по распределению Фишера.

Роль прогнозирования, несомненно, возрастает при автоматизированном проектировании технологий освоения георесурсов, т.к. из представления шахты

как развивающейся системы и из общей постановки задачи перманентного проектирования развития шахты вытекают важные следствия, которые противоречат существующим методическим принципам проектирования и статическому характеру проектной информации. В частности достаточно затруднительно согласовать требования использовать в проектах установившиеся в определенный момент (а на самом деле уже в прошлом) нормативы промышленно освоенных технологических схем и средств механизации с требованиями должного уровня их прогрессивности на момент сдачи шахты в эксплуатацию. Это обусловлено тем, что с начала проектирования до сдачи шахты в эксплуатацию проходит до 10 лет. Также трудно примирить принцип одноразового обоснования и приемлемости параметров основных структурных элементов технологической схемы шахты (с позиций промышленно освоенных значений) с реально проявляющимся прогрессом науки, техники, технологии, экономики, организации работ и т.д.

Реализация идеи создания проекта развивающейся шахты требует непрерывного прогнозирования уровня развития техники и технологии добычи угля, прогнозирования его потребления и состояния экономики на период всего срока работы шахты на данном месторождении [290].

Любой проект шахты ориентирован в своей реализации на будущее. Поэтому проектные решения должны всегда отличаться достаточной устойчивостью к старению, соответствием требованиям будущего. В противном случае будет правилом иметь не только что введенных в эксплуатацию шахтах не прогрессивные технологические звенья с «узкими местами», сдерживающими ритм функционирования всей технологической системы, которые в итоге определяют необходимость технического перевооружения или реконструкции шахты.

В соответствии с современными представлениями прогноз развития шахты рассматривается как специфически аргументированная информация о будущем технологии выполнения процессов в рамках производственных комплексов транспорта, подъема, проведения выработок, вентиляции шахты,

технологического комплекса ее поверхности. Содержание и степень достоверности прогнозной информации определяются анализом направлений развития технологии разработки полезных ископаемых, знаниями и условиями, присущими современному этапу развития общества, а также возможностями реализации прогнозируемых явлений или тенденций. Другими словами прогноз в своих теоретических построениях опирается на конкретные тенденции и закономерности развития аналогичных объектов, на реальные потребности в добываемом угле и учитывает объективно сложившиеся возможности научно-технического прогресса в угольной и в других отраслях промышленности.

Логическую запись процесса выработки прогнозных умозаключений можно представить следующим образом:

$$(ТЗ \vee ИГ \vee ФП) \rightarrow ПР, \quad (23)$$

где ТЗ - совокупность знаний и представлений о тенденциях и закономерностях развития шахт и структурных элементов технологии добычи угля; ИГ - совокупность конкретных идей и научных гипотез относительно будущих возможностей развития шахт, структурных элементов технологии и их многообразных связей; ФП - совокупность представлений о факторах, определяющих потребность развития шахты, элементов технологии, и стимулирующих или препятствующих этому развитию условиях; ПР - прогнозируемые результаты, предположения, выводы, имплицитивно («→») обуславливаемые указанными реально существующими логическими предпосылками; «→» - логический знак, обозначающий операцию импликации, следования. Позитивные результаты имеют место быть, если справедливы слагающие элементы технологической системы [122].

Каждый научно обоснованный прогноз содержит как бы сплав времен: прошлого (тенденции развития), настоящего (наличные ресурсы и представления) и будущего (потребности и возможности). В зависимости от того, на какой срок в будущее реализуются прогнозы, они имеют различный характер, существенно отличаются достоверностью и использованием в практике принятия решений.

Проектирование шахт связано с предвидением возможностей их развития на различное отдаление в будущее, и, следовательно, требует прогнозирования на различную глубину.

Для первого этапа развития шахты при прогнозировании характерна наивысшая степень достоверности горно-геологических исходных данных, социально-экономических факторов и научно-технических сведений о технологии добычи угля в конкретных условиях. Большинство специалистов считает интервалом такого прогнозирования 15-20 лет.

За это время исчерпывается «запас» многих представлений о прогрессивности тех или иных средств механизации, форм организации работ, запас надежности сведений о горно-геологических условиях и стоимостных параметрах. Прогнозирование проектной информации и технологических решений на первом этапе развития шахты отличается достаточной полнотой и детальностью. Каждая машина, каждый элемент технологии, а также состояние горных работ, каждый вид затрат, любые преимущества или недостатки технологических систем - все должно находить отражение в прогнозе, реализованном на первом этапе.

Необходимость второго эшелона прогнозирования связана с тем, что сроки службы шахт, как правило, превышают 15-20 лет, а многие производственные комплексы шахты выполняют одну и ту же роль в течение всего срока службы (технологический комплекс на поверхности шахты, основные вскрывающие выработки, подъемные установки и т.д.).

Прогноз на второй этап развития шахты производится по основным состояниям, по общим условиям и инерционным параметрам шахты (глубина разработки и участки шахтного поля, производственная мощность шахты, параметры общешахтной системы вентиляции, технологическая схема выполнения работ на поверхности, общие схемы механизации основных комплексов рабочих процессов, общие технические и экономические требования к продукции и т.д.). Интервал времени на второй этап развития шахты в связи с этим допускается в пределах 40 лет. Прогнозирование развития шахты на второй

этап, естественно, отличается меньшей достоверностью результатов, нежели на первом этапе.

Однако оптимизация решений по долгодействующим структурным элементам технологической системы на базе подобного прогноза в значительной степени повышает уровень объективности технологических решений, реализуемых на втором этапе.

Прогноз на последующие этапы формирует совокупность определенных сведений на конец отработки запасов шахтного поля и является важной составляющей вследствие целого ряда обстоятельств. Прежде всего необходимо иметь общие представления о потребности в угле, характеристике оставшихся запасов, о моменте завершения работы шахты, использовании высвобождающихся рабочих и оборудования, жилого фонда, коммуникаций и т.д.

Прогнозная информация на глубину более 40 лет носит в основном качественный характер, отличается низкой достоверностью и, следовательно, не может иметь решающего значения при оптимизации параметров шахты на первом этапе ее функционирования.

Основные задачи прогнозирования, связанные с получением проектной информации, можно систематизировать следующим образом.

В первую очередь осуществляется прогнозирование и оценка горно-геологических характеристик месторождения или участка его в пределах шахтного поля. Практика проектирования и работы шахт показывает, что неполнота, низкая достоверность исходной горно-геологической информации чаще всего являются причиной корректировок проектов, отказа от ранее принятых проектных решений. Получение детерминированных или вероятностных данных о мощности, углах падения, газоносности, водообильности и нарушенности угольных пластов, свойствах вмещающих пород, гипсометрии пластов и форме участков шахтного поля необходимо проектировщикам для выполнения любого раздела технического проекта и особенно для выполнения его технологической части [182]. Прогнозирование

основывается на данных отчетов геологоразведочных работ, опыта разработки соседних участков месторождения другими шахтами, на данных уже отработанных участков того же шахтного поля.

Прогнозирование качественных параметров технологии разработки предусматривает выявление перспективных закономерностей и тенденций развития технологических схем отработки, вскрытия запасов шахтного поля, схем подготовки запасов, вентиляции и транспорта, систем разработки, компоновки, технологических схем поверхности шахты и т.д. Большинство указанных проектных решений относятся к относительно медленно изменяющимся, инерционным и часто выступают на действующих шахтах как ограничения в развитии предприятий, сдерживающие улучшение технико-экономических показателей. В настоящее время, например, очевидны в определенных условиях преимущества блоковой отработки шахтных полей или системы разработки пластов длинными столбами по падению-восстанию.

Прогнозирование развития средств механизации производственных процессов и параметров оборудования является весьма серьезной задачей. Перспективы развития технических средств подъема, проведения и крепления горных выработок, очистной выемки, крепления и управления кровлей очистных выработок, средств магистрального транспорта, проветривания и дегазации, средств механизации вспомогательных процессов и т.д. определяют условия для разработки прогрессивных и экономичных проектов. Проектировщикам необходимы данные о производительности вновь разрабатываемых выемочных машин и комплексов, их эксплуатационной надежности, производительности транспортных средств (электровозов, конвейеров), скорости подачи выемочных машин и производительности проходческих комбайнов, производительности средств подъема на поверхность, вентиляторных установок, габаритах средств механизации и т.д. Примером прогнозной информации данного рода могут служить данные о расширяющейся области применения узкозахватных комбайнов со скоростью подачи до 10 м/мин, струговых механизированных комплексов, крутонаклонных (20-35°) конвейеров, проходческих комбайнов для

условий более крепких ($f = 4 \div 7$) пород и др.

Информация о стоимости и технико-экономических показателях отличается наибольшей динамичностью. Мощность шахты, нагрузка на очистные забои, скорость проведения горных выработок, длина лавы, высота горизонта, размеры эксплуатационных блоков и панелей по простиранию и восстанию, размеры выемочных участков и др. изменяются на шахтах, как правило, непрерывно и в значительных диапазонах. Предвидеть действительные темпы изменений этих параметров чрезвычайно важно, так как именно они определяют уровень технико-экономических показателей функционирования шахты. Несомненно, что прогнозирование уровня количественных параметров и технико-экономических показателей (производительность труда, трудоемкость производственных процессов, фондоемкость разработки, себестоимость добычи и др.) основывается на данных действующих шахт.

Вместе с изменениями в технике, технологии ведения горных работ на шахтах наблюдаются значительные перемены в организации производства и труда, профессиональном составе коллективов трудящихся, их экономическом и культурно-образовательном положении и т.д.

Проектируемая шахта оказывается в системе хозяйственных и социальных связей с другими предприятиями. Прогнозирование может установить, как будут влиять эти связи на работу шахты, на обеспечение ее людскими, энергетическими ресурсами в будущем.

Прогнозирование столь разнообразных сведений, необходимых при воплощении поэтапного проектирования, требует использования специфических методов. Теория прогнозирования насчитывает в настоящее время более 100 различных методов и приемов.

Что касается основных методов технологического прогнозирования, то их удается свести к следующим весьма широким классам: методы расчетно-директивные; методы интуитивной и эмпирико-статистической экстраполяции; методы экспертных заключений (оценок); методы математического и технологического моделирования; методы практического эксперимента с

обратной связью.

Следует подчеркнуть, что наиболее успешное проведение технологического прогнозирования возможно лишь при комплексном использовании целого ряда научных методов, как правило, дополняющих (а не отменяющих) друг друга.

Первый класс методов находит широкое применение в определении перспективных планов развития отрасли, динамики показателей по отрасли, бассейнам, районам и предприятиям.

Второй класс методов на базе математических методов статистического анализа позволяет решить разнообразные задачи прогнозирования поведения как весьма больших и сложных систем и их характеристик, так и отдельных элементов систем, элементов технологии, показателей. Методы экстраполяции базируются на гипотезе, что будущее является непосредственным продолжением настоящего. Чаще всего методами экстраполяции пользуются при установлении тенденций изменения тех или иных количественных параметров шахты и отдельных подсистем, технико-экономических показателей (мощность шахты, нагрузка на очистной забой, производительность горных машин, подвигание очистных забоев, себестоимость производства горных работ и добычи 1 т угля, производительность труда и т.д.).

Статистические методы экстраполяции наиболее часто применяются в горном деле в форме корреляционного и регрессионного анализа. Степень реальности такого рода прогнозов и мера доверия к ним обуславливаются аргументированностью выбора пределов экстраполяции. Общим правилом является положение, что более инерционные системы, фундаментальные параметры и показатели допускают большую глубину прогнозирования при одной и той же базе экстраполяции. Так изучение статистических данных шахт за 15-20 лет позволяет экстраполировать сложившиеся тенденции изменения производственной мощности шахт не менее чем на 15 лет, нагрузки на очистные забои не менее чем на 7 лет и т.д. Прогнозирование себестоимости по производственному объединению возможно на большую дальность, нежели по шахте.

Инерционность прогнозируемой системы и ее параметров является определяющей в связи с тем, что в сложных системах изменения обуславливаются совокупностью многих взаимосвязей, не допускающих резких скачков. Сказанное позволяет сделать важный методический вывод, что методы статистической экстраполяции обеспечивают приемлемую достоверность проектной информации на глубину одного этапа. Третий класс методов, включающий методы экспертных оценок, используется в большой мере при определении тенденций развития техники, уровня технико-экономических показателей, направлений в развитии технологии производственных процессов и элементов технологических схем, технических средств и т.д.

Сюда следует отнести также прогнозирование качественных характеристик и параметров технологии добычи, принципов работы горных машин, уровня основных параметров машин и т.д.

Прогнозирование основывается на сборе и систематизации различных оценок-ответов экспертов. Силу прогноза им придает аргументированность суждений экспертов, являющихся ответом на общественные, технические, экономические и технологические потребности в подобном развитии. Теми или иными приемами методов экспертных оценок издавна пользуются при перспективном планировании и при проектировании в форме коллективных обсуждений и заключений. В значительной степени те или иные оценки экспертов основываются на результатах проводимых научных исследований, конструирований, экспериментов, т.е. отражают потенциальный научно-технический задел в развитии технологии добычи. Реализация подобных заделов на конкретных шахтах отделена от момента проведения экспертного опроса значительным интервалом времени, включающим промышленное изготовление, внедрение на действующих шахтах, проектирование, строительство, оснащение вновь строящихся объектов. В большинстве случаев прогнозирование методами экспертных оценок путей развития технологии добычи (например, технологических схем очистных работ, средств механизации производственных процессов, видов крепления горных выработок, средств метаноподавления и т.д.)

оказывается наиболее эффективным на глубину более 15-20 лет. Таким образом, методами экспертных оценок целесообразно прогнозировать необходимые при проектировании сведения на конец первого этапа, а по некоторым сведениям (потребности в угле, параметры систем энергоснабжения и вентиляции, общее положение горных работ и т.д.) - на время второго этапа, т.е. более чем на 20 лет.

Пятый класс методов сводится к физическому эксперименту на реальном объекте и применяется, как правило, при создании образцов технических средств. Тем не менее не исключено проведение производственно-экономических экспериментов и на более сложных, масштабных объектах (скоростное проведение выработок, экономическая система материального стимулирования на шахтах и т.д.).

Технологическое прогнозирование методами эксперимента с обратной связью в том или ином масштабе по существу проводится непрерывно. Однако постановка эксперимента, затрагивающего большие экономические системы, представляется чрезвычайно ответственной.

Рациональнее сначала научно доказать, технически обеспечить, организационно завершить разработку сложного объекта будущей технологии или организации, а затем ставить физический эксперимент с высоким уровнем вероятности в его успешном исходе.

Эти задачи получают законченное решение при использовании методов прогнозирования четвертого класса - методов технологического и математического моделирования объекта, в данном случае технологии шахты. Проектировщик конструирует соответствующую логико-математическую модель на основе изучения внутренней логики развития объектов, хода процессов [6].

Методы моделирования находят широкое использование при проектировании шахт. Высшей, наиболее сложной формой прогнозирования развития шахты методами моделирования является технологическое и экономико-математическое моделирование.

Современные представления о технологическом и экономико-математическом моделировании проектов шахт характеризуются стремлением

уйти от детерминированности исходной информации не только в данный момент, но особенно на протяжении срока службы предприятия. Динамическая постановка моделирования выражается в различных аспектах: оценка результатов работы спроектированной шахты за длительный промежуток времени, учет разновременности затрат и экономических результатов, учет вероятностного характера переменной во времени горно-геологической, технической, экономической информации и др. Моделирование развития шахты в такой постановке требует инженерной разработки соответствующих методов и приемов во всех указанных аспектах.

Установление закономерностей изменения проектной информации во времени, прогнозирование исходных данных основываются на сборе и обработке огромного объема статистических сведений, характеризующих опыт действующих предприятий, состояние научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ в отрасли, социальные, экономические и производственные условия шахты, угольного района и бассейна. Это указывает на необходимость создания в проектных институтах автоматизированных информационных систем, работающих в органическом единстве с автоматизированными системами управления производственными объединениями шахт.

1.5. Оценка состояния методической базы синтеза технологических систем угольных шахт на базе интеллектуальных технологий

Процесс развития вычислительной техники на протяжении всей своей истории неоднократно стимулировал исследования искусственного интеллекта. На протяжении 20-го века отчетливо наблюдаются «всплески» исследований по поиску универсальных алгоритмов машинного мышления и попытки создания «умных машин», которые должны были заменить традиционные «послушные машины» четвертого поколения. Наиболее важными вехами здесь является

период появления первых электронных вычислительных машин (1945 год) и период распространения персональных компьютеров (1980-е годы) [61, 143, 149, 241–243, 245].

В настоящее время компьютерная техника широко доступна, а программирование приобрело массовый характер – разработаны сотни тысяч математических алгоритмов, ориентированных на решение большого числа задач, большое количество методов и приемов программирования (включая объектно-ориентированное программирование, появившееся сравнительно недавно), большое количество сред программирования, существенно упрощающих работу человека, восприятие и понимание программного кода. Однако несмотря на все это, искусственный интеллект так и не появился, а оптимизм относительно перспектив его создания стал угасать. Проблема здесь заключается в том, что существует достаточно четкая граница между областями, для которых созданы эффективные алгоритмы решения задач, и областями, для которых таковые не созданы. Следует констатировать, что горное дело во многом относится ко второй группе, по крайней мере, успехи здесь достаточно скромны. Проблема состоит в том, что основные параметры, касающиеся в первую очередь горно-геологических условий, могут изменяться в достаточно широких пределах и, следовательно, характеризуются высокой степенью неопределенности.

Вместе с тем необходимо отметить, что отсутствие алгоритма решения задач, описанного в явной форме, не является препятствием для решения подобного класса задач человеком. Хотя четкого алгоритма выбора, например, схем вскрытия запасов месторождения, в учебниках не описывается, но в каждом конкретном случае логика принятия решения вполне поддается анализу и осмыслению. В процессе обучения на большом количестве примеров, решая разные по сложности задачи, проектировщик постепенно аккумулирует в себе опыт решения задач и вырабатывает для себя некий алгоритм рассуждений, который нигде не формализован в явном виде.

Проблема воспроизводства похожих алгоритмов рассуждений для компьютера состоит в том, что они весьма сильно отличаются от обычных

алгоритмов программирования. Во-первых, такие алгоритмы, как правило, лишены циклов – на каждом последующем шаге для решения задачи применяются новые знания и приемы, зачастую относящиеся к разным областям знаний. Такие алгоритмы плохо декомпозируются на блоки. Они, скорее, являются подобием векторного поля приемов, в которых перемещается данная задача, и которое создается путем длительного накопления опыта. Срабатывание каждого метода приближает задачу к решению. Стоит отметить, что такие алгоритмы не будут являться эффективными, пока не будет накоплен достаточно большой объем методов, который бы обеспечил с большой вероятностью решение задачи. Проблема состоит в том, что критический минимум таких методов достаточно велик, и может потребоваться значительное время на его накопление и организацию надлежащей работы. В современных условиях уровень развития ЭВМ позволяет без особого труда обрабатывать большие массивы данных (big data), поэтому задача состоит в том, чтобы правильно сформировать пространство поиска решений задачи.

Другое важное отличие алгоритмов рассуждения от классических – способ представления данных. Вычислительная программа использует технические структуры данных, семантика которых остается «за кадром», так как при вычислениях непосредственно не нужна. Можно сказать иначе: знания в таких программах «растворены» в структуре алгоритма. Различные приемы интеллектуальных систем, напротив, анализируют задачи независимо друг от друга, и для понимания текущего контекста для них необходимо сохранить всю семантику, используя универсальный, приближенный к естественному язык.

Сегодня приходится констатировать, что изучение логических процессов математическими методами оказалось крайне сложным и не привело к созданию эффективных решателей. Одним из возможных направлений разработки интеллектуальных систем сегодня являются указанные выше способы обучения векторных полей (пространств поиска решений) с помощью большого количества обучающих примеров, число которых может достигать сотни тысяч [4, 139].

К тому же по мнению автора разработка подлинно интеллектуальных

систем для решения узкого круга задач, например, только управления длинными очистными забоями, вряд ли возможна.

Существующие ныне в угледобывающей отрасли системы, позиционируемые как интеллектуальные, в строгом научном понимании этого слова таковыми не являются. Они обеспечивают сбор, хранение и обработку информации, поступающей от большинства устройств в лаве на едином центральном компьютере. Они могут управлять положением шнеков комбайна и скоростью его подачи, предупреждать возникновение аварий путем заблаговременной остановки работ в лаве и сигнализации.

Такие системы являются лишь развитием средств автоматики (компьютерной автоматики), а их появление во многом обусловлено взаимной интеграцией отдельных устройств (механизированная крепь, очистной комбайн, конвейер и т.д.). Основная обработка информации в таких системах сводится лишь к тому, что они контролируют и анализируют показания датчиков, установленных в очистном забое, и при возникновении некоторого критического отклонения от нормы подают команду на прекращение работы оборудования и отключение электроэнергии в лаве.

Такие программы являются чисто алгоритмическими, в которых выход из цикла осуществляется путем срабатывания записанного в программном коде блока обработки исключительных ситуаций, задача которого прекратить подачу электроэнергии в лаву, остановить работу комбайна и т.д. (срабатывание catch-блока – блока обработки исключительных ситуаций). В принципе, исходя из соображений безопасности, такой алгоритм работы программы вполне целесообразен и даже необходим. Однако такие системы не предполагают никакой последующей логической обработки информации, предоставляя анализ возникшей проблемы специалисту. Максимум, что в большинстве подобных случаев делает сама система, это проводит самодиагностику для выявления возможных причин отказа, связанных с неисправностью оборудования или программного обеспечения.

В свете вышесказанного предполагается, что разработку интеллектуальных

систем в области горного дела следует начинать на стадии выполнения проектно-изыскательских работ с последующим внедрением ее элементов на стадии проектирования и с соответствующим дополнением информационной базы при эксплуатации шахты. Разработка интеллектуальных составляющих для существующих пакетов прикладных программ вполне возможна уже в настоящее время. Такие интеллектуальные программы, по всей видимости, ввиду ограниченности базы знаний не будут способны решать задачу за специалиста, но могут предложить ему рекомендации по ее решению или существенно упростить, сводя к минимуму, количество необходимой для принятия решения информации.

Такие системы предполагают логическую обработку информации и, следовательно, иные механизмы функционирования программ, а также использование высокоуровневого языка, приближенного к естественному, принятому в конкретной предметной области.

Поэтому на первоначальном этапе вполне естественной является задача формализации знаний в области горного дела, построения алгоритмов рассуждений и проверка их работоспособности.

Далее, на втором этапе, после формализации знаний, необходимо применение интеллектуальной системы. Это обусловлено прежде всего тем, что если работа обычной программы строго определяется заложенной в нее последовательностью действий (алгоритмом), то поведение интеллектуальной системы зависит от заложенных в нее логических процессов. Эти процессы необходимы для восприятия зрительных образов, понимания естественного языка, планирования действий, решения технических и теоретических задач [110].

Помимо разработки прикладных программ значительная работа ведется в сфере разработки и обоснования теоретических и научных положений создания экспертных систем.

В работе Подколзина А.С. [139] дается подробное описание логической системы «Искра», разработанной автором. Подробно описывается структура языка решателя задач, дается описание работы механизма логического вывода и

форма представление задач в решателе, также дается описание общелогических процессов и оценка перспективности основных направлений их моделирования.

В работе Частикова А.П., Гавриловой Т.А., Белова Д.Л. [215] описывается общая архитектура экспертных систем и существующие на сегодняшний день подходы к их разработке. Авторы подробно раскрывают методы извлечения и структурирования знаний. Несмотря на то, что издание ориентировано на работу с экспертной оболочкой CLIPS, в ней достаточно корректно описывается общий подход к созданию экспертных систем.

В научном труде Ларина Е.Ю., Федоровой Е.Е., Лариной Е.Ю. [114] предложена концепция управления очистными работами, исключая необходимость присутствия человека в зонах повышенной опасности. В основе предложенной концепции лежит модель нейросетевого прогнозирования, которая позволяет повысить качество принимаемых решений и облегчает выбор оптимальных режимов работы.

В статьях [296, 300] китайские исследователи подробно описывают возможности применения нейронных сетей для прогнозирования и обеспечения безопасности на угольных шахтах. Также изложен достаточно подробный алгоритм работы предложенной нейронной сети. По заверению разработчиков, проведенные исследования по промышленному применению рекомендованной сети дали положительные результаты.

В реферате Страшуна Ю.П. [194] указывается на смену парадигмы в области промышленной автоматизации, которая заключается в переходе от концепции «технологический процесс - система управления» к укрупненной структуре «производственная система - супервизор». Парадигма опирается на идею превращения Интернета для людей в Интернет для «вещей». Особое значение в таких условиях приобретают встраиваемые средства вычислительной, измерительной и коммуникационной техники, а также интеллектуальная составляющей работы системы.

В автореферате Дунаева В.А. [52] приводится подробное сравнение известных моделей функционирования распределенной базы данных при

репликации, способами управления параметров репликации, применяемыми в автоматизированных системах управления предприятиями горнопромышленного комплекса.

В целом на основе анализа научно-технической информации можно сделать вывод, что основные научные разработки в области создания интеллектуальных систем для нужд горного дела лежат в сфере создания систем реального времени. Такие системы, как правило, внедряются уже на стадии функционирования горного предприятия, а их основной задачей является контроль и управление производственными процессами на шахте.

В настоящее время наиболее часто основной объем обработки информации в интеллектуальных системах выполняют программы, использующие классические структуры данных, а логика (интеллектуальная составляющая) выполняет роль диспетчера, которая контролирует и управляет процессом обработки информации и в необходимых случаях обеспечивает его совершенствование. В тех случаях, когда для решения задачи не требуется наличие логического вывода, поскольку имеется уже заранее выработанный план действий, создается специализированный вычислительный алгоритм.

Потребность в логических процессах возникает лишь тогда, когда нет четкой последовательности решения задачи или такая задача имеет множество путей решения, которые могут сильно различаться по критерию эффективности. В таких случаях планирование действий происходит непосредственно во время решения задачи, причем для обеспечения возможности нахождения приемлемого ответа система должна обладать достаточно обширной базой знаний. При этом использование того или иного элемента из базы знаний носит непредсказуемый характер – решение задачи одной предметной области может потребовать определенных знаний из другой. По этой причине вряд ли существует возможность создания интеллектуальных систем для решения узкого класса задач в направлении, например, выбора схемы вскрытия, подготовки и системы разработки угольных пластов. С другой стороны, существует достаточно большая проблема, связанная с языком представления базы знаний. Для адекватного

моделирования такой язык должен быть максимально приближен к естественному. В данном случае в основе такого языка будут терминология и понятия, принятые в горном деле. Для решения более широкого класса задач потребуется также существенно расширять возможности языка системы, чтобы она могла «понимать» и «анализировать» информацию из других областей знаний.

Исследования, направленные на изучение логических процессов математическими методами, привели к появлению такой науки как математическая логика. В рамках данной дисциплины даются точные определения фундаментальным понятиям логического языка, формального доказательства, алгоритма решения задачи. Основная проблема, решаемая в рамках данной дисциплины – трудоемкость поиска прямого или обратного вывода по «деревьям решений», которая возрастает по экспоненте с ростом глубины поиска. Существующие в настоящее время методы, основанные на отсечении неперспективных ветвей для сужения пространства поиска, равно как и различные эвристические принципы упорядочения перебора не принесли существенных результатов.

В описанной выше ситуации, когда попытки создания эффективного решателя с использованием методов математического исследования фактически зашли в тупик, основное направление изучения возможности создания таких решателей сконцентрировалось на компьютерном моделировании логики рассуждений человека.

Однако, как было отмечено выше, для эффективной реализации такого подхода необходимо вручную создавать довольно большой объем методов решения задач, которые позволили бы получать определенный адекватный ответ.

Процесс обучения системы в общих чертах может иметь следующую последовательность. Первоначально системой рассматривается некоторый комплекс обучающих задач, которые имеют место в данной предметной области, а решение которых заранее известно эксперту. Например, развитие системы, проектирующей вскрытие запасов шахтного поля, логично начинать с

моделирования рассуждений для решения достаточно простых задач, включающих минимальный набор исходной информации, необходимой для реализации самых простых и наиболее типичных схем вскрытия запасов в границах шахтного поля (например, таких как схемы вскрытия вертикальными и наклонными стволами). При этом допускается для упрощения постановки решаемой задачи упростить горно-геологические и горнотехнические характеристики шахтного поля. Далее анализируется последовательность решения каждой из задач выбранного комплекса. Процесс решения реализуется в несколько отдельных этапов, состоящих из локального планирования и реализации выбранного плана действий. Локальное планирование представляет собой процесс разработки алгоритма поиска пути с учетом динамически возникающих ограничений. Результатом является разработка на каждом этапе решения задачи определенного алгоритма.

Эти алгоритмы постепенно накапливаются в базе знаний системы и могут срабатывать при решении каждой последующей обучающей задачи, а также предлагать свои альтернативные варианты решения. Каждое такое решение проверяется экспертом на достоверность и соответствие поставленным целям.

Описанная выше процедура повторяется для большого количества задач предметной области до тех пор, пока получившийся комплекс локальных алгоритмов не будет давать адекватного результата. В конечном итоге полученные методы тестируются путем ввода в систему проверочных задач, схожих по сложности или немногим более сложных, но не решавшихся системой ранее. Если система выдает корректный ответ, то ее функционирование можно считать устойчивым. В противном случае процесс обучения повторяется.

В целом описанный выше порядок обучения системы во многом совпадает с процессом обучения нейросети. Основное отличие здесь заключается в том, что ввиду использования в базе знаний высокоуровневого языка, приближенного к естественному, процесс корректирования работы системы выходит за рамки простого изменения числовых параметров (как для нейросети) и требует глубокой логической перестройки правил и алгоритмов.

Полученные алгоритмы рассуждений совместно с базой знаний и базой данных формируют пространство поиска решений задачи определенного класса. Решение конкретной задачи осуществляется путем сужения пространства поиска при просмотре методов решения или путем срабатывания правил, удовлетворяющих условиям задачи.

Основное внимание следует уделить методике учета взаимодействия различных методов решения задачи. Поскольку такие методы представляют собой распределенную систему, не имеющую общего управляющего ядра, срабатывание каждого из них может приводить к возникновению противоречий и отказу при решении задачи. Отсутствие ядра объясняется тем обстоятельством, что никто, кроме каждого конкретного метода, не имеет достаточного и необходимого объема знаний для принятия решения в области компетенции данного метода. Как следует из теории сетей, трудоемкость, связанная с учетом таких взаимодействий, будет пропорциональна квадрату числа методов в системе.

Каждый метод фактически представляет собой правило, снабженное системой указателей для решателя, который на основе данного правила формирует программу метода. В задачу решателя (компилятора) входит формирование такой последовательности решения (программы), которая усматривала бы применение данного правила даже в неоднозначных, сомнительных ситуациях, а также оценивала целесообразность его применения. В описании каждого метода допускается обращение к всевозможным вспомогательным процедурам и аналогичным вспомогательным задачам, которые решались ранее (принцип аналогии).

Еще одним немаловажным аспектом, который необходимо учесть при разработке базы знаний, является самообучение системы и возможность записи новых правил. Классические системы компьютерной математики, такие как MathCAD, MatLAB, Wolfram Mathematica, Maple и др. предоставляют пользователю возможности и средства для программирования новых функций. Такую же возможность должны иметь и экспертные системы. Основная

сложность связана с тем, что вместо классического процедурного программирования, используемого в системах компьютерной математики, необходимо использовать методы продукционного программирования.

Необходимо учитывать, что перед тем как приступить к разработке прототипа экспертной системы необходимо определиться с особенностями ее архитектуры хотя бы в общих чертах.

В первую очередь необходимо выбрать логический язык для представления задач. Как было отмечено выше, такой язык должен быть максимально приближен к используемому в горном деле (соответствующие термины, определения и т.д.).

Сегодня существует достаточно большое количество оболочек и платформ для разработки экспертных систем, как правило, все они имеют собственные языки высокоуровневого программирования, которые позволяют создавать продукционные базы знаний или иные логические структуры. Примерами таких языков являются Smalltalk, CLIPS, Prolog и ряд других.

Анализ наиболее популярных оболочек для разработки экспертных систем, основанных на разных языках логического программирования, показал, что для создания экспертной системы в области горного дела может потребоваться разработка собственного логического языка. Дело в том, что даже существующие сегодня оболочки не позволяют создавать сколько-нибудь эффективные системы для разных предметных областей и специализируются на решении ограниченного круга задач.

Основная проблема таких языков состоит в том, что они, как правило, создаются избыточным образом для упрощения связанных с ними формулировок. Использование такого языка в решателе может привести к существенному усложнению формулировок и, как результат - к расхождению между моделью и моделируемым процессом.

Другим важным аспектом языка должна являться возможность учета контекста (так называемой контекстной семантики) при обработке логических структур данных. Это позволит вводить в систему нечеткие понятия и

определения, которые потребуются, например, при выборе схем вскрытия, а поддержка контекста будет позволять уточнять их смысл путем обращения к сопроводительной информации технического или описательного характера. Для работы с нечеткой логикой в рамках выбранного языка потребуется создавать адаптивные алгоритмические конструкции, которые позволят нивелировать нечеткость вводимых понятий путем учета контекста и накопления точных аппроксимаций нечетких понятий в виде сложных логических описаний образов, стоящих за такими понятиями.

Заметим, что даже целевая установка на выбор, например, схемы вскрытия шахтного поля, характеризуется существенной неопределенностью, связанной, одной стороны, с существенной неопределенностью исходной информации, с другой - с необходимостью существенного уточнения задачи, которая, как правило, опирается на целый комплекс знаний, а не только на конкретный раздел или дисциплину. Значительную часть таких знаний составляют различного рода условности и эвристические принципы, которые необходимы для адекватного уточнения задания уже в процессе его выполнения. Поэтому при разработке архитектуры решателя для такой системы следует определить только те структуры данных, которые будут определять текущее состояние задачи в процессе ее решения, а допустимые шаги решения задачи и способ усмотрения ответа на нее эксперт должен уточнять по мере проработки конкретного обучающего материала.

Аккумулируя все вышесказанное, можно сделать вывод, что разработка или выбор языка для экспертной системы должен сопровождаться широкой формализацией знаний и отдельных понятий в области горного дела. Этот шаг является необходимым для того, чтобы система могла адекватно воспринимать естественный язык.

Самым распространенным видом интеллектуальных систем являются экспертные системы (Рисунок 4).

Под экспертной системой следует понимать класс интеллектуальных систем, ориентированных на распространение опыта высококвалифицированных

специалистов в областях, где качество принятия решения зависит от уровня экспертизы (экспертной оценки).



Рисунок 4 - Стандартная архитектура экспертной системы

Основу любой экспертной системы составляет база знаний, в которой знания описаны на некотором высокоуровневом языке, приближенном к естественному и понятному специалистам предметной области (не программистам).

Существует множество языков (моделей) представления знаний, разработанных для различных областей. Большинство из них может быть сведено в две большие группы: модульные языки представления знаний, к которым относятся продукционные модели, формальные логические модели, и сетевые, к которым относятся семантические сети и фреймы.

Для перечисленных моделей представления знаний существует соответствующая математическая нотация, и разработаны соответствующие системы и методы программирования, реализующие эти модели.

Кроме базы знаний в структуру экспертной системы обязательно входит решатель (механизм логического вывода), подсистема объяснений, пользовательский интерфейс, интеллектуальный редактор базы знаний.

В случае продукционного представления знаний, решатель реализуется в

виде машины логического вывода (интерпретатора правил), имитирующей логический вывод эксперта, использующего данную продукционную базу знаний.

Подсистема объяснений позволяет пользователю получить от экспертной системы информацию о том, почему был сделан тот или иной вывод. Подсистема также предоставляет возможность просмотреть порядок перебора правил и оценить, почему сработало то или иное правило, тот или иной метод. В результате пользователь имеет возможность просмотреть весь процесс формирования вывода и оценить его целесообразность.

Интеллектуальный редактор базы знаний, как правило, недоступен рядовым пользователям. Он используется экспертом и инженером по знаниям для пополнения базы знаний новыми фактами, редактирования порядка перебора и срабатывания правил, исправления обнаруженных ошибок.

Пользовательский интерфейс является одной из наиболее существенных элементов экспертной системы, его основная функция состоит в переводе утверждений, сформулированных на внутреннем логическом языке решателя, на язык понятный человеку, а также реализация обратного действия – перевод записанного человеком нового правила на естественном языке в язык представления знаний.

Решатель или машина логического вывода – это программа, реализующая логический вывод и управляющая им.

В первую очередь для эффективной работы решателя необходимо предусмотреть такой порядок и форму представления задачи, которая могла бы быть им не только воспринята, но и максимально упростила бы работу по формированию вывода.

Далее, при выборе способа представления задачи необходимо определить ее тип. Логичным было бы на этапе разработки прототипа системы выделить три типа задачи, например, задача на вскрытие запасов шахтного поля, задача на выбор схемы и способа подготовки и задача на выбор системы разработки. При этом необходимо иметь в виду, что все перечисленные задачи взаимосвязаны, и

решение каждой из них в отдельности должно сопровождаться учетом решения последующих задач.

Перед тем как приступить к решению задачи ее необходимо описать. В самых общих чертах описание конкретной задачи P любого из перечисленных выше типов автор предлагает осуществлять путем представления задачи как набора исходных элементов $(p_1; p_2; p_3; \dots; p_n)$. Первый p_1 элемент этой задачи по сути является логическим символом ее типа: то есть задача выбрать схему вскрытия, задача выбрать систему разработки и т.д.

Элемент p_2 – представляет собой набор утверждений $(f_1; f_2; f_3; \dots; f_n)$, которые называются посылками задачи. Посылки являются перечислением априори известных ограничений на рассматриваемые в задаче объекты. При выборе, например, схемы вскрытия такими посылками будут являться горно-геологические условия разработки (число пластов, углы падения и глубина залегания) и, возможно, принятая схема деления шахтного поля на части, если такая задача решалась на предыдущем этапе. Если в задаче фигурирует такой объект как «наклонный ствол» или «схема вскрытия наклонными стволами», то естественным ограничением будет посылка, указывающая на мощность наносных отложений, угол падения и т.д. При отсутствии какой-либо информации посылка оставляется пустой. Но в целом список посылок, конечно же, не может быть пустым, потому что если никаких исходных данных в систему не вводится, то любое решение решателем будет приниматься как равновозможное. По сути, посылки вводят определенный перечень объектов, предполагаемых к рассмотрению системой. Если такие объекты определяются неоднозначно, то при поиске ситуации необходимо осуществить перебор всех возможных вариантов.

Элемент p_3 представляет собой набор целых неотрицательных чисел $(a_1; a_2; a_3; \dots; a_n)$, которые называются весами посылок. Вес посылки представляет собой числовой коэффициент, приписываемый данной посылке и указывающий на ее приоритетность при решении задачи. При этом чем меньше вес посылки, тем больший приоритет она будет иметь. Это связано с самой структурой данных, используемых для представления знаний – число посылки

соответствует ее уровню в «дереве решений», следовательно, чем меньше уровень, тем более значимой является посылка. Например, размер шахтного поля по падению будет иметь большее значение, чем число пластов в шахтном поле. Следовательно, первая посылка в структуре «дерева решений» будет располагаться выше и иметь меньший вес (соответствующий номеру уровня), но большую приоритетность. Вес посылки выполняет функцию переключателя, управляющего вниманием решателя при просмотре каждого конкретного факта. При решении разных типов задач приоритетность каждой конкретной посылки, и следовательно, ее вес, может изменяться.

Элемент p_4 состоит из множества $(M_1; M_2; M_3; \dots; M_n; M_0)$, где каждый элемент M_n при $n \neq 0$ является набором комментариев к n -ной посылке, а M_0 есть набор комментариев ко всей задаче. Необходимость ввода этого элемента в структуру экспертной системы объясняется тем фактом, что экспертная система (в отличие, например, от нейронных сетей) предоставляет пользователю возможность просмотреть весь процесс логического вывода и принять решение о его целесообразности, а также проверить, почему были отвергнуты те или иные пути решения задачи. Комментарии представляют собой технические данные, вводимые самим решателем в процессе работы. В первую очередь, это пометки о ранее предпринимавшихся попытках решения данной задачи, необходимые для блокировки такого пути решения при повторном просмотре задачи. Во вторую очередь, они несут ценную информацию для пользователя. В исходной ситуации до начала решения задачи множество M_n является пустым.

Элемент p_5 является набором целевых установок задачи. Целевая установка определяется списком целей задачи. С технической точки зрения целевая установка определяет процесс логического вывода и алгоритм работы решателя, т.е. указанные в задаче цели управляют процессом достижения интересующих пользователя следствий из известных посылок задачи. В рамках проектирования, например, схемы вскрытия запасов шахтного поля можно выделить несколько целевых установок решения данной задачи:

- обеспечение минимальных капитальных затрат на строительство;

- минимальные сроки строительства горного предприятия;
- минимальный объем горнопроходческих работ;
- обеспечение производственной мощности шахты с учетом ее роста в дальнейшем;
- а также ряд других целей.

Цели задачи также могут быть дополнительными, т.е. направленными на оптимизацию уже решенной задачи. Примером такой задачи может служить обеспечение доступа к уклонной части шахтного поля, когда вскрытие месторождения уже произведено и необходимо осуществить вскрытие нового участка с сохранением и использованием уже проведенных вскрывающих выработок.

Цели задачи представляются либо логическим символом, либо набором логических символов:

$$(\gamma; A_1; A_2; \dots; A_n), \quad (24)$$

где γ – символ заголовка цели, A – некоторые объекты, которые являются целью задачи.

Такова основная структура данных для представления задачи. Вышеизложенный перечень элементов не претендует на полноту и однозначность. Впоследствии при развитии системы возможно появление новых типов задач и уточнение уже описанных, что может потребовать внесения новых элементов в структуру описания задачи.

В результате работы программы в зависимости от целевых установок происходит постепенное, пошаговое решение задачи, которое заключается переборе и срабатывании отдельных правил и методов. В результате исходная задача P преобразуется в некоторую новую задачу P' . При исчерпании решателем средств для решения задачи P , в качестве ответа выдается задача P' . Важно понимать, что полученный ответ не является решением ввиду недостаточного объема базы знаний. Он представляет собой некоторую новую задачу, очевидно, более простую, чем исходная. Процесс работы решателя прерывается, когда исчерпывается набор правил для ее решения. Строго с научной точки зрения

такой ответ является фикцией, однако ввиду недостаточно обширной базы знаний система может выполнить только частичное решение задачи, предоставив пользователю завершить работу. Сегодня такая практика является весьма распространенной для экспертных систем.

Здесь же следует отметить, что, как было сказано выше, большинство определений в области горного дела являются нечеткими, даже сама постановка задачи, например, «выбор схемы вскрытия шахтного поля применительно к заданным горно-геологическим условиям» является в высокой степени нечеткой. Если целевой установкой задачи является обеспечение минимальных капитальных вложений в строительство шахты, система может принять решение, что проведение вскрывающих выработок до верхней границы шахтного поля может оказаться достаточным, ведь противоречия ключевому понятию «вскрытие» в этом случае не будет. Однако, такая схема вскрытия не позволит осуществить дальнейшее развитие горных работ и эффективно отработать запасы шахтного поля. Очевидно, что в таких условиях необходима формализация самого понятия «задача». По мнению автора, под задачей, например, выбора схемы вскрытия шахтного поля следует понимать следующее: сочетание некоторого строгого условия о допустимости ответа с целевыми установками на оптимизацию этого ответа, учитываемыми по мере возможности.

1.6. Анализ методов управления горнотехническими системами

На основе прогнозирования развития технологии подземной добычи угля установлено два направления развития управления горнотехническими системами: «стихийное» и целенаправленное. Сущность первого заключается в постепенной передаче функций человека техническим средствам. Соответствующий ему эволюционный процесс отличается высокой инерционностью, что приводит к запаздыванию реакций системы на изменение природных и социально-экономических условий.

Второе направление предусматривает использование особенностей горного производства непосредственно для организации развивающейся технологической системы, обладающей совокупностью оптимальных свойств.

За последние годы достигнут значительный прогресс в использовании «модельного» подхода к решению задач развития топливно-энергетического комплекса. Эффективность применения оптимизационного моделирования обуславливается возможностью ускорения комплексной оценки многочисленных вариантов развития объектов производственного комплекса и, прежде всего, угольной промышленности. Исходной информацией для моделирования являются изменения условий производства в угольной промышленности и потребления энергоресурсов в других отраслях.

В процессе разработки моделей для прогноза развития отдельной отрасли возникает противоречие между стремлением повысить возможности по оптимизации и достоверности плановых расчетов путем их централизации, расширения моделируемой области и детализации учитываемых показателей и между стремлением обеспечить реализацию моделей в приемлемые сроки при ограниченных исследовательских, информационных и вычислительных возможностях. Первое влечет за собой усложнение моделей, второе - их упрощение. При одностороннем подходе разрабатывались модели большой сложности (до нескольких тысяч уравнений и до 10 тысяч переменных) или производилось существенное упрощение моделей, что вызывало неадекватность описания топливно-энергетического комплекса (ТЭК).

Анализ литературных источников показывает, что необходимо разработать иерархическую систему взаимосвязанных моделей разных уровней. Их применение может обеспечить последовательную детализацию моделирования объектов ТЭК. Иерархическая система моделей прогнозирования базируется на выделении следующих подсистем: по административным уровням; по временному признаку планирования (прогнозирование, перспективное планирование, текущее технико-экономическое планирование и оперативное планирование); по степени дифференциации объектов ТЭК и детализации

учитываемых параметров и показателей.

Система моделей для оптимизации топливно-энергетического баланса входит в подсистему автоматизированной системы плановых расчетов (АСПР) и должна иметь в качестве отраслевого продолжения соответствующую подсистему. Пока такая подсистема отсутствует.

Для отраслевого прогнозирования развития ТЭК, а именно, угольной промышленности, основная цель заключается в обеспечении необходимых объемов добычи угля с учетом эффективного использования имеющихся и планируемых производственных ресурсов. Комплексные проекты перспективного развития угольных бассейнов с учетом реальных темпов технического прогресса и временного цикла изменений основных условий производства должны охватывать период не менее 15 лет.

Лимиты инвестиций в развитие угольной промышленности и каждого бассейна определяются на этапе оптимизации топливно-энергетического баланса и предусматриваются в госбюджете на определенный период. На этом же этапе обосновываются будущие потребности в углях конкретного бассейна в целом и по важнейшим маркам в частности.

Важнейшие задачи подсистемы отраслевого прогнозирования в составе АСПР: расчет детерминированных со стохастической составляющей экономически оптимальных производственных мощностей шахт и разрезов в бассейне в качестве базы для планирования объемов добычи угля на перспективу; обоснование выбора участков для строительства новых шахт; установление рациональной очередности и соотношения объемов реконструируемых и вновь строящихся шахт и разрезов; обоснование на перспективу качества принимаемых в проектах технологических решений и оптимальных вариантов совершенствования горных машин в пределах того или иного угольного бассейна; определение необходимых производственных мощностей обслуживающих и вспомогательных производств в бассейне; расчет необходимых производственных мощностей шахт, строительных организаций; разработка баланса необходимых производственных ресурсов для намеченного

объема работ; прогноз изменения основных технико-экономических показателей по бассейну и группам шахт и разрезов; формирование нормативной базы [36, 39, 66, 154, 156, 223].

Все эти задачи являются первоочередными в подсистеме прогноза, и по мере разработки для промышленного счета будут уточняться по перечню и вызывать появление новых задач.

Для разработки прогнозных планов в целях сопоставимости экономических показателей требуется единая нормативная база. Такая база должна включаться в состав комплексной системы норм и нормативов, которая в свою очередь разрабатывается и входит в состав автоматизированной системы по отрасли, как специализированная подсистема. Состав информации по нормам расходования и хранения производственных ресурсов должен быть дополнен технико-экономическими показателями по различным вариантам прогнозного развития бассейнов, шахт и разрезов. Таким образом, прогнозирование развития угольной промышленности методически и организационно должно быть увязано с моделями оптимизации топливно-энергетического баланса страны путем информационного и алгоритмического сопряжения АСПР и отраслевой автоматизированной системы с включением в ее состав нормативной базы для отраслевого прогнозирования. В настоящее время все исходные данные для создания подобной АСПР имеются, но находятся в различных базах данных, в различных программных продуктах, представленными на рынке программного обеспечения для горного дела десятками тысяч.

В этой связи ведутся серьезные работы по созданию автоматизированных систем управления для различных уровней иерархий экономики государства, обеспечивая целенаправленный переход на цифровую экономику.

В угольной промышленности наиболее широко разрабатываются автоматизированные системы управления (АСУ) для группы предприятий, фирм или холдингов.

Одним из аспектов функционального назначения в АСУ предусматривается оптимизация разрабатываемых планов. Для решения задач оптимального

планирования необходимо построение общей экономико-математической модели на уровне угольной компании как органа управления группой шахт.

Однако построение такой единой комплексной модели, в которой отражались бы все аспекты деятельности группы шахт, представляет собой нереальную на данном этапе задачу ввиду большой ее сложности. Поэтому деятельность фирмы целесообразно описывать комплексом различных взаимосвязанных моделей, что и реализовано во всех современных системах автоматизированного проектирования.

В соответствии с этим в составе систем автоматизированного проектирования можно выделить отдельные функциональные звенья, которые принято называть подсистемами, где решались бы эти задачи.

Так как любому виду планирования и управления должно предшествовать прогнозирование, то одними из самых важных являются задачи, связанные с прогнозированием технико-экономического развития угольной компании, являющего собой большую систему. Для эффективного решения таких задач необходимо создать аппарат прогнозирования, представляющий собой комплекс взаимосвязанных методов, образующих подсистему прогнозирования.

На входе подсистемы прогнозирования находится подсистема анализа, а на выходе - подсистема планирования. Таким образом, результаты прогнозирования должны использоваться непосредственно для целей планирования.

Аппарат научного прогнозирования, необходимый для создания подсистемы прогнозирования в рамках системы автоматизированного проектирования, к сожалению, находится в настоящее время в стадии первых разработок, в то время как некоторые подсистемы доведены до внедрения или частичного внедрения.

Известно, что для получения более точной и научно обоснованной информации о будущем необходимо осуществлять непрерывное прогнозирование развития любой системы. Однако прогнозирование в настоящее время в угольной промышленности осуществляется эпизодически и носит, скорее всего, познавательный характер. В этой связи особую значимость имеют комплексные

исследования по созданию аппарата непрерывного прогнозирования для решения задач в системах автоматизированного проектирования угольных компаний.

Такого рода аппарат должен представлять постоянно функционирующую подсистему. Эта подсистема должна быть неотъемлемым функциональным звеном автоматизированной системы управления угольной компанией. В синтезируемой подсистеме прогнозирования необходимо решать следующие задачи:

- формирование из массива данных, вырабатываемых подсистемой учета, рабочего подмножества информации, при этом информация об обратной связи (коррекции) поступает по этому же каналу;
- выбор метода однофакторного прогнозирования, получение оптимального прогноза и оценка его точности;
- разработка оптимального многофакторного прогноза;
- разработка эвристического прогноза и генерация эвристических критериев для однофакторного и многофакторного прогнозов;
- разработка прогнозов для разной категории планирования (оперативного, текущего и перспективного);
- формирование прогнозной информации в виде, приемлемом для планирования и ее хранения.

Таким образом, подсистема прогнозирования должна быть синтезирована из специальных функциональных блоков, состоящих из стандартных машинных программ анализа и корректировки исходной информации, переработки ее в прогнозную информацию, хранения и передачи прогнозной информации в подсистему планирования.

Функциональными блоками системы автоматизированного проектирования (САПР) угольной компании являются:

1. Блок исходной информации.
2. Блок многофакторного прогнозирования.
3. Блок однофакторного прогнозирования.
4. Блок эвристического прогнозирования.

5. Блок прогнозної інформації.

В рамках підсистеми прогнозування спеціальне математичне забезпечення САПР, як правило, має в першому наближенні програми однофакторного, багатофакторного і евристичного прогнозів, різних параметрів (технічних, технологічних) і техніко-економічних показателів функціонування вугільної компанії і її шахт. Необхідним умовою ефективного функціонування підсистем прогнозування є наявність комп'ютерних програм формування вихідних даних в підсистемах обліку і аналізу для наступного прогнозування. Так як всі розрахунки по прогнозуванню повинні виконуватися на ЕВМ, то необхідно об'єднання перерахованих програм по вищевикладеним алгоритмам в єдиному інформаційному просторі. Головною вимогою для об'єднання програм є їх сумісність для безпосередньої стыковки.

В цілях забезпечення автоматизації процесу прогнозування важливе значення мають питання кодування і декодування інформації, а також пропускна здатність інформаційних каналів і об'єм оперативної і довготривалої пам'яті носіїв інформації.

Свою найбільшу ефективність підсистема прогнозування проявляє тільки при умові стійкого функціонування всіх підсистем САПР, здійснюючи при цьому ефективне наукове планування і управління процесами виробництва вугледобуви.

Сучасні вугільні шахти і, тим більше, компанії є складними динамічними системами, вихідні показателі функціонування яких формуються під впливом різноманітності вхідних параметрів. Характер розвитку останніх з часом, структурні зміщення в напрямку змін їх впливу на вихідні показателі, а також цілий ряд інших особливостей, урахунок яких необхідні в процесі прийняття рішень при визначенні перспектив розвитку гірничого підприємства або їх об'єднань.

Достатня ступінь обґрунтованості такого роду рішень може бути досягнута тільки лише на основі використання результатів прогнозних

разработок, осуществляемых с определенной частотой в строгой последовательности их выполнения. Иными словами, прогнозирование должно вестись в рамках некоторой системы, состоящей из иерархий подсистем, функции которых различны, но при наличии соподчиненности между ними.

Структурные принципы формирования системы прогнозирования характеристик горного производства базируются на основе стандартного программного обеспечения, предлагаемого известными производителями.

Так, подсистема геологических прогнозов как структурный элемент системы прогнозирования предназначена для альтернативной оценки изменения природных факторов, определяющих собой степень сложности условий ведения горных работ и перспективы использования средств механизации последних. Особенности условий залегания угольных пластов определяют собой и различие решаемых при прогнозировании задач. Так, применительно, например, к Подмосковному бассейну в комплекс задач входит прогнозирование мощности и гипсометрии пласта, а также степени раскарстованности месторождения. Для условий же Донецкого бассейна и аналогичных ему угольных районов наряду с прогнозированием мощности пластов необходимо выявление разрывных нарушений с последующей прогнозной оценкой силы каждого нарушения, что в итоге позволит принимать обоснованные решения в отношении возможности и целесообразности перехода нарушений.

Геологические прогнозы подобного рода осуществляются с использованием данных разведочного бурения и на основе информации, получаемой при ведении горных работ. В качестве программного обеспечения используются современные горно-геологические информационные системы (ГГИС).

Периодичность геологических прогнозов определяется частотой разработки прогнозов в других подсистемах.

В рамках подсистемы прогнозирования характеристик средств механизации горных работ осуществляется прогнозирование выходных характеристик оборудования, применяемого при ведении очистных, проходческих и транспортных работ. Основной прогнозируемой характеристикой технических

средств является их производительность. Прогнозирование данного количественного параметра, как правило, осуществляется с использованием методов параметрического прогнозирования.

Качественные характеристики средств механизации горных работ устанавливаются при среднесрочном и долгосрочном прогнозировании путем привлечения соответствующих качественных методов (экспертных оценок и др.).

Разумеется, прогнозное обоснование характеристик средств механизации должно быть увязано с результатами прогнозирования условий залегания угольных пластов, что в первую очередь относится к проходческой и очистной технике. Качественные же характеристики транспортных средств в основном определяются гипсометрией почвы пластов.

Сущность подсистемы прогнозирования технологических особенностей ведения горных работ состоит в том, что качественные параметры технологических схем горных работ (особенности вскрытия и подготовки новых горизонтов, порядок и схемы отработки выемочных участков, способы поддержания горных выработок и т.д.) прогнозируются в тесной увязке с геологическими прогнозами и результатами прогнозных разработок применительно к средствам механизации производственных процессов. Наиболее приемлемыми методами прогнозирования в этих случаях являются методы экспертных оценок, огибающих кривых, распознавания образов. При этом следует иметь в виду, что периодичность и, следовательно, целесообразность подобных прогнозных разработок прежде всего определяются глубиной прогнозирования, которая, по всей видимости, должна быть не менее пяти лет, т.к. нет необходимости в прогнозировании на меньшую глубину.

Подсистема технико-экономических прогнозов предназначена для получения прогнозных результатов основных выходных показателей функционирования шахты или производственного объединения. Подсистема делится на три функциональных элемента (блока): блок многофакторного моделирования, блоки однофакторного и многофакторного прогнозирования.

В блоке многофакторного моделирования осуществляется разработка

моделей технико-экономических показателей. Входными параметрами при моделировании служат характеристики горно-геологической ситуации, средств механизации горных работ, горнотехнические параметры. Основными методами многофакторного моделирования являются методы факторного и регрессионного анализа.

Блок однофакторного прогнозирования предназначен для получения прогнозов как выходного показателя предприятия или объединения, так и каждого оказывающего формирующее воздействие на уровень показателя (критерия многофакторной модели). При этом используются методы параметрического (количественного) прогнозирования, в частности методы трендов, авторегрессии, экспоненциального сглаживания, гармонических весов.

Многофакторное прогнозирование параметров и показателей эффективности ведения горных работ, выполняемое в соответствующем блоке, базируется на использовании разработанных в первом блоке многофакторных моделей и результатов однофакторного прогнозирования.

Таким образом, разработка многофакторных прогнозов является собой заключительную и основную фазу реализации алгоритма системного прогнозирования в современных САПР угольных предприятий.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный автором анализ стратегий развития и государственного управления горным производством показал, что при позиционировании недропользования как одного из основных направлений федеральной энергетической политики на первый план выходит задача централизации управления государственным фондом недр уже на проектном уровне, что способствует формированию набора нормативных требований и показателей оценки качества проектов освоения георесурсов на основе управляющих недрами факторов, а также обеспечит наиболее рациональное и комплексное освоение недр и их охрану.

2. Для обеспечения качественного автоматизированного проектирования угольных шахт как сложных и динамично развивающихся во времени и в пространстве объектов необходима разработка единой научно-методической базы, реализующей прогностические возможности модельного представления изменения условий функционирования горного предприятия в течение всего периода времени, определенного проектом, не только с учетом особенностей залегания угольных пластов и запасов полезного ископаемого, но и в целях выявления наиболее удачных тенденций развития технологии угледобычи, а также с учетом появления качественно новых видов горной техники.

3. Анализ методической базы моделирования месторождений полезных ископаемых и технологий горных работ свидетельствует о необходимости использования для анализа больших массивов цифровых данных интеллектуальных систем, необходимых для перехода к автоматизации процесса технологического моделирования и процедуры обоснования и принятия проектных решений.

4. При поэтапном проектировании развития шахты наиболее приемлемой формой прогнозирования является горнотехническое моделирование, которое возможно лишь при комплексном использовании целого ряда научных методов, как правило, дополняющих (а не отменяющих) друг друга, что позволяет бороться со статическим характером проектной информации.

5. Необходим пересмотр методического подхода к прогнозированию горно-геологических данных в 3D-моделях месторождений полезных ископаемых с последующим автоматизированным формированием рациональных технологических схем отработки запасов шахтных полей. Существующие механизмы подсчета и оценки запасов в современных горно-геологических информационных системах следует увязывать с соответствующими задачами проектирования горных предприятий.

6. Разработку интеллектуальных систем в горном деле следует начинать на стадии проектно-изыскательских работ с последующим внедрением ее элементов на стадии проектирования и с соответствующим дополнением информационной

базы при эксплуатации шахты. Такие интеллектуальные программы, по всей видимости, ввиду ограниченности базы знаний не будут решать задачи за специалиста, но могут давать ему рекомендации по ее решению или существенно упрощать, сводя к минимуму объем необходимой для принятия решения информации.

7. На основе прогнозирования развития технологии подземной добычи угля наблюдается тенденция постепенной передачи функций человека при руководстве горнотехническими системами автоматизированным системам управления на основе использования интеллектуальных технологий, что требует создания единого информационного пространства.

8. Обоснована цель диссертации, определен круг задач исследований и методы их реализации.

2. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ

2.1. Общие положения

Проектирование сложных объектов, каковым является горнотехническая система, осуществляется с помощью декомпозиции на определенное число иерархически связанных уровней, которые характеризуются увеличивающейся сверху вниз величиной детализации проектных решений. От сложности проектируемой системы, а также необходимой величины детализации проектных информационных моделей зависят виды и число уровней.

При анализе направлений повышения результативности проектирования горнотехнических систем угольных шахт было выявлено, что в настоящее время наиболее эффективным способом комплексного повышения качества проектов может служить реализация перманентного формирования баз данных и баз знаний, обеспечивающих в автоматизированном режиме осуществление выбора (поиска) прогрессивных вариантов пространственно-планировочных решений по освоению георесурсов угольных месторождений, а также объективную поддержку и корректировку реализуемых проектных решений при выявлении изменений горно-геологических и горнотехнических условий. В диссертации предлагается решение этой задачи посредством формирования единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт.

2.2. Методологические основы автоматизированного анализа горно-геологических характеристик угольных месторождений

В настоящее время анализ горно-геологических характеристик, в основном, выполняется с использованием компьютерной техники и на ее основе, что значительно облегчает этот трудоемкий и многокомпонентный процесс, позволяя значительно упростить и сократить время выполнения многочисленных рутинных операций по первичной обработке, табулированию и контролю данных наблюдений. В итоге это позволяет иметь возможность вносить новые данные, контролировать их и корректировать, реализовывать многие варианты различных действий.

Особенно эффективным является применение для целей анализа горно-геологических характеристик автоматизированных систем и пакетов, что обеспечивает получение дополнительной информации за счет более детальной обработки исходных данных. Этому способствует применение специальных способов анализа горно-геологических характеристик, основанных на методах множественной корреляции, сглаживания или нелинейной аппроксимации наблюдаемых значений геологоразведочных данных [29, 70, 71].

Автоматизированный анализ горно-геологических характеристик базируется на основе создания банков данных (первичных, промежуточных и итоговых) с результатами анализов рядовых, групповых, минералогических и мономинеральных проб, испытаний технических и технологических проб, координат местоположения разведочных выработок, данных об искривлении скважин, маркшейдерских измерений и др. Ведение банков данных в электронном виде не исключает ведения записей первичных данных на бумажных носителях, которые должны тщательно сверяться. Банки данных служат основой для всех последующих вычислений и трансформаций, в том числе для прогнозирования горно-геологических характеристик месторождений полезных ископаемых [15].

Задача прогнозирования горно-геологических характеристик при освоении георесурсов угольных месторождений имеет целью выявление детальной структуры угленосной формации как статистического объекта недр с кондиционными запасами и определение планируемого при добыче качественного угля в определенном объеме.

Достоверность результатов прогнозирования, реализуемого на основе использования количественных методов, представляется возможным подтвердить только «вскрытыми» генетическими закономерностями. Итоги количественных прогнозов необходимо проверять на основе качественной геологической интерпретации, не противоречащей общим концепциям о генетическом строении месторождения [172]. Однако для выполнения качественных геологических построений иногда (как основа) используется количественный прогноз. Поэтому решающее значение при прогнозировании горно-геологической характеристики в «пространстве» модели имеет единство качественных и количественных оценок.

Особенность строения угольных месторождений состоит в наличии толщи полезного ископаемого, характеризующейся стратифицированной структурой, значительной неоднородностью и пространственной изменчивостью природных свойств, сложной гипсометрией и значительной нарушенностью угольных пластов.

Горно-геологические условия разработки угольных пластов оцениваются совокупностью факторов природной среды, которые влияют на технологию ведения горных работ. В связи с большим числом рассматриваемых факторов формирование полной характеристики горно-геологических условий представляется достаточно сложной задачей, успешность решения которой проявляется при построении 3D-моделей угольных месторождений, требующих оцифровку горно-геологических условий разработки полезного ископаемого и их природных свойств.

Представление геологического строения залежи посредством сочетания множества геометрических фигур различной формы позволяет оценить объемы и свойства полезного ископаемого. В настоящее время для представления горно-

геологических характеристик угольных месторождений используются цифровые трехмерные модели. Для представления исходных данных (набора координат точек X, Y, Z) и метода их описания при построении цифровых моделей требуются определенные вычисления, позволяющие восстанавливать поверхность путем аппроксимации или интерполяции данных ввода. Цифровое моделирование месторождений подразделяется (по подходу к представлению данных) на два типа: каркасное и блочное. Если первый тип, иногда называемый геометрическим, выполняется без интерполирования, то второй основан главным образом на интерполировании геохарактеристик в блоках. Блочная модель строится посредством заполнения каркасов угольных тел, либо по результатам стохастической имитации кондиций. Геологические объекты при каркасном моделировании задаются комплексами векторных линий, представляющих контуры границ, многоугольники или полигоны, а для трехмерного пространства – многогранники или полиэдры. Однако принимая во внимание необходимость учета предполагаемого способа ведения горных работ, можно с должным основанием утверждать, что при моделировании дискретных процессов горного производства наиболее предпочтительной является именно блочная модель месторождения.

Все пространство месторождения при блочном моделировании разбивается воображаемой решеткой на блоки, для каждого из которых в узлах решетки путем математической обработки значений исходных точек опробования вычисляются прогнозные значения геологических характеристик. На Рисунке 5 представлена двумерная решетка (или регулярная сеть) данных, которую возможно формализовать в виде комплекса воображаемых параллельных линий, частично пересекающихся с исходными точками данных.

Таким образом, в основу цифровых трехмерных моделей заложены методы прогнозирования (количественные), основанные на математическом моделировании горно-геологических характеристик (горно-геометрическом, блочно-каркасном, регрессионном, стохастическом и т.д.), а также определении функциональных закономерностей распределения прогнозируемых

характеристик во вмещающей толще пород. Прогнозирование, в понятиях теории

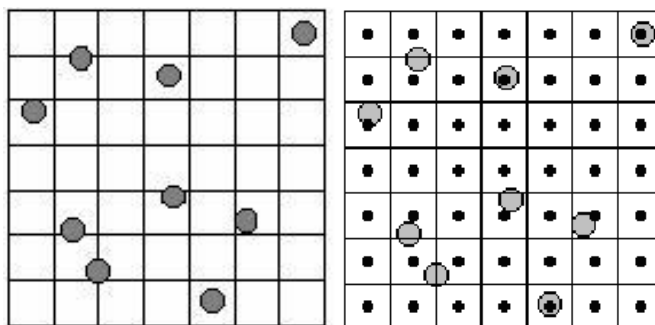


Рисунок 5 - Формализация горно-геологических характеристик регулярными узлами сетки из исходных рассеянных точек данных

случайных функций, являет собой оценку с помощью математических методов аппроксимации, интерполяции и экстраполяции среднего значения случайной функции в пределах некоторой области в пространстве или во времени.

Имеется целый ряд методов прогнозирования горно-геологических характеристик месторождений полезных ископаемых, основными из которых, нашедших наиболее широкое применение в практике автоматизированного анализа, являются следующие: полигональный метод; метод обратных расстояний (inverse distance weighted или IDW); обычный (ординарный) кригинг (ordinary kriging или ОК); многоиндикаторный (или полииндикаторный) кригинг (multiple indicator kriging или МІК); условная симуляция.

Полигональный метод достаточно прост и может применяться как при регулярной, так и нерегулярной сети опробования. Глобальные значения тоннажа и содержания (по всему месторождению), определенные с помощью полигонального метода, являются довольно надежными. При полигональном методе содержание компонента в точке, где опробование не проводилось, принимается равным значению содержания в близлежащей пробе (то есть оценочное значение в блоке представляет собой линейную комбинацию взвешенных значений). При этом основной вес приписывается близлежащей пробе (коэффициент взвешивания для близлежащей пробы равен 1, для других

проб — 0). Тем не менее, при сравнении с другими методами оценок, в случае локальной оценки содержания, обнаруживаются значительные ошибки: при полигональном методе происходит сглаживание содержаний пропорционально длине разреза или объему блока, что ведет к завышению содержаний и занижению тоннажа.

Метод обратных расстояний (IDW) позволяет получить достаточно хорошие результаты при равномерной разведочной сети. Значительным преимуществом метода перед полигональной оценкой является то, что он способен учитывать анизотропию распределения интерполируемого компонента. Основным недостатком этого метода является невозможность применения при работе с неравномерной разведочной сетью. В этом случае осуществляют разработку стратегии поиска и применение специального процесса декластирования, направленного на разгруппирование массивов соседних проб.

Обычный (ординарный) кригинг (ОК) включает построение вероятностной модели исходных данных и расчета среднего квадратичного отклонения ошибок определения и дисперсии этих ошибок. Коэффициенты взвешивания выбираются таким образом, что средняя ошибка оценки по модели будет равна 0, а смоделированная дисперсия ошибок определений сведена к минимуму. Методу свойственны преимущества предыдущих двух методов. При обычном кригинге учитывается два важных аспекта проблемы оценки: расстояние до точки оценки и кластеризация, которые существенно зависят от качественного состояния базы данных и понимания генетических особенностей природы минерализации. Метод учитывает не только анизотропию распределения интерполируемого компонента, но и его статистические характеристики.

Многоиндикаторный кригинг (МІК) оправдывает себя на объектах, где генетическая природа минерализации до конца не понята, а проведение геологической интерпретации вручную связано со значительными затратами на реализацию крупномасштабного дополнительного бурения или проведения горных выработок. При многоиндикаторном кригинге возможна одновременная интерполяция нескольких выборок (популяций) компонента. Использование

многоиндикаторного кригинга включает в себя расчет и моделирование индикаторных вариограмм (вариограмм трансформированных данных) при серии бортовых содержаний, определяемых статистически по графикам накопленной частоты и другим параметрам. Использование этого приема диктуется тем, что непрерывность содержаний может изменяться при различных бортовых содержаниях.

Разновидностью многоиндикаторного кригинга является медианный кригинг. При использовании этого метода вариограммы моделируются только для одного бортового содержания - медианы. Однако в последнем случае вариограммы при других бортовых содержаниях должны быть близки к модели, полученной по медиане. Главным достоинством использования многоиндикаторного кригинга является его непараметричность, возможность разделения выборок содержаний и возможность работы с сильно асимметричными базами данных. Он широко используется в горной промышленности применительно к различным видам месторождений полезных ископаемых. Основными недостатками метода являются проблема отношения упорядочения данных, громоздкость построений многочисленных вариограмм при целом наборе бортовых содержаний и относительная трудоемкость определения истинного распределения.

Условная симуляция отличается от полигонального метода и методов кригинга характером получения значений содержаний в точках между известными пробами. Симуляция является стохастическим методом, при котором возможно сгенерировать любое количество альтернативных наборов значений и получить серии равновероятностных значений, называемых реализациями или образами рудного тела. Эти образы характеризуют статистическую и пространственную изменчивость рудного тела или месторождения. Условная симуляция является специфическим методом, при котором реальные пробы (точнее их местоположение и содержание) используются при создании различных образов. Путем комбинации набора симулированных моделей определяется вероятностное значение содержания в каждой отдельно взятой

точке. Симулированные модели имитируют реальные закономерности распределения содержаний.

Доминантным фактором проведения любой оценки ресурсов и подсчета запасов является понимание геологического строения и генезиса месторождения, иначе подсчет запасов превращается в математическое упражнение, которое не имеет практического смысла. Также важно перед выбором методики компьютерной оценки или способа подсчета запасов, а на заключительной стадии и классификации запасов, провести оценку качества и количества проведенных геологоразведочных работ (оценку риска) и их геологической интерпретации. Эти факторы являются фундаментом дальнейшей работы.

Из ряда методов оценки ресурсов и (или) подсчета запасов необходимо выбрать наиболее подходящий для данной геологической ситуации и последующей разработки месторождения, руководствуясь следующими основными принципами выбора метода подсчета запасов.

Полигональный метод в должной мере подходит для оценки маломощных жильных рудных тел. Оценка сводится к простой процедуре взвешивания содержания на мощность рудного тела.

Метод интерполяции обратно пропорционально степени расстояния (IDW) наиболее подходит для месторождений, где наблюдается четкий структурный контроль оруденения, а также для тех случаев, где разбивка на домены проводится только по геологическим критериям.

Обычный кригинг можно применять практически в любой геологической ситуации, если наблюдается четкая закономерность в распределении содержаний и трехмерном пространстве (вариография). Рекомендуются также любую оценку, проведенную методом кригинга, заверять IDW-методом для контроля. Успешными примерами применения метода обычного кригинга являются месторождения вкрапленных руд, кор выветривания, стратиформные месторождения, некоторые гидротермально-метасоматические, медно-порфировые и скарновые месторождения, месторождения в зеленокаменных поясах, железистых кварцитов и алмазов. Для месторождений, где наблюдается

высокий эффект самородка, применение обычного кригинга становится бессмысленным.

Трудоемкий метод многоиндикаторного кригинга оправдывает свое применение на метасоматических месторождениях, где факторы рудоконтроля известны, но устанавливаются лишь в общих чертах, а геологические границы устанавливаются только по данным опробования. Геологическая интерпретация на таких месторождениях многовариантна и чрезвычайно трудоемка.

Перечисленные методы целесообразно применять на стадии разработки предварительного и полного технико-экономического обоснования. Для оперативного применения (при оценке риска) на стадии эксплуатации месторождения лучше использовать метод условной симуляции. Обычным является применение нескольких методов оценки применительно к одному и тому же месторождению, когда оцениваются, например, разные минеральные и генетические типы руд или различные геологические типы минерализации.

Наиболее распространенными в современных горно-геологических информационных системах являются методы прогнозирования горно-геологических характеристик, применяющиеся в настоящее время для 3D-интерполяции: обратных расстояний и метод Кригинга.

Метод обратных расстояний основан на гипотезе, что на значение некоторого элемента интерполяционной поверхности оказывают влияние, в основном, значения ближайших рассеянных точек данных, а значения в удаленных точках данных оказывают влияние в меньшей степени. Поверхность интерполяции представляет собой взвешенное среднее значение в точках данных, а приписываемый каждой рассеянной точке весовой коэффициент обратно пропорционален расстоянию от узла интерполяции до данной рассеянной точки. Данный метод не позволяет выявить структуру варьирования признака, он может осуществить только точную интерполяцию.

Согласно методу IDW уравнение взвешенной интерполяции представляется следующим образом:

$$g = f(x, y, z) = \sum_{i=1}^n w_i g_i, \quad (25)$$

где n – число исходных неупорядоченных точек множества; g_i – значение исследуемой характеристики в исходных неупорядоченных точках; w_i – приписываемые каждой неупорядоченной точке весовые коэффициенты функции.

Формула классической весовой функции имеет вид:

$$w_i = \frac{R_i^{-p}}{\sum_{i=1}^n R_i^{-p}}, \quad (26)$$

где R_i – расстояние от узла интерполяции до неупорядоченной точки; p – называемое степенным параметром (обычно $p = 2$) некоторое положительное вещественное число.

Отличие 3D-версии интерполяции методом IDW заключается в том, что для узловых функций уравнения дополнительно включают компоненту Z . 3D-уравнения для метода обратных расстояний идентичны 2D-уравнениям, а расстояния между точками вычисляются по формуле:

$$R_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}, \quad (27)$$

где (x, y, z) – координаты прогнозирования точки и (x_i, y_i, z_i) – координаты каждой из неупорядоченных точек.

Метод IDW не позволяет оценить ошибку интерполяции, что является существенным его недостатком, а также имеет плохую чувствительность к присутствию экстремальных значений в исходных данных.

Метод Кригинга является методом геостатистической интерполяции, который назван в честь горного инженера Д. Криге из Южной Африки, разработавшего эту методику с целью повышения точности оценки запасов. В настоящее время кригинг стал одним из фундаментальных инструментов в области геостатистики. При реализации метода Кригинга сначала рассчитываются вариограммы (значения пространственной статистики) для направлений регулярных лагов, заданных в пространстве, а затем производится аппроксимация математической функцией (экспоненциальной, сферической и т.п.) экспериментальной вариограммы.

Общим недостатком рассмотренных методов интерполяции следует считать поведение их в окрестности точки, которое определяет их поведение в целом. То

есть, если прогнозируемый показатель по-разному ведет себя на разных участках месторождения, например, на одном участке постоянен, а затем значительно убывает или возрастает, то использование интерполяционных многочленов должных результатов не дает. Чтобы избавиться от подобных проблем автором диссертации предлагается пользоваться сплайнами.

Сплайны часто используются в компьютерной графике для построения криволинейных поверхностей или кривых линии, поэтому достаточно легко с их помощью производить реконструкцию 3D-поверхностей по исходным горно-геологическим данным. С целью повышения качества трехмерного моделирования месторождения в качестве интерполяционной функции следует использовать сплайн-функции, которые позволяют обеспечить наиболее приемлемые результаты моделирования горно-геологических условий разработки угольных пластов [3].

Таким образом, с помощью применения сплайн-функции можно решить две актуальные задачи: наиболее полно описать динамику геоструктур в исследуемой углевмещающей толще выемочного участка и произвести реконструкцию 3D-поверхностей постоянного уровня распределений этих геоструктур.

Восстанавливаемая непрерывная функция $\gamma(\bar{t}), t = (x, y)$, согласно этому методу, имеет вид:

$$\gamma(\bar{t}) = \sum_{K=1}^N b_K G_{M,2}(\bar{t} - \bar{t}_1, \dots, \bar{t} - \bar{t}_M) + \sum_{K=1}^{ii} b_{N+K} \prod_{l=1}^2 t^{-L,l,K}, \quad (28)$$

где b_K - коэффициент сплайн-функции;

b_{N+K} - коэффициенты полинома степени M ;

$ii = \frac{(2+M-1)!}{2(M-1)}$ - число коэффициентов полинома двух переменных степени M ;

$G_{M,2}$ - функция Грина для двумерной поверхности:

$$G_{M,2} = \left(\sum_{i=1}^2 t_i^2 \right)^{M-1} \ln \left(\sum_{i=1}^2 t_i^2 \right). \quad (29)$$

Для целей структуризации информации в базах данных вся

стратиграфическая толща горного массива в границах выемочного участка представляется совокупностью угольных пластов S_Y и толщ междупластья S_M :

$$S: S_Y \cdot S_M. \quad (30)$$

В свою очередь угольные пласты описываются совокупностью угольных пачек S_{YP} , породных прослоев S_{PP} , вмещающих пород S_{VP} , «ложной» кровли S_{LK} , непосредственной кровли S_{NK} и основной кровли S_{OK} :

$$S_Y: S_{YP} \cdot S_{PP} \cdot S_{VP} \cdot S_{LK} \cdot S_{NK} \cdot S_{OK}. \quad (31)$$

Каждый слой S_K , ($k = 1, a$) толщи состоит из совокупности j -того количества литотипов, $S_K \in L_j, j = \overline{1, b}$, которые в свою очередь имеют i -тое число природных факторов, свойств (P).

Вместе с тем в реальных условиях встречаются резкие изменения гипсометрии и конфигурации слоев толщи S_K и нарушение их целостности тектоническими проявлениями.

Вследствие этого не представляется возможным описать природные свойства в целом по пласту функцией одного вида. Поэтому слой S_K включает в себя некоторое множество регионов R, то есть $S_K \in R_v, v = \overline{1, d}$, и аппроксимирующие функции каждого k -того природного свойства восстанавливаются по регионам R.

Тогда характеризующий показатель свойств угольного пласта в границах выемочного участка представляется суммой функциональных зависимостей природных свойств P

$$S = \sum_{K=1}^a \sum_{V=1}^d \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^c P_{KVji}. \quad (32)$$

Аппроксимация изменчивости природных факторов производится по данным геологоразведочных скважин. Сеть их образует нерегулярную сетку с закрепленными в D (x,y) узлами (скважинами) и показателями их природных свойств. Вследствие этого модель i -го показателя представляет собой

функциональную зависимость $P_i = f(x, y)$.

Предлагаемое представление геологической информации позволяет создать компьютерную систему, состоящую из нескольких тысяч функциональных зависимостей, наиболее полно описывающих динамику природных характеристик исследуемой углеводородной толщи [188].

Существует еще одна задача автоматизированного анализа горно-геологических характеристик, имеющая важное значение в практике принятия технологических решений при проектировании угольных шахт: необходимость зонирования, или кластеризации запасов в цифровых 3D-моделях месторождений полезных ископаемых.

Главной причиной, усложняющей выбор технологического решения по отработке запасов угольных пластов, является большое разнообразие горно-геологических условий, так как разработка угольных пластов осуществляется при более сложных, чем ранее, горно-геологических условиях, что связано с углублением ведения горных работ, что в свою очередь сопровождается снижением нагрузки на очистной забой и ростом затрат на проведение и поддержание участковых выработок, переходом на отработку запасов более тонких пластов, а также пластов со значительной тектонической нарушенностью, трудноуправляемой кровлей.

Практика принятия технологических решений, реализуемых на угольных шахтах высокого технико-экономического уровня, подтверждает недостаток автоматизации обоснования геологических, горнотехнических и геометрических характеристик участков месторождений, пригодных для подземной отработки запасов. Как правило, такие геологические участки представлены различными структурами (геоструктурами), для отработки запасов которых требуется применение технологий, адаптивных к условиям залегания.

Таким образом, геоструктура характеризуется как совокупность заданных признаков, основными из которых являются отсутствие изменчивости горно-геологических и горнотехнических условий, а также возможность отработки запасов по определенной технологии (монотехнологии) [63]. При

проектировании решение технологических задач таких, как выбор схемы вскрытия запасов, выполнения рациональной раскройки шахтного поля, обоснование системы разработки пластов, выполняются специалистами-экспертами. Следовательно, задача создания программно-алгоритмического обеспечения автоматизированной визуализации трехмерных распределений горно-геологических данных, кластеризованных по технологическим признакам в 3D-модели угольного месторождения, в настоящее время также остается достаточно актуальной.

Решение поставленной задачи, по мнению автора, должно осуществляться на базе современных методов интеллектуального анализа данных, успешно справляющихся с решением задач кластеризации. Основными методами интеллектуального анализа данных являются: иерархическая кластеризация, агломеративный алгоритм, алгоритм k -средних, сеть с нечеткой самоорганизацией k -средних, самоорганизующаяся сеть Кохонена [100, 105].

При иерархической кластеризации формируется иерархия кластеров в виде древовидной структуры – дендрограммы. «Корень дерева» состоит из единственного кластера, который содержит все наблюдения, а «листья» представляют индивидуальные наблюдения. Критерием объединения или разделения наблюдений между кластерами может быть определенная функция, например, попарных расстояний между наблюдениями. К достоинствам данного метода относятся высокое качество кластеризации и нетребуемое априорное указание числа кластеров.

Алгоритм k -средних осуществляет автоматическую кластеризацию объектов, причем число кластеров k заранее известно. Вначале произвольно выбираются k объектов, которые считаются центрами кластеров. Остальные объекты группируются вокруг этих кластеров, если находятся ближе к ним, чем к остальным. Если из объектов какого-либо кластера определяется новый центр - остальные объекты снова распределяются по кластерам уже новых центров. После того как центры кластеров больше не изменяются, то есть остаются закрепленными за теми же самыми объектами, алгоритм прекращает

работу. К достоинствам данного метода следует отнести скорость и простоту реализации, а к недостаткам - необходимость заранее устанавливать количество кластеров.

Сеть Кохонена состоит из нейронов и используется для автоматической кластеризации многомерных данных, а также их визуализации. В узлы двумерной решетки помещаются нейроны, каждый из которых обладает своим весовым вектором. Входной набор данных представляет собой векторы, предъявляемые сети в случайном порядке. Далее осуществляется поиск для каждого из входных наборов данных такого весового вектора какого-либо нейрона, евклидово расстояние между которыми минимально. Весовые векторы соседних нейронов из решетки сети по правилу Кохонена адаптируются вместе с найденным весовым вектором. Если входной набор данных подан несколько раз на вход сети, и на этом наборе сеть прошла обучение, входные весовые векторы становятся расположенными вокруг других весовых векторов, образующих центры кластеров. Из-за того, что изначально сеть организована в виде двумерной решетки, ее нейроны и значения их весовых векторов можно графически представить в виде карт Кохонена – так называемых карт-раскрасок, содержащих цветные области. К достоинствам самоорганизующихся сетей Кохонена можно отнести автоматическую кластеризацию данных, визуализацию распределений многомерных данных на двумерной карте, а также неконтролируемое обучение. Недостатком является сложность определения метрики, при помощи которой вычисляется расстояние между векторами данных.

Алгоритм кластеризации сети с нечеткой самоорганизацией k -средних работает аналогично четкому алгоритму k -средних. Отличие в том, что каждый вектор имеет степень принадлежности к кластерам, а не принадлежит полностью только одному кластеру. Таким образом, векторы на границах кластеров могут принадлежать кластеру в меньшей степени, чем векторы, близкие к центру кластера. Достоинствами алгоритма являются гарантированная сходимость к глобальному минимуму и быстрота процесса обучения. К недостаткам метода следует отнести необходимость установления заранее количества кластеров как

константу, а также то, что возрастает сложность реализации за счет применения аппарата нечеткой логики.

Следовательно, самоорганизующиеся сети Кохонена являются наиболее работоспособным методом для решения задачи автоматизированного выделения геоструктур, т.к. их отличительная черта - это неуправляемый (автоматический) процесс работы с данными, называемый обучением. Сеть обучается понимать структуру данных, что дает возможность пользователю выявлять кластеры в имеющейся информации. Встретив наблюдение, отличное от известных образцов, сеть не сможет его классифицировать, и, тем самым, выделит его новизну, то есть создаст новый кластер. К тому же, возможность визуализации многомерных данных при использовании 3D-модели месторождения делает преимущественным выбор именно этой методики.

2.3. Обоснование целесообразности создания банка эталонных горнотехнических моделей при переходе к визуальному интерактивному 3D-проектированию

В связи с ориентацией российской и зарубежной угольной промышленности на интенсификацию и концентрацию горного производства резко повышаются требования к качеству проектных решений по ритмичному и безопасному освоению георесурсного потенциала угольных месторождений. Проектные решения, реализуемые в производственной практике, должны соответствовать мировым тенденциям и содержать в себе последние достижения в области науки и техники, что позволит позиционировать их как инновационные и прогрессивные.

Однако методическая база проектирования горнотехнических систем далеко не всегда отвечает вышеизложенным требованиям. Анализ результатов научных исследований и практики интенсивного и рационального освоения георесурсного потенциала угольных месторождений показывает, что в настоящее время одними из основных задач совершенствования научно-методической базы синтеза

технологических систем являются обеспечение обоснованности и достоверности определения технико-экономических показателей функционирования предприятий, оптимизация проектных решений и автоматизация на этапе проектирования и управления производством. Учитывая сроки службы угледобывающих предприятий, на стадии проектирования достаточно сложно обосновать динамику горного производства и технико-экономические показатели их функционирования на весь период отработки запасов. Очевидно, что на стадии определения параметров технологической системы шахты проектные организации не располагают достаточной исходной информацией и не могут корректно обосновать рациональные проектные технологические решения. Это особенно важно в условиях значительного повышения уровней интенсификации и концентрации горных работ. При переходе к вариантам «шахта-лава» и «шахта-пласт», а также к безлюдным технологиям освоения георесурсов шахт технологические системы становятся все более высокопроизводительными и оснащаются интеллектуальными системами управления.

Отмеченные тенденции в проектировании горнотехнических систем нашли свое отражение при обосновании создания различных типовых альбомов технологических решений [248, 249]. Еще ранее подобная практика была закреплена на государственном уровне нормативно-методическим документом - альбомом технологических схем разработки пластов на угольных шахтах, который издавался еще в СССР в 1991 г. институтом горного дела им. А. А. Скочинского. В альбоме на основе анализа опыта отработки запасов угольных пластов в разных бассейнах и обобщения результатов исследований бассейновых институтов предлагался комплекс технико-технологических решений, внедрение которых обеспечивало экономически приемлемый для того времени уровень технико-экономических показателей для широкого диапазона горно-геологических условий: от весьма тонких до мощных пластов при углах залегания от 0 до 90°, разной газообильности выемочных участков и глубины разработки угольных пластов. Технологические схемы 1991 г. были разработаны по модульному принципу и содержали целый ряд прогрессивных для того

времени решений, которые использовались проектными организациями при синтезе горнотехнических систем.

Альбомы создавались экспертами высшей квалификации, опыт и знания которых несли в себе самые последние достижения в области проектирования горнотехнических систем [225]. Однако рекомендуемые проектные решения базировались на усредненных параметрах функционирования горнотехнической системы для обобщенных условий эксплуатации и не отражали динамику ведения горных работ в различных горно-геологических условиях [236, 279]. Имелись также проблемы с актуализацией альбомов, так как их необходимо было непрерывно пополнять новыми данными для сохранения руководящей роли при проектировании отработки запасов угля.

Проектным организациям приходилось синтезировать горнотехническую систему «с нуля», основываясь на типовых вариантах из альбома, а при изменении параметров проектного решения приходилось вручную производить все расчеты заново.

С внедрением САПР и ГГИС подготовка проектной документации значительно упростилась, однако процедура синтеза горнотехнической системы на основе выбранного типового проекта остается полностью неавтоматизированной.

В ряде зарубежных стран, ведущих интенсивную разработку угольных месторождений, реализуется новое направление обоснования принимаемых проектно-плановых решений, в основу которого положена концепция непрерывного проектирования шахт с момента ввода их в эксплуатацию до момента полной отработки запасов полезного ископаемого. Данный подход позволяет сформировать инновационные проектные решения в автоматизированном режиме, обеспечивая их адекватность в течение всего срока функционирования угледобывающего предприятия.

Проектные решения должны учитывать возникновение и развитие во времени сложных геомеханических и газодинамических процессов, которые имеют неопределенный, нелинейный и стохастический характер при ведении

горных работ.

При синтезе проектных решений необходимо использовать информационные технологии, учитывающие специфику условий освоения месторождения, опыт проектирования и отработки запасов угольных шахт, накопленный в процессе функционирования конкретного угледобывающего предприятия. Это позволит более объективно прогнозировать параметры и показатели функционирования высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт.

Как показали проведенные исследования, в течение последних лет уровень качества программного обеспечения, используемого при проектировании горных предприятий, значительно повысился. Развитие информационных технологий прошло путь от простых моделей месторождений для оценки тоннажа и содержаний полезных ископаемых до полностью компьютеризованных процессов проектирования горных предприятий, оптимизации их параметров, календарного планирования производства (Рисунок 6). Мощные горно-геологические программы используются при обосновании рациональных проектных решений и позволяют осуществить многовариантное проектирование с минимальными трудовыми затратами. В настоящее время наблюдается наличие волны интеграции информационных технологий, применяемых на горных предприятиях.

Следующим перспективным направлением совершенствования программного обеспечения ожидается переход к визуальному интерактивному 3D-моделированию с применением методов и средств искусственного интеллекта для анализа «больших» цифровых геоинформационных данных (геологических характеристик месторождений полезных ископаемых и др.), проектирования и управления технологическими процессами освоения недр.

Визуальное интерактивное 3D-моделирование использует компьютерные графические отображения для представления воздействия изменений внутренней и внешней сред освоения георесурсного потенциала угольных месторождений или различных управленческих решений на горнотехническую систему. Это

отличается от обычной 3D-графики, при задействовании которой пользователь не может вмешиваться в процесс принятия решений и видеть результаты этого вмешательства. Визуальная 3D-модель горнотехнической системы станет использоваться как неотъемлемая часть процесса принятия решений или управления горными работами, а не только как средство проектирования. Технически это представляется как отображение результатов различных решений



Рисунок 6 - Технические возможности информационных технологий при моделировании в сфере горного производства

в графической форме на экране компьютера или в виртуальном 3D-пространстве [299].

Визуальное интерактивное 3D-моделирование может представлять статические и динамические объекты и процессы. Статические модели представляют визуальный образ результата одного из альтернативных решений в определенный момент времени (при помощи компьютерных изображений несколько результатов могут быть отображены на одном экране). Динамические

модели представляют и отображают процессы горного производства, которые развиваются во времени.

Одной из наиболее перспективных областей в динамических моделях интерактивного 3D-моделирования является визуальная имитация. Это весьма важная технология, так как имитация считается главным подходом в системах поддержки принятия решений. Визуальная интерактивная имитация представляет собой отображение последствий изменений (горно-геологических условий освоения георесурсов, конъюнктуры рынка, управляющих воздействий на горнотехническую систему и т.д.), при которой конечный пользователь наблюдает развитие имитационной модели в анимационной форме с использованием графических представлений. Пользователь может взаимодействовать с имитационной моделью и проверять различные стратегии решения [152].

Переход к визуальному интерактивному 3D-моделированию при проектировании горнотехнических систем характеризуется следующими предпочтениями:

- основным документом позиционируется объемная компьютерная модель, а не чертеж или проект;
- модели можно передавать в системы инженерных расчетов, предназначенные для многостороннего анализа элементов горнотехнической системы: на функциональность, надежность, долговечность, устойчивость к горному давлению, управляемость, безопасность, ремонтпригодность, технологичность и т.д.;
- анализ виртуальных моделей позволяет проработать множество вариантов и выбрать оптимальное решение в автоматизированном режиме;
- с помощью объемных компьютерных моделей достаточно удобно разрабатывать интерактивную техническую и эксплуатационную документацию, маркетинговые материалы и презентации, а также модели систем управления безлюдными технологиями освоения запасов полезного ископаемого;

- технология визуального интерактивного 3D-моделирования обладает ассоциативностью. Стоит изменить параметры одного компонента в горнотехнической системе, как соответствующим образом изменятся параметры связанных с ней элементов. Причем эти перемены будут отражены на чертежах и в спецификациях при необходимости. В результате значительно сокращаются объем ручной работы и число ошибок, в то время как использование 2D-инструментов превращает внесение изменений в проект в довольно трудоемкий процесс;

- возможность многократного использования модели для создания целого семейства аналогичных объектов при наличии единого информационного пространства.

Следовательно, учитывая современные требования к проектам освоения георесурсного потенциала угольных месторождений и тенденции использования информационных технологий в проектировании горнотехнических систем, для проектирования угольных шахт необходимо применять инструменты прогнозирования технико-экономических показателей и параметров технологических мероприятий, реализуемых в течение всего периода отработки запасов. Именно поэтому одним из наиболее приоритетных направлений совершенствования методологической базы проектирования горных предприятий является развитие системного моделирования и автоматизированного синтеза технологических систем, что особенно важно при переходе к визуальному интерактивному 3D-моделированию [147, 148, 153].

Использование в практике проектирования горного предприятия надежного прогнозирования влияния изменений горно-геологических условий отработки запасов на его технико-экономические показатели возможно только при использовании качественно новых моделей горнотехнических систем. В результате этого с высокой степенью объективности прогнозируются возможные изменения в процессе всего периода интенсивного освоения георесурсного потенциала угольных месторождений [42, 45, 96, 120, 183, 222].

С целью совершенствования методологической базы проектирования

автором предлагается создание банка эталонных горнотехнических моделей для обеспечения перехода к визуальному интерактивному 3D-моделированию при проектировании угольных шахт. Эталонные горнотехнические модели должны содержать прогрессивные технологические решения и обладать функционалом прогнозирования эффективности производственных процессов в различных условиях функционирования горных предприятий.

Основными типами эталонных горнотехнических моделей являются: модели интеллектуального анализа и прогноза горно-геологических данных, модели горных машин и механизмов, модели выбора и обоснования проектных решений, модели динамики развития горных работ, модели систем управления горным производством, модели технологических схем отработки запасов.

Внедрение в практику автоматизированного проектирования банка эталонных горнотехнических моделей обеспечит соответствие проектных решений следующим требованиям:

- достаточная продуктивность технологии в целом, а также производительность ее отдельных производственных звеньев (подсистем);
- способность технологии обеспечить непрерывное выполнение основных комплексов рабочих процессов;
- высокие уровни концентрации и безопасности ведения горных работ;
- надежность горнотехнической системы угольной шахты;
- адаптивность горнотехнической системы актуальным тенденциям и направлениям развития научно-технического прогресса в отрасли, обеспечивающая высокий уровень инвестиционной привлекательности предприятия;
- невысокая трудоемкость освоения георесурсного потенциала угольных месторождений;
- экономически оправданный уровень потерь полезного ископаемого.

Банк эталонных горнотехнических моделей, созданный на базе использования передовых цифровых технологий при участии ведущих экспертов в области горного дела, позволит в режиме онлайн предоставить проектным

организациям современное методическое обеспечение проектных работ в электронном виде, а также обеспечит возможность автоматизации проведения государственной экспертизы проектов горнотехнических систем и профессионально ориентированное обучение специалистов горного профиля. Создание банка эталонных моделей позволит значительно сократить трудозатраты по синтезу новых горнотехнических систем, т.к. проектировщикам будет достаточно всего лишь адаптировать обоснованные эталонные модели к имеющимся условиям освоения месторождения полезного ископаемого в интерактивном 3D-режиме. Кроме того, для повышения результативности синтеза горнотехнических систем необходима разработка интерфейса интеллектуального поиска и вывода интересующей информации по эталонным моделям.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что создание банка эталонных горнотехнических моделей является актуальной для отрасли задачей и требует реализации ее в рамках единого стратегического подхода к повышению качества проектных решений применительно к предприятиям высокого технико-экономического уровня, обеспечивая прогнозную адекватность проектных решений на весь период рационального и безопасного освоения георесурсов угольных шахт.

2.4. Методические основы формирования критериальной базы оценки инновационных проектных решений

В условиях автоматизированного синтеза горнотехнических систем угольных шахт существует проблема определения уровня их эффективности, прогрессивности, экологичности и т.п., потому что качество синтеза горнотехнической системы полностью предопределяет эффективность проекта будущей шахты.

Сложность понятия эффективности горнотехнической системы определяется качественной разнородностью и взаимозависимостью

производственных систем шахты. Например, вентиляционная система непосредственно влияет на уровень качества ведения очистных работ, что, естественно, может привести к снижению уровня добычи угля, изменению транспортной системы или переопределить технологическую схему работы механизированного комплекса [214, 227]. Необходимо также учитывать тот факт, что при проектировании комплексов рабочих процессов, либо их отдельных составляющих, должно обеспечиваться условие соответствия требованиям системы в целом.

Функция цели, представленная обобщенным критерием прогрессивности, должна отвечать целому ряду требований при оценке горнотехнической системы, основными из которых являются:

- возможность измерения уровня прогрессивности и эффективности системы;
- качественное или количественное выражение оценок;
- полнота оценок;
- простота использования;
- возможность применения ее не только к составным частям, но и ко всей системе в целом.

К требованиям, которым должны удовлетворять показатели критериальной базы при оценке корректности синтеза горнотехнических систем угольных шахты, относятся:

- смысловая доступность каждого критерия для экспертов, оценивающих альтернативные варианты, и сотрудников, принимающих решения;
- полнота набора критериев, т.е. на критериальной системе, задаваемой для оценки множества альтернативных решений, не должно негативно сказываться расширение номенклатуры критериев, а также диапазонов их уровней;
- различия диапазонов значений оценок по каждому из критериев не должны быть излишне малыми, чтобы при назначении оценок исследуемым

объектам не было существенных трудностей. Однако в целях исключения высокой степени приближенности необходимо избегать значительных интервалов между значениями оценок.

При проектировании и оценке вводимых в эксплуатацию горнотехнических систем и действующих предприятий угольной промышленности достаточно часто принимают в качестве главных критериев эффективности производительность труда рабочего по добыче и затраты на 1 т добываемого полезного ископаемого. Производительность труда выступает одним из основных критериев оценки уровня технического прогресса на отраслевом уровне, что одновременно приводит к сокращению численности рабочего персонала и увеличению объемов добытого полезного ископаемого.

Для снижения себестоимости 1 т угля и повышения общей эффективности производства горнотехническая система должна предусматривать увеличение производительности труда при повышении концентрации горных работ и снижение трудозатрат.

Следует объективно констатировать, что оценка прогрессивности проектных решений по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений как на уровне отдельной горнотехнической системы, так и на уровне всей отрасли основывается на интуитивном подходе, однако для целей системного моделирования при автоматизированном проектировании достаточно обоснованно утверждать о необходимости выполнения следующих условий:

- обоснованный уровень полноты использования георесурсного потенциала месторождений полезных ископаемых;
- снижение объемов проведения и поддержания подземных горных выработок;
- обеспечение поточности и унификации транспортных систем;
- повышение уровня нагрузки на очистной забой;
- актуализированный технический уровень горных машин и механизмов, применение роботизированной техники;
- высокий уровень производительности труда;

- снижение себестоимости добычи полезных ископаемых;
- прогрессивный уровень системы проветривания горных выработок, локализация источников газовой выделения в границах выемочного участка;
- возможность интеллектуального управления горнотехническими системами;
- современный уровень прогнозирования развития горных работ, особенно в нарушенных зонах выемочных участков;
- технологичность выполнения работ монтажа-демонтажа горного оборудования;
- возможность выполнения технологических процессов при отсутствии в рабочих зонах обслуживающего персонала.

2.5. Разработка метода автоматизированного проектирования и управления горнотехническими системами в условиях роботизированной технологии отработки запасов полезных ископаемых

Особое место в решении проблем горного производства отводится созданию роботизированных технологий отработки запасов полезного ископаемого в границах горных отводов. Роботизированная технология добычи угля подземным способом представляет собой сложную развивающуюся систему, гибко приспосабливающуюся к изменяющимся условиям внутренней и внешней сред функционирования горных предприятий.

Робот с позиции теории автоматизированного управления может быть представлен как совокупность объекта управления, которым в данном случае являются исполнительные устройства робота, и системы управления, отвечающей за функционирование роботизированной технологии в пространстве, ассоциированном с геологической средой.

Методические основы создания систем управления роботизированной технологией добычи угля должны базироваться на алгоритмах информационной

и математической формализации прогрессивных технологических систем разработки и интерактивного их размещения в прогнозируемой горно-геологической среде.

В процессе эксплуатации роботизированной технологии формируется и пополняется база знаний о режимах ее функционирования, которая используется впоследствии для выработки решений по повышению надежности, эффективности и безопасности горного производства.

Все особенности геологической среды и характеристики функционирования автоматизированных средств управления роботизированной технологией должны быть представлены в специальном руководящем электронном документе, в качестве которого автором рекомендуется технологическая карта горнотехнической системы. Технологическая карта представляет собой информационную модель горнотехнической системы (или комплекс моделей ее подсистем), отражающую изменчивость среды функционирования роботизированной технологии, с указанием необходимости реализации корректирующих воздействий на нее с целью поддержания заданного режима функционирования. Технологическую карту возможно использовать для управления горнотехническими системами и в виде бумажного документа, форму которого необходимо разработать на основе исследований, проведенных ранее [90, 91, 97, 179, 180, 197, 231].

В связи с этим большую актуальность приобретает вопрос разработки научно-методического обеспечения составления и использования технологических карт с позиций системного управления горными работами с целью обеспечения повышения эффективности и ритмичности отработки запасов выемочных единиц в условиях перехода к технологиям безлюдного освоения запасов шахты в целом.

Исследования функционирования горнотехнических систем в различных горно-геологических условиях показывают, что процесс добычи угля как объект управления представляется весьма сложным. Необходимо выделить многомерность задачи, пространственную распределенность производственного

комплекса, нестационарность рабочих зон и стохастичность проявлений в первую очередь геомеханических и газодинамических процессов.

Горнотехническая система как объект управления характеризуется следующими особенностями:

- постоянное «развитие» в пространстве процессов горного производства, нестационарное размещение рабочих зон;
- многооперационные рабочие процессы взаимосвязаны во времени и могут быть представлены как дискретно, так и непрерывно;
- влияние природных условий на все рабочие процессы носит случайный характер;
- рабочие процессы, в основном, имеют высокую инерционность;
- повышенная опасность ведения горных работ в подземных условиях;
- необходимость непрерывно согласовывать работу различных по назначению и характеру функциональных элементов горнотехнической системы.

Качество функционирования очистных забоев в большой степени определяется горно-геологическими условиями эксплуатации. К тому же по мере совершенствования горной техники эта связь становится все более жесткой и «ценной». Следовательно, при управлении используется огромный объем информации, характеризующейся нечетким и неопределенным характером.

В системном управлении роботизированными технологиями освоения георесурсов должны быть заложены принципы заблаговременной оценки основных характеристик намеченного к отработке участка шахтного поля, углубленного прогноза горно-геологической обстановки, научно обоснованной актуализации режимов работы очистного оборудования, своевременного обоснования и выполнения мероприятий технологического характера. Решение этих задач обеспечивает значительное снижение уровня аварийности при ведении очистных работ и связанных с ним значений длительности непроизводительных простоев, снижение материальных затрат. Технологическая карта при отработке запасов рекомендуется для регламентирования управления производственными

процессами в очистном забое и призвана обеспечить целостность функционирования всей горнотехнической системы или отдельной ее подсистемы.

Формирование технологической карты выполняется проектировщиками и технически заключается в направленном поиске наиболее прогрессивных эталонных горнотехнических моделей по всем элементам технологии отработки запасов и адаптации их для условий 3D-модели участка месторождения. Подход к формированию технологической карты на основании использования эталонных горнотехнических моделей позволяет оценить ритмичность и безопасность интенсивной отработки запасов, обеспечивает прогнозирование в условиях нечеткой и неполной информации о производственном объекте.

Процесс формирования технологической карты как руководящего электронного документа при синтезе и управлении горнотехнической системой (подсистемой) осуществляется на этапе проектирования и включает:

- формирование требований к системе информации, включаемой в карту;
- разработку методики составления технологической карты;
- синтез модели горнотехнической системы (или комплекса моделей отдельных ее подсистем);
- апробацию технологической карты;
- разработку рекомендаций по практическому использованию технологической карты и направлений по ее совершенствованию.

Принцип формирования технологической карты основывается на комплексном моделировании всех ее композиционных элементов с целью создания и использования модели горнотехнической системы (подсистемы).

С понятием сложной системы связывают следующее:

- рассматриваемая система может быть расчленена на конечное число частей, называемых подсистемами. Каждая подсистема в свою очередь может быть разделена на более мелкие подсистемы до получения элементов, которые не подлежат дальнейшему расчленению;

- элементы сложной системы функционируют во взаимодействии, свойства одного элемента зависят от условий поведения других;
- свойства сложной системы в целом определяются не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между ними.

Рассмотрение изучаемой системы, состоящей из взаимодействующих элементов, построение модели горнотехнической системы (подсистемы) и исследование ее свойств на основе этой модели составляет сущность системного подхода при разработке технологических карт, который основывается на следующих принципах:

- определяются назначение системы, границы и круг решаемых задач, формулируются цели, которые необходимо достигнуть или к достижению которых надо стремиться, а также пути достижения целей, и формируются задачи, требующие первоочередного решения;
- система расчленяется на ряд подсистем таким образом, что в качестве каждой из этих подсистем фигурировали бы более или менее самостоятельные функциональные части системы. Определяется назначение каждой подсистемы. Устанавливаются связи между подсистемами. При расчленении каждая подсистема может быть рассмотрена независимо от функционирования других подсистем;
- каждая подсистема рассматривается самостоятельно, определяются ее свойства, характеристики и влияющие факторы. Реализуются процессы анализа и расчленения подсистемы с целью определения отдельных взаимосвязанных и взаимодействующих элементов;
- изучаются функционирование элементов и связи между ними. Определяются основные факторы, влияющие на функционирование элементов и дается количественная оценка их влияния. Проводятся исследования, цель которых на основе синтеза полученных результатов проследить и количественно оценить последствия влияния тех или иных факторов на функционирование как отдельных элементов и подсистем, так и всей системы в целом.

При управлении сложными системами основной задачей является количественная оценка последствий управляющих воздействий, оказанных на систему, с целью определения эффективности принимавшихся решений. Любое управляющее воздействие, последствия которого проявляются в будущем, принимается на основании того или иного способа предвидения (прогнозирования). И, следовательно, технологическая карта как система управляющих воздействий формируется на базе прогнозной информации о взаимодействии и связи элементов каждой из указанных подсистем.

Расчленение технологической карты на подсистемы не предопределяет их независимое использование при формировании карты.

В связи с указанным выше, синтез и управление горнотехническими системами для обеспечения эффективной и безопасной отработки запасов угольных месторождений без постоянного присутствия производственного персонала в рабочих зонах приобретает ключевое значение. Очевидно, что для успешного функционирования роботизированных горнотехнических систем и эффективного управления ими в условиях неполной и нечеткой информации необходима разработка моделей управления с элементами автономного адаптивного искусственного интеллекта, а также создание единого информационного пространства.

2.6. Научные основы формирования структуры единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

Автоматизированное проектирование горнотехнических систем в настоящее время развивается в достаточно тесной ассоциации с другими отраслями науки и техники, что требует от исследователя широкого научного кругозора.

Общая теоретическая база в области развития государственного управления недропользованием, прогнозирования, теории оптимального проектирования угольных шахт, геометризации и квалиметрии недр, горной информатики, оценки

запасов полезных ископаемых, а также методов искусственного интеллекта и моделирования систем формировалась под влиянием научных трудов таких ученых, как Агафонов В.В., Астахов А.С., Бахвалов Л.А., Борисов Д.Ф., Букринский В.А., Бурчаков А.С., Васильев А.А., Вилесов Г.И., Воробьев Б.М., Вылегжанин В.Н., Гвишиани Д.М., Гринько Н.К., Гудков В.И., Добров Г.М., Егоров П.В., Еремеев В.М., Еремин И.В., Ершов В.В., Жданов А.А., Звягин П.З., Зыков В.М., Каплунов Д.Р., Капралов Е.Г., Капустин Н.Г., Кафорин Л.А., Квон С.С., Килячков А.П., Клюкин Б.Д., Кохонен Т., Кошкарёв А.В., Кубрин С.С., Кузнецов Ю.Н., Малкин А.С., Малышев Ю.Н., Мельник В.В., Мельников Н.В., Миронов К.В., Михеев О.В., Норвиг П., Попов В.Н., Присяжнюк С.П., Рассел С., Резниченко С.С., Саламатин А.Г., Стариков А.В., Темкин И.О., Устинов М.И., Хайкин С., Харченко В.А., Чекалин С.И., Черемисина Е.Н., Шаклеин С.В., Шевяков Л.Д., Шек В.М., Яковлев С.А. и др. [5, 9, 12, 14, 18, 20, 23, 25, 28, 31, 34, 35, 38, 47, 50, 54, 55, 57, 61, 64, 65, 68, 69, 73, 74, 79, 84, 87, 89, 119, 123, 126, 129, 131, 140, 145, 149–151, 160, 161, 171, 191, 195, 196, 201, 208, 209, 216, 218–221]

К сожалению, следует констатировать, что вся имеющаяся в угледобывающей отрасли теоретическая основа сопровождения горных работ не обеспечена современной геоинформационной базой - фундаментом, который позволяет надежно функционировать единой отраслевой системе автоматизированного проектирования шахт. Формирование подобной базы обеспечивает интерактивное взаимодействие со многими отраслями знаний для разработки и сопровождения качественного проекта освоения георесурсного потенциала. Реализация идеи создания развивающегося проекта освоения георесурсного потенциала требует непрерывного прогнозирования развития техники и технологии добычи угля, учета изменения горно-геологических и горнотехнических условий ведения горных работ в течение всего срока освоения запасов месторождения или его отдельного участка [106, 189].

Отсутствие системного моделирования в областях проектирования, управления производственными комплексами, прогнозирования выходных

технико-экономических характеристик приводит к несоответствию проектных, планируемых и фактических показателей качества освоения георесурсов. Таким образом, актуализируется необходимость перехода на более совершенную систему проектирования, которая базируется не только на статичных проектах отработки запасов угля и производственных программах, но и на результатах прогнозирования изменений характеристик качества функционирования технологических звеньев горного производства.

Выполненный автором диссертации анализ направлений повышения эффективности автоматизированного проектирования горнотехнических систем свидетельствует о том, что в реальных условиях функционирования угледобывающей отрасли наиболее действенной мерой результативного управления качеством проектов является реализация комплексного подхода к перманентному формированию баз данных, знаний и экспертных систем, позволяющих в автоматизированном режиме осуществлять выбор (поиск) перспективных вариантов проектных решений по отработке запасов выемочных единиц с последующей объективной поддержкой и корректировкой их в соответствии с выявляемыми изменениями горно-геологических и горнотехнических условий ведения горных работ [41].

Центральное место в области автоматизации решения горно-геометрических задач и организации геоинформационного обеспечения в настоящее время занимает проблема создания цифровых моделей месторождений полезных ископаемых, обеспечивающих адекватное представление их качественных и количественных характеристик. Геометрическое описание и структура этих моделей реализуются в горно-геологических информационных системах (ГГИС), обеспечивающих решение задач недропользования [258–262]. В настоящее время на мировом рынке коммерческих компьютерных программ для горных предприятий работают десятки фирм, предлагающих более 1000 программных продуктов различного класса, предназначенных для построения 3D-моделей месторождений и автоматизации самых различных функций управления горным производством. Результаты исследований показали, что для

разработки проекта шахты современного уровня большая часть информации представлена в электронном виде, однако весь информационный массив разрознен и представлен в отдельных информационных системах [263, 264].

Автором установлено, что при разработке научно-методической базы синтеза горнотехнических моделей для угольных шахт [185] при автоматизированном проектировании имеет место целый ряд сложностей. В частности, это обусловлено отсутствием комплексной инфраструктурной поддержки и централизованного государственного управления освоением георесурсов, особенно в части технического регулирования. Актуализируется необходимость интеллектуального анализа больших объемов цифровых трехмерных данных о георесурсах России и мира, имеет место низкий уровень автоматизации проектирования горнотехнических систем в существующих ГГИС. Особую актуальность приобретает вопрос разработки инновационных проектных решений, адаптивных к специфике условий освоения георесурсного потенциала угольных шахт. К сожалению, оценка качества проектных решений инновационного уровня в основном реализуется с использованием морально устаревших методов [101].

Автором диссертации выполнен системный анализ государственного управления недропользованием, информационного обеспечения практики проектирования, оценки и отработки запасов полезных ископаемых, автоматизированного 3D-моделирования угольных месторождений, методов прогнозирования, а также синтеза прогрессивных технологических решений при освоении георесурсов, по результатам которого предложен вариант структуры единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов (Рисунок 7).

В структуре единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов выделяются три основные уровня: уровень управления горным производством, включающий одноименную

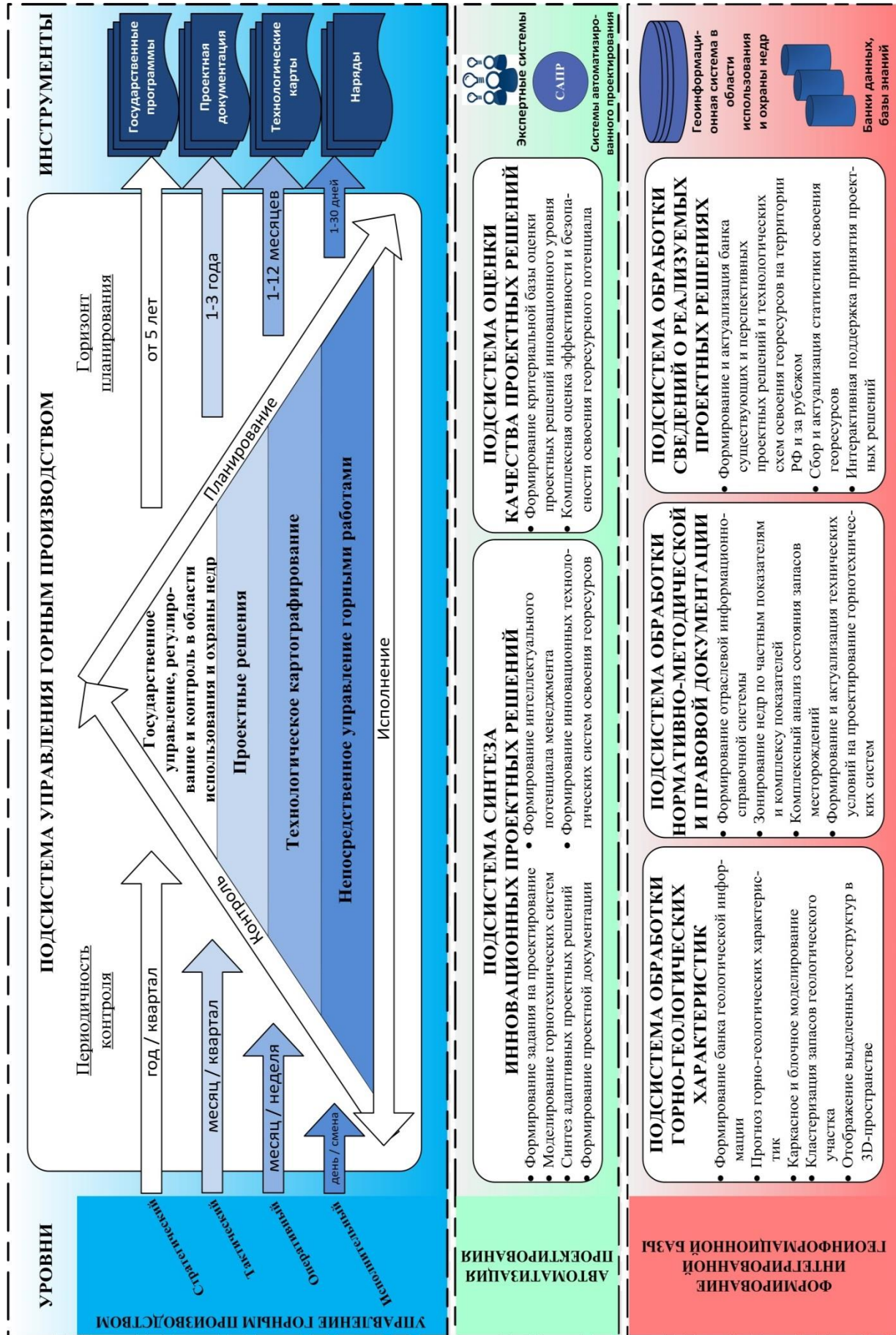


Рисунок 7 - Структура единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

подсистему, уровень автоматизации проектирования, включающий подсистемы синтеза и оценки качества проектных решений, и уровень формирования интегрированной геоинформационной базы, включающий подсистемы обработки горно-геологических характеристик, нормативно-методической и правовой документации, сведений о реализуемых проектных решениях [187].

На уровне формирования интегрированной геоинформационной базы применяются достаточно эффективные методы обработки и принципы интеллектуального анализа больших массивов геоданных, создаются и поддерживаются в актуальном состоянии тематические подборки регламентирующих документов, указатели российских и международных стандартов, профильный глоссарий для интерактивного изучения нормативной базы в процессе проектирования и согласования с ней проектных решений, а также обрабатываются сведения об апробации различных проектных решений в масштабе шахты, региона, Российской Федерации и на международном уровне.

Уровень автоматизации проектирования на основании достоверных знаний о количественных и качественных характеристиках запасов полезного ископаемого в границах лицензионного участка горного предприятия, интеллектуального анализа данных и возможности их привязки к нормативно-правовому обеспечению недропользования позволяет разрабатывать качественно новые модели горнотехнических систем и синтезировать инновационные проектные решения по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений. Кроме того, на данном уровне производится сравнительный анализ геологических и производственно-технических условий конкретного предприятия с условиями применимости заданных геотехнологий при обоснованной оценке эффективности их использования.

На уровне управления горным производством формируется законодательная база и обеспечивается комплексная инфраструктурная поддержка развития горнодобывающей промышленности путем государственного управления с задействованием регулирующих органов. Благодаря использованию специальных внутригосударственных инициатив на

уровне управления горным производством объединяются общественность, промышленность и правительство в направлении поиска инновационных технологий добычи и переработки полезных ископаемых, оказывающих минимальное воздействие на окружающую среду.

Каждый из предлагаемых уровней характеризуется достаточно сложной структурой, состоящей из функциональных подсистем.

Подсистема обработки горно-геологических характеристик направлена на решение одной из основных задач обеспечения автоматизированного проектирования горнотехнических систем - повышения достоверности исходных геоданных. Требуемый результат достигается за счет формирования единого банка геологической информации, применения функций прогнозирования горно-геологических характеристик, каркасного и блочного моделирования месторождений полезного ископаемого, кластеризации запасов геологических участков и отображения выделенных геоструктур в 3D-пространстве. Повышение надежности исходных геологических материалов существенно сказывается на качестве проектных решений по отработке запасов угольных месторождений и приводит к снижению уровня резервирования производственных возможностей технологических звеньев шахт [93, 98, 107].

Подсистема обработки нормативно-методической и правовой документации определяет, насколько корректно с технологической и правовой точек зрения будет выполнен проект шахты, обосновано стратегическое направление ее развития. Отсутствие постоянного обновления нормативной, правовой и методической документации может привести к принятию неверного проектного решения даже опытным специалистом. Отраслевая информационно-справочная система должна формироваться и оперативно пополняться из федеральных, региональных, административных и внутришахтных нормативных баз. Дальнейшая выборка документации, необходимой конкретному специалисту шахты, связанному с проектными работами, будет производиться по территориальному признаку и его отношению к конкретному виду деятельности. К функциям данной подсистемы также относятся зонирование недр по частным и

совокупным показателям, комплексный анализ состояния запасов месторождений, формирование и актуализация технических условий на проектирование горнотехнических систем [188].

Подсистема обработки сведений о реализуемых проектных решениях рекомендуется для формирования отраслевого банка данных и сбора статистической информации о существующих и перспективных проектных решениях по освоению георесурсного потенциала горных предприятий на территории РФ и за рубежом. Для повышения качества интерактивной поддержки принятия проектных решений необходимо создание системы интеллектуального поиска и вывода интересующей информации. Таковой можно считать базу знаний, содержащую определенные правила выбора и вывода информации.

Основными программными инструментами для уровня формирования интегрированной геоинформационной базы объективно выступают: геоинформационная система в области использования и охраны недр, при разработке которой необходимо предусматривать привязку ее объектов к «адресу» – территориальному признаку, что обеспечит выбор информации для обработки ее в автоматизированном режиме, а также тематические банки данных и базы знаний, хранящие в себе информацию с адресной привязкой к месторождению [282]. В целом указанный уровень предназначен для интерактивной поддержки всех этапов автоматизированного проектирования горнотехнических систем угольных шахт и управления горным производством, обеспечивая постоянную взаимосвязь с актуальным геологическим, нормативно-методическим, правовым и проектным информационным обеспечением в режиме реального времени [265–267, 287].

В рамках подсистемы синтеза инновационных проектных решений разрабатываются задания на проектирование горнотехнических систем и производится комплексное технологическое моделирование, на основании результатов которого обосновываются прогрессивные проектные решения и завершается формирование проектной документации. В качестве единого

стратегического подхода к реализации концепции перманентного проектирования на весь период отработки запасов полезных ископаемых необходимо повышение результативности использования инструментов проектирования освоения георесурсов в целях автоматизации машинного моделирования и реализации процесса принятия проектных решений.

Необходимо также формировать интеллектуальный потенциал менеджмента горнодобывающей отрасли, что в связи с учетом информационного развития общества приобретает все большее значение. Внедрение централизованного обучения работников в рамках всей их трудовой деятельности обеспечивает повышение индивидуального мастерства, создание общего профессионального видения, групповое поучение, формирование ментальных моделей личностного развития, системное мышление [7, 173, 246]. Немаловажной составляющей остается также формирование инновационных технологических систем освоения георесурсов на базе внедрения горных машин и технологий новых поколений: технологии непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support technologies или CALS-технологии), робототехнические комплексы, гибкие производственные системы, лазерные, плазменные, мембранные технологии.

Формирование критериальной базы оценки проектных решений инновационного уровня является основным назначением подсистемы оценки качества проектных решений. Оценка прогрессивности проектных решений по отработке запасов угля как в масштабах выемочного участка, так и всего угледобывающего предприятия, а также в целом по отрасли базируется на интуитивном подходе. Однако есть возможность достаточно обоснованно выделить ряд критериев, по которым можно объективно оценивать уровни эффективности и безопасности освоения георесурсного потенциала: полнота извлечения запасов полезных ископаемых, удельные объемы проведения и поддержания участковых выработок, современный уровень схем проветривания выемочных участков, однотипность участкового и магистрального транспорта,

уровень нагрузки на очистной забой, технический уровень средств комплексной механизации очистных и подготовительных работ, повышение производительности труда, минимизация себестоимости добычи полезного ископаемого, технический уровень производства монтажных-демонтажных работ, возможность ведения горных работ без постоянного присутствия производственного персонала в рабочих зонах [41, 108, 121, 174, 193, 199].

Инструментами уровня автоматизации проектирования выступают системы автоматизированного проектирования (САПР) различного отраслевого назначения (для инженерных расчетов, анализа и проверки проектных решений, выполнения графических работ, технологической подготовки производства, 3D-моделирования, управления производственной информацией, автоматизации планирования технологических процессов и другие), основу для использования которых предоставляют цифровые 3D-модели угольных месторождений, реализуемые в ГГИС, а также отраслевые и/или проблемно-ориентированные экспертные системы [298]. В целом данный уровень предназначен для поддержки горных компаний и проектных организаций при разработке и последующей государственной экспертизе проектов горнотехнических систем, в которых заложены современные пространственно-планировочные и технологические решения, обеспечивающие высокие нагрузки и скорости подвигания очистных забоев при должном уровне безопасности работ.

Подсистема управления горным производством предусмотрена для комплексной инфраструктурной поддержки централизованного управления недропользованием в масштабах государства. На стратегическом подуровне реализуются государственное управление, регулирование и контроль в области использования и охраны недр. Геологическую, гидрогеологическую, геофизическую, геохимическую и иную информацию о недрах и их ресурсном потенциале предписывается получать, обрабатывать, хранить и использовать по единой системе на всей территории государства. Эти виды информации необходимо фиксировать в материалах государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых, государственного баланса

запасов полезных ископаемых и иных видов георесурсов недр, материалах картирования, государственного учета, государственной регистрации и государственной статистической отчетности, что составит основу единой геоинформационной системы в области использования и охраны недр.

На тактическом подуровне предусматривается государственная экспертиза, формирование отчетности освоения георесурсов и надзор за реализацией проектных решений в области недропользования, обеспечивающие внедрение инновационных технологий в горнодобывающей отрасли.

На оперативном подуровне выполняется технологическое картографирование освоения георесурсов, что позволит обеспечить проектный уровень добычи полезного ископаемого посредством надежного прогнозирования изменений горно-геологических условий и их влияния на технико-экономические показатели функционирования горного производства. В результате этого с высокой степенью объективности моделируются возможные изменения в течение всего периода отработки запасов полезного ископаемого и своевременно корректируются технологические, организационные и ремонтно-профилактические мероприятия. На исполнительном подуровне необходимо разрабатывать и внедрять системы автономного адаптивного управления технологическими процессами горного производства, что позволит перейти к использованию многофункционального роботизированного горного оборудования [61, 291].

Инструментарий уровня управления горным производством определяется видом объектов управления и может представлять собой, в частности, законодательную базу, государственные программы, проектную документацию, технологические карты. Уровень управления горным производством призван обеспечить режим устойчивого развития недропользования в целях национальной безопасности и экономического могущества государства.

Предложенная структура единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт может быть использована при совершенствовании научно-методической базы автоматизированного

проектирования горнотехнических систем для повышения адаптивности пространственно-планировочных и технологических решений, а также для перехода к использованию многофункционального роботизированного горного оборудования, способного функционировать в автономном режиме при наличии централизованной системы управления горным производством [103, 293–295].

2.7. Основные методические принципы формирования виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

Для практической реализации сформулированных автором научно-методических основ формирования единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов предлагается создание виртуального пространства. Для этого необходимо создание множества моделей самых различных объектов и процессов внешних и внутренних сред функционирования предприятий горной промышленности, на основании которых актуализируется возможность синтеза эталонных горнотехнических моделей и технологических карт горнотехнических систем.

Для использования эталонных горнотехнических моделей на горном предприятии необходима их адаптация, которая осуществляется при формировании технологической карты. Технологическая карта использует эталонные модели горнотехнических систем, адаптированные к условиям функционирования конкретного угледобывающего предприятия, путем задания поправочных коэффициентов, настроек, позиционирования в 3D-пространстве модели месторождения полезного ископаемого и т.д.

Технологические карты выступают в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов в роли агрегирующего компонента для горнотехнических моделей и обрабатываемых участков месторождений полезных ископаемых,

представленных цифровыми 3D-моделями (Рисунок 8).

Для создания 3D-моделей месторождений полезных ископаемых в настоящее время наиболее перспективным вариантом представляется использование ГГИС. ГГИС позволяют построить каркасную модель месторождения на базе сети взаимосвязанных 3D-треугольников, представляющих собой поверхности горно-геологических объектов, а также создать 3D-блочную модель месторождения, представляющую собой массив элементарных ячеек (блоков), которые имеют форму параллелепипеда и содержат в себе различные характеристики объекта. Кроме того, ГГИС можно использовать для создания моделей отдельных технологических процессов, с формализацией которых они успешно «справляются» в настоящее время.

Остальные необходимые модели подключаются к виртуальному пространству единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов через механизмы интеграции, например, модели объектов инфраструктуры предприятия, экономические, геополитические, правовые, социальные и др.

При формировании виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов необходимо предусматривать ее территориально-распределенный характер с элементарными центрами обработки данных на уровне горнодобывающих предприятий, отраслевых и административных объектов. При этом должны быть отражены все имеющиеся уровни систем государственного управления, что позволит учитывать условия, характерные для каждого конкретного региона или ведомства. Кроме того, совместно с прогрессивными технологиями управления, основанными на корректной обработке постоянно меняющихся знаний об объекте, реализуется переход к применению автономных горнотехнических систем на базе безлюдных технологий горных работ.

В качестве интерфейса пользователей виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов предлагается использовать технологии виртуальной реальности,

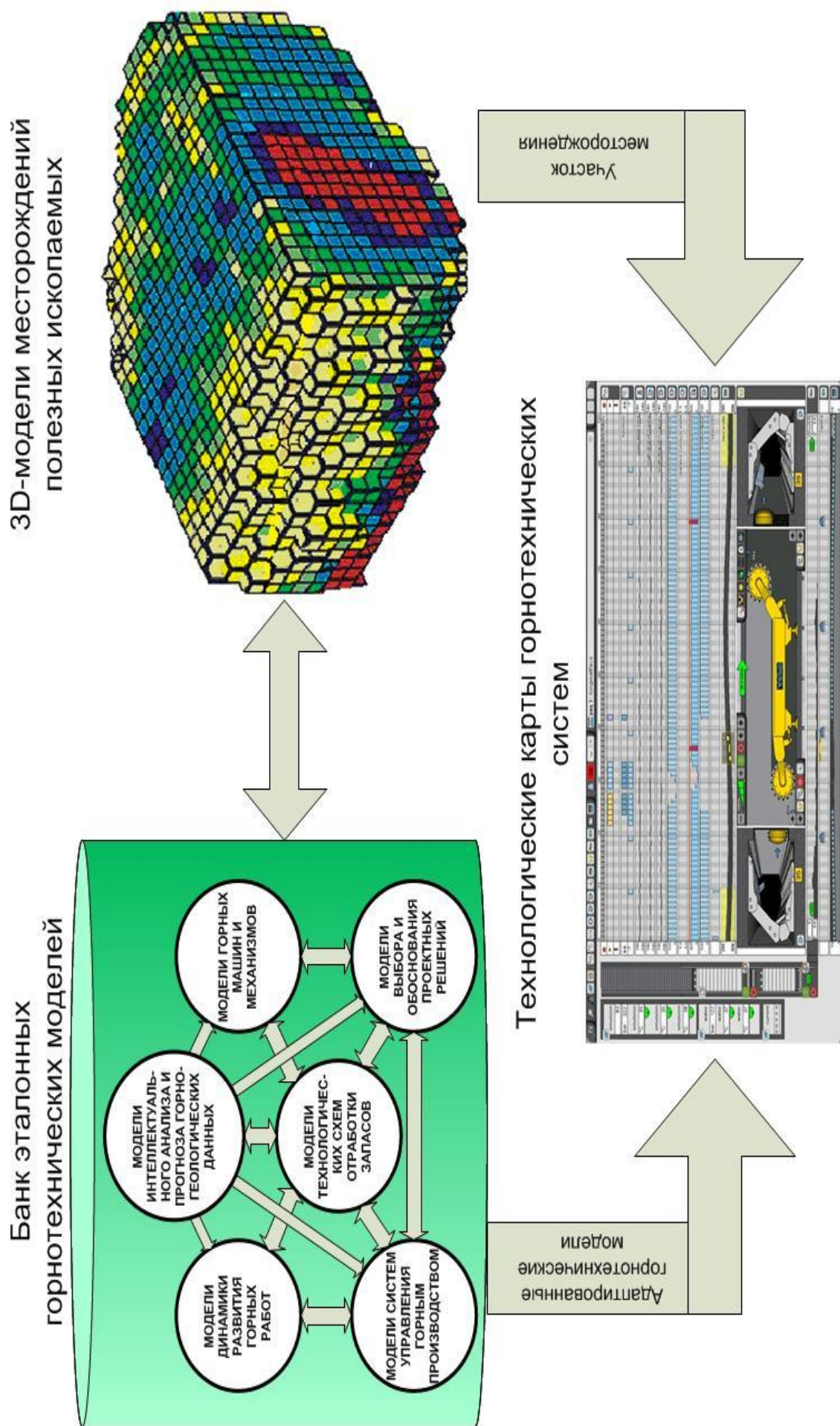


Рисунок 8 - Структура виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

которые представляют собой новый этап развития достаточно известных систем автоматизированного проектирования и моделирования.

Создание виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов находится на стыке различных научных направлений, предполагает анализ функционального взаимодействия различного рода механических, энергетических и информационных процессов между собой, а также с внешней средой, что обеспечит оперативное формирование наименее рискованных проектных решений на основе оценки их приемлемости в условиях неопределенности и нечеткости горно-геологической и горнотехнической информации, а также позволит разрабатывать горнотехнические системы с «разумным» поведением и недостижимыми ранее характеристиками.

Применение технологий виртуальной реальности позволяет, по мнению автора, резко повысить качество проектных решений, значительно снизить затраты времени и финансовых средств на их генерацию.

Технологии виртуальной реальности будут в первую очередь полезны в работе с большими массивами геологической информации при проектировании разработки месторождений полезных ископаемых, анализе геоданных, где цена ошибки может составлять миллионы долларов. 3D-стереоскопическая визуализация в настоящее время активно используется в фотограмметрии, дистанционном зондировании земли и решении других геоинформационных задач. Интуитивно понятное и объемное представление геологических данных дает возможность междисциплинарной группе специалистов оперативно усвоить информацию о месторождении, провести анализ и выработать оптимальное решение по освоению запасов данного месторождения. Помимо проектирования горнотехнических систем, коллективные центры виртуальной реальности являются, в частности, эффективным средством презентаций геологической информации и 3D-презентаций проектов компании для акционеров, инвесторов и общественности.

Результатом создания виртуального пространства единой отраслевой

системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов может оказаться пересмотр классической горной технологии, изменение взгляда на горные науки, перевод их на системный уровень, учитывающий сложность взаимосвязей между этапами проектирования, эксплуатации и завершения жизненного цикла горнотехнического объекта.

Разработанная автором диссертации процедура синтеза эталонных горнотехнических моделей отличается от традиционных подходов к построению моделей в горном деле тем, что позволяет реализовать информационную модель, корректно «работающую» в условиях нечеткой и неполной информации об объекте моделирования (Рисунок 9). Характерной особенностью данной процедуры синтеза является ее циклический (или итеративный) характер, который отражает современные требования к анализу и моделированию сложных систем.

В блоке №1 используются методы эвристических оценок, которые основываются на выявлении мнений экспертов о перспективах развития горнотехнической системы, для которой создается модель. Кроме того, в данном блоке осуществляется актуализация факторов перед синтезом модели, которая производится экспертным путем, что позволяет отобрать наиболее значимые из них для последующего включения в модель.

В блоке №2 осуществляется анализ статистических данных функционирования «подобных» горнотехнических систем, в частности, посредством анализа больших массивов данных методами искусственного интеллекта или экспертным путем, что позволит выявить закономерности в массиве статистических данных.

В блоке №3 определяются входные и выходные переменные модели.

В блоке №4 формируется математическая база моделирования, которая представляет собой формальное представление эмпирических знаний и знаний экспертов о горнотехнической системе.



Рисунок 9 - Процедура синтеза эталонных горнотехнических моделей при формировании виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

В блоках №5 и №6 производятся соответственно тестирование прототипа модели и реализация процесса его эксплуатации.

В качестве разновидностей банков данных, используемых для синтеза эталонных горнотехнических моделей, следует в первую очередь отметить следующие: банки горно-геологических данных, данные о горных машинах и механизмах, технологических, геомеханических, газодинамических и других процессов, а также данные об управлении горнотехническими системами.

Разработанные автором диссертации эталонные горнотехнические модели могут применяться в отдельных подсистемах и функциональных элементах единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов.

ВЫВОДЫ

1. В основу цифровых трехмерных моделей угольных месторождений заложены количественные методы прогнозирования, которые основаны на математическом моделировании геологических структур (блочном-каркасном, стохастическом, регрессионном, горно-геометрическом и т.д.) и выявлении функциональных закономерностей «размещения» прогнозируемых характеристик в горном массиве.

2. При переходе к анализу в автоматизированном режиме больших объемов горно-геологических данных задача выделения геоструктур угольных месторождений в 3D-моделях должна решаться с помощью современных методов искусственного интеллекта, наиболее рекомендуемым из которых является метод самоорганизующихся сетей Кохонена, так как отличительной его особенностью является автоматический (неуправляемый) процесс работы с данными, который осуществляет кластеризацию (зонирование) запасов для последующего обоснования вариантов технологии их отработки.

3. Создание банка эталонных горнотехнических моделей на основании системного моделирования и автоматизированного синтеза технологических систем обеспечит переход к визуальному интерактивному 3D-моделированию при проектировании конструктивных решений по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений. Эталонные горнотехнические модели должны содержать прогрессивные технологические решения и обладать функционалом прогнозирования эффективности производственных процессов в различных условиях эксплуатации горных предприятий. Для практической реализации эталонных горнотехнических моделей предлагается использовать процедуру их синтеза, корректно работающую в условиях нечеткой и неполной информации об объекте моделирования.

4. Оценка прогрессивности проектных решений по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений, как на уровне отдельной горнотехнической системы, так и на уровне всей отрасли осуществляется с использованием

индивидуального набора критериев, сформированного в результате системного моделирования на стадии автоматизированного проектирования.

5. Технологическая карта горнотехнической системы рекомендуется к использованию как регламентирующий электронный документ для эффективного управления в автоматизированном режиме рабочими процессами в очистной выработке и призвана обеспечить целостность функционирования всей горнотехнической системы или отдельной ее подсистемы, особенно при использовании роботизированных комплексов горного оборудования.

6. В целях совершенствования методической базы освоения георесурсного потенциала государства предложена структура единой отраслевой системы автоматизированного проектирования с адресно ориентированными уровнями формирования интегрированной геоинформационной базы, автоматизации проектирования и управления горным производством.

7. На основании анализа опыта функционирования мировой угледобывающей отрасли обоснованы функциональные подсистемы, рекомендуемые для включения в состав единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт.

8. Разработана структура виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт, основными компонентами которой выступают созданные в ГГИС цифровые 3D-модели месторождений полезных ископаемых, банк эталонных горнотехнических моделей и технологические карты горнотехнических систем.

9. Создание единого виртуального пространства предполагает формирование множества моделей самых различных объектов и процессов внешних и внутренних сред функционирования предприятий горной промышленности, на основании которых актуализируется возможность синтеза эталонных горнотехнических моделей и технологических карт горнотехнических систем. Создание виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

находится на стыке различных научных направлений. Создание такого пространства предполагает анализ функционального взаимодействия различного рода механических, энергетических и информационных процессов между собой, а также с внешней средой. Это обеспечит оперативное формирование наименее рискованных проектных решений на основе оценки их приемлемости в условиях неопределенности и нечеткости горно-геологической и горнотехнической информации, а также позволит разрабатывать горнотехнические системы с «разумным» поведением и недостижимыми ранее характеристиками.

3. МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАЛОННЫХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

3.1. Моделирование георесурсного потенциала угольных месторождений

Особенность моделирования георесурсного потенциала угольных месторождений заключается в необходимости выявления и графической интерпретации объекта (часто сложной формы, сложного внутреннего строения и значительного размера) полностью или почти полностью скрытого от непосредственного наблюдения с помощью дискретных наблюдений параметров месторождения в целом и отдельных проявлений полезных ископаемых. В этой связи для получения надежной характеристики промышленно значимых параметров месторождения необходимо принимать во внимание то, что само месторождение как совокупность геологических тел полезного ископаемого, находящихся в определенном пространстве, тела полезного ископаемого и его более мелкие элементы представляют собой организованную систему элементов разного порядка, каждый из которых требует изучения соответствующим образом. Элементы этой системы характеризуются некоторыми размерами, которые колеблются в больших пределах, и часто их размеры по разным направлениям могут существенно различаться: размер пластообразных геологических тел по простиранию и падению в десятки и сотни раз больше их мощности, а длина кристаллов столбчатого или волокнистого облика может быть в десятки-сотни раз больше их поперечника [43, 44, 56, 57, 60, 128–130, 217].

Таким образом, месторождения полезных ископаемых представляют собой сложные природные объекты, требующие системного подхода [8, 217]. Месторождение рассматривается как природная система, состоящая из элементов, относящихся к нескольким уровням строения. Каждый уровень строения имеет специфическую неоднородность слагающих его частей или

элементов, причем элементы одного уровня являются частью элементов более высокого уровня и, в свою очередь, состоят из элементов более низкого уровня.

Ко всему прочему, корректная и заблаговременная геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых во время проведения геологоразведочных работ является фундаментом рационального планирования освоения георесурсов, оценки их экономической эффективности, способствует своевременному выявлению георесурсов и рациональному использованию недр. Процесс изучения месторождения или проявлений полезных ископаемых предполагает непрерывное осуществление геолого-промышленной оценки. Это связано с тем, что при получении новых данных по скважинам или опробыванию вносятся изменения и уточнения в горно-геологические условия отработки месторождения, а также в его количественную и качественную оценку. Геолого-промышленная оценка на этапе разведки определяет целесообразность дальнейшего изучения проявлений полезного ископаемого. Ниже приведены показатели, которые определяются при геолого-промышленной оценке по результатам детальной разведки месторождения:

1. Количество запасов полезного ископаемого;
2. Качество полезного ископаемого и количество полезных компонентов;
3. Технологические свойства полезного ископаемого;
4. Горно-геологические условия разработки месторождения;
5. Экономико-географические условия района месторождения, такие как рельеф местности, обеспеченность топливом, климат, трудовые ресурсы, экономический профиль района и т.д.

После завершения разведки производится окончательная оценка месторождения (подсчет запасов и утверждение промышленных кондиций), что является однозначным критерием промышленной значимости месторождения, а расчет запасов полезного ископаемого и полезных компонентов является мерой его ценности. Причем существует необходимость определения достоверности количества запасов минерального сырья.

Практический расчет геологоразведочных работ в области прогнозирования

горно-геологических данных насчитывает почти два десятка способов подсчета запасов в зависимости от типа полезных ископаемых и от сложности геологического строения месторождения. Причем, как правило, сложность геологического строения играет основополагающую роль при подсчете запасов. Наиболее широким применением пользуется метод блоков и метод параллельных сечений.

Метод геологических блоков состоит в оконтуривании участков с близкими значениями основных параметров тела полезного ископаемого. Это означает, что содержания полезного компонента, мощность геологических тел, степень разведанности, условия залегания, сорт, тип полезного ископаемого, технологические свойства, гидрогеологические и инженерно-геологические условия, объемная масса, условия вскрытия и разработки в пределах геологического подсчетного блока должны быть примерно одинаковы.

Широко применяется в практике геологоразведочного дела способ разрезов или сечений, позволяя достаточно быстро, просто и относительно точно подсчитать запасы полезных ископаемых в телах практически любой формы и сложности геологического строения. Некоторые модификации этого способа представлены ниже: вертикальными параллельными сечениями, вертикальными непараллельными сечениями и горизонтальными сечениями. Геологические разрезы расчленяют тело полезного ископаемого на отдельные участки - подсчетные блоки. Границами подсчетных блоков служат контуры тел полезного ископаемого и разрезы. Объем полезного ископаемого определяется по одной из следующих формул:

а) призмы:

$$V = \frac{S_I + S_{II}}{2} l_2 ; \quad (33)$$

б) усеченного конуса:

$$V = \frac{S_{II} + S_{III} + \sqrt{S_{II} S_{III}}}{3} l_3 ; \quad (34)$$

в) клина:

$$V = \frac{S_I}{2} l_1 ; \quad (35)$$

г) конуса:

$$V = \frac{S_{III}}{3} l_4 ; \quad (36)$$

где S_I , S_{II} , S_{III} – площадь полезного ископаемого по соответствующему разрезу, l_1 , l_2 , l_3 , l_4 – расстояния между разрезами.

Среднее содержание полезного компонента вычисляется в два-три этапа. Сначала устанавливается содержание полезного ископаемого по скважинам, обычно способом среднего арифметического. Затем способом среднего взвешенного на мощность рассчитывается среднее содержание по разрезу. На третьем этапе вычисляется среднее содержание для внутренних блоков, опирающихся на два разреза – способом среднего взвешенного на площадь.

Однако многочисленные исследования последних лет в области подсчета запасов с учетом необходимости автоматизации процесса проектирования горнотехнических систем показывают, что при прогнозировании горно-геологических характеристик пластовых месторождений полезных ископаемых рекомендуется применять математическое моделирование методом сплайн-функций Грина.

Для решения задач аппроксимации функций по хаотическим горно-геологическим данным разработана концепция многошагового метода, существо которого состоит в разбиении процесса аппроксимации на ряд этапов и комбинированном использовании сплайнов, специально предназначенных для работы с хаотическими данными (DM-сплайны, интерполяция типа Харди и их обобщения) и сплайнов на прямоугольных сетках (кубические сплайны и их модификации).

Как известно, без сплайнов немыслимо создание современных систем автоматизированного проектирования (Computer Aided Design или CAD), инженерного анализа (Computer Aided Engineering или CAE) и изготовления (Computer Aided Manufacturing или CAM) изделий сложной геометрической формы таких, например, как поверхности летательных аппаратов, корпуса судов, лопатки гидравлических и газовых турбин. Именно эти задачи послужили первоначальным толчком к началу исследований по сплайнам в Институте

математики под руководством Ю. С. Завьялова в 60-х годах. Разработаны эффективные методы аппроксимации кривых и поверхностей параметрическими сплайнами. Прогнозирование горно-геологических характеристик с помощью сплайнов - геометрическое обеспечение процессов автоматизированного проектирования и технологической подготовки схем вскрытия, имеющих сложные пространственные обводы.

Предложенный в работе алгоритм моделирования горно-геологических характеристик пластовых месторождений на базе сплайн-функций Грина (Рисунок 10) позволяет получить довольно хорошее решение при малом количестве заданных значений. Процесс поиска решения сводится к построению аппроксимационного сплайна, обладающего свойством минимальной нормы производной. В настоящей диссертации с помощью разработанного алгоритма была построена и исследована математическая модель месторождения полезных ископаемых с резкоменяющимися горно-геологическими характеристиками.

Согласно данному алгоритму в элементе 1 происходит определение регионов R в блочной 3D-модели пластового месторождения, в результате чего каждому 3D-блоку присваивается определенный код региона.

В элементе 2 осуществляется выбор очередного региона для обработки.

Элемент 3 реализует выбор необходимой горно-геологической характеристики для последующего моделирования.

В элементе 4 проверяется наличие сплайн-функции для обрабатываемой горно-геологической характеристики. При наличии сплайн-функции осуществляется интерполяция горно-геологической характеристики в блоках 3D-модели, а при отсутствии - генерация сплайн-функции для горно-геологической характеристики в «текущем» регионе.

Элемент 5 позволяет получить необходимую сплайн-функцию для определенной горно-геологической характеристики путем обработки данных по геологоразведочным скважинам.

В элементе 6 производится передача сформированной ранее сплайн-функции в банк данных с указанием кода региона для адресного хранения и

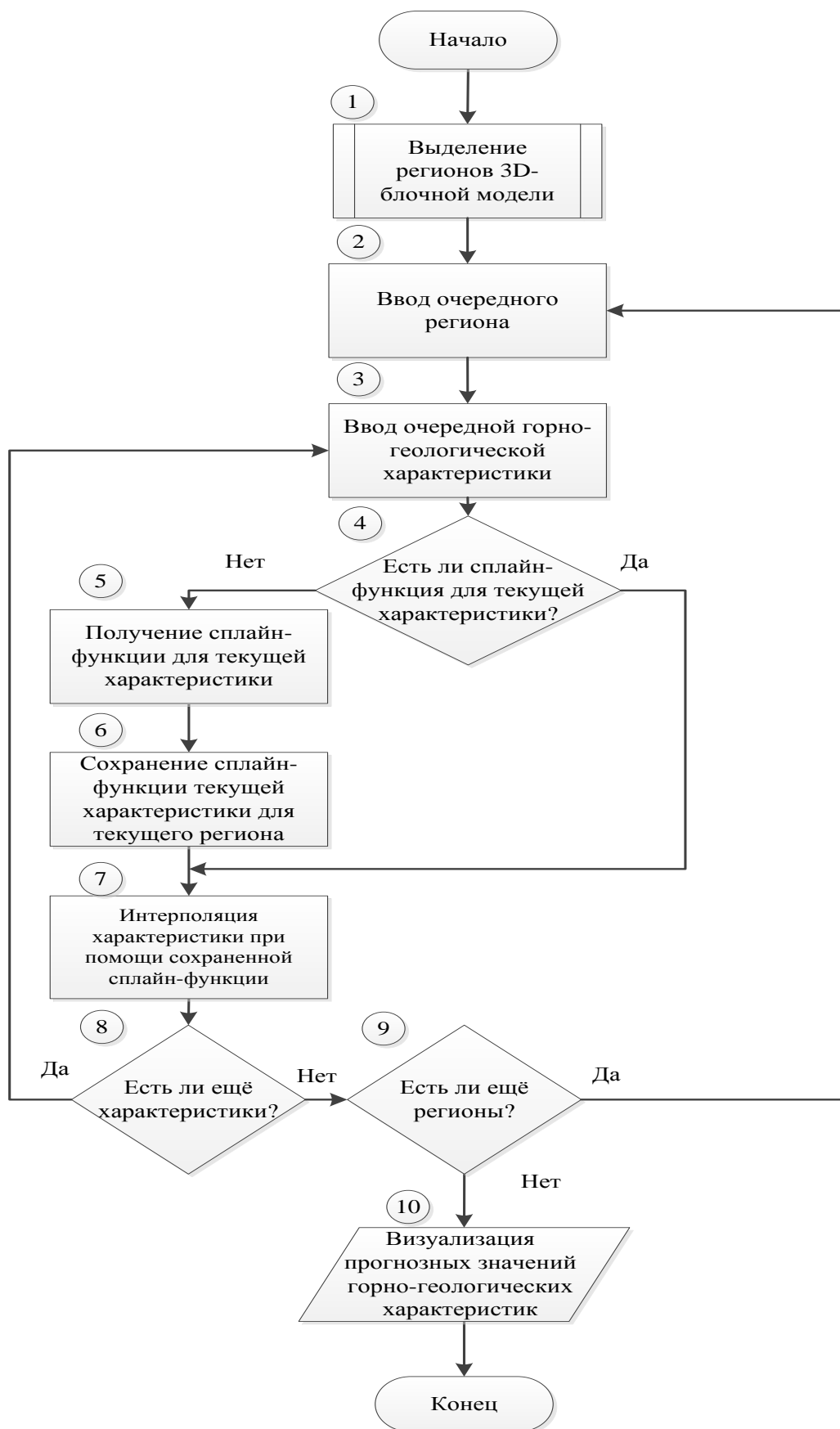


Рисунок 10 - Блок-схема алгоритма моделирования горно-геологических характеристик пластовых месторождений на базе сплайн-функций Грина

использования.

Интерполяция горно-геологической характеристики в блоках 3D-модели при помощи сохраненной сплайн-функции осуществляется в элементе 7. С помощью сплайн-функции вычисляется прогнозное значение горно-геологической характеристики для каждого 3D-блока в обрабатываемом регионе.

В элементах 8 и 9 принимается решение о наличии для обработки горно-геологических характеристик и регионов соответственно. При наличии необработанных данных необходимо их ввести и повторить соответствующий цикл. Если же все данные обработаны, осуществляется переход к следующему шагу.

В элементе 10 производится визуализация вычисленных при помощи сплайн-функций горно-геологических характеристик, прогнозные значения которых были сохранены в 3D-блоках модели пластового месторождения.

Таким образом, использование алгоритма обеспечивает прогнозирование горно-геологических характеристик с высокой надежностью и достоверностью полученных результатов. Кроме того, при помощи сплайн-функций Грина производится синтез множества функциональных зависимостей характеристик природной среды, которые можно использовать в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов для других моделей.

При проектировании освоения георесурсного потенциала угольных месторождений используется большой объем исходной информации, основу которой составляет горно-геологическая, представляющая собой характеристику совокупности природных свойств угля и вмещающих пород, в значительной степени определяющих основные проектные решения. Каждый проект отработки запасов, как в пределах всей шахты, так и отдельных выемочных участков, состоит из совокупности согласованных решений, надежность которых заключается в их реализуемости и результативности.

Значительное влияние горно-геологических условий на эффективность освоения георесурсного потенциала угольных шахт предопределяет

необходимость учета будущих горно-геологических ситуаций при решении различных вопросов, касающихся схем вскрытия, систем подготовки и отработки месторождения, выбора и расстановки добычного оборудования как на стадии проектирования, так и при отработке запасов угля. Прогнозная горно-геологическая информация становится базой для перспективного планирования и управления очистными работами.

Разрабатываемые проекты должны основываться не на настоящем, а на будущем уровне развития техники и технологии, прогнозной оценке горно-геологических условий отработки запасов. Знание будущих горно-геологических условий в процессе проектирования приводит к двум основным направлениям ведения проектных работ: определению путей возможного оптимального приспособления к геологическим особенностям и процессам, которые будут развиваться при отработке запасов выемочных участков, и изысканию путей активного воздействия на массивы горных пород. Вследствие этого тематику работ по учету прогнозной геологической информации можно разделить на прогнозирование горно-геологических факторов с целью выбора наиболее рациональных параметров и показателей работы очистных забоев и разработку способов активного воздействия на массив горных пород.

Особенно важной является задача прогнозирования геологических нарушений, которая относится к разряду весьма сложных. Ведь речь идет, прежде всего, о нарушениях, не выявляемых геологической разведкой.

Сущность подхода состоит в возможности по ряду признаков, сопутствующих геологическому нарушению, выявлять наличие последнего. Естественно, для этого требуется глубокий ретроспективный анализ «формирования» нарушений.

В геологии в настоящее время одной из серьезных проблем является построение классификаций объектов, выделение в совокупностях геологических объектов однородных групп.

При решении всех этих задач проектировщик сталкивается, по существу, с одной проблемой - разделением всего изучаемого множества объектов по

обнаруженному сходству и различию на отдельные группы и подмножества. Естественным при этом стремление привлечь для такой классификации одновременно как можно больше признаков для разграничения, что на практике приводит к использованию различного рода графиков, диаграмм, графоаналитических методов исследования, многокомпонентных систем и т.п.

Очевидно, что при этом часто совершенно не удается провести одновременный анализ всего комплекса признаков и приходится рассматривать его «по частям», используя какие-то подсистемы признаков. Но даже при таком подходе не удается избежать многозначности в построениях, и часто одни и те же геологические объекты, охарактеризованные одним и тем же набором признаков, классифицируются различными последовательностями по-разному. Причина здесь, видимо, одна: ни одна последовательность не приводит каких-либо обоснованных, четко сформулированных правил классификации, делает выводы, пользуясь интуицией или же информацией, которая не содержится в исходном наборе признаков.

Отметим еще один существенный недостаток классификаций и разбиений геологических объектов. Как правило, при анализе тех или иных разбиений получается очень мало сведений о взаимном расположении выделенных групп относительно друг друга с учетом всего комплекса признаков, сведений о структуре классифицируемой совокупности геологических объектов.

В этом смысле использование аппарата нейронных сетей Кохонена дает вполне хорошие и надежные результаты. Формирование однородных классов, групп объектов также может рассматриваться как процесс моделирования, причем в этом случае не существует ограничений на выбор формы связи объектов, использования качественных показателей. Вместе с тем использование нейронных сетей Кохонена приводит к определенным усреднениям и потерям информации. Поэтому наиболее эффективные результаты достигаются совместным использованием сплайн-функций Грина и нейронных сетей Кохонена [157].

Рассмотрим основные принципы нейронных сетей Кохонена, которые могут

быть использованы для выявления геологических нарушений. Эти принципы сводятся к трем задачам:

1. Обучение на входном векторе данных;
2. Сокращение (минимизация) описания;
3. Самообучение (таксономия).

Первая задача сводится к определению по некоторому набору признаков с помощью выработанного решающего правила, к какому классу принадлежит рассматриваемый объект. Первоначально существует некоторое количество объектов, образующих так называемую обучающую выборку, для которых указываются классы, содержащие эти объекты. При рассмотрении признаков формируется определенный критерий (решающее правило), позволяющий определить принадлежность тому или иному классу каждого нового объекта, не превышая заданной заранее ошибки отклонения.

Задача минимизации описания из совокупности признаков, представляющих каждый оцениваемый объект, выбирает только те, которые с точки зрения распознавания являются наиболее информативными.

Задача таксономии (самообучения) заключается в том, чтобы из некоторого множества объектов выделять с помощью заданного правила классы однородных («одинаковых») объектов.

Как правило, при решении конкретных задач на практике необходимо использовать сочетания рассмотренных задач. Так, для решения задачи обучения распознавания классов с помощью нейронных сетей Кохонена с одновременным нахождением множества информативных признаков последовательно проходят несколько эпох (этапов), находя в них решения каждой из основных задач, при фиксированном решении других.

Для автоматизированной кластеризации запасов угольных месторождений автором рекомендуется алгоритм моделирования геоструктур на основе нейронных сетей Кохонена (Рисунок 11).

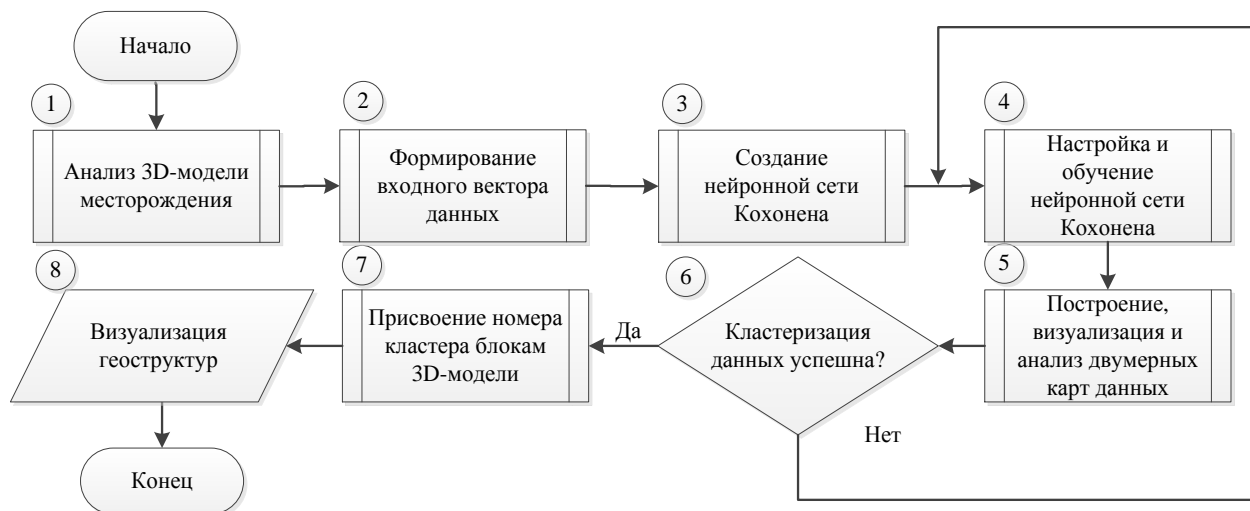


Рисунок 11 - Блок-схема алгоритма моделирования геоструктур угольного месторождения на основе нейронных сетей Кохонена

Нейросетевое моделирование распознавания геоструктур угольного месторождения реализуется в несколько этапов. В элементе 1 производится экспертный анализ 3D-модели месторождения, технических заданий на проектирование и характеристик фактических горно-геологических условий, выявленных при отработке запасов. В элементе 2 выполняется структуризация горно-геологических характеристик, формируется входной вектор данных для нейронной сети. В элементе 3 осуществляется выбор параметров и создание нейронной сети Кохонена, а в элементе 4 – обучение, настройка и тестирование ее работы. В элементе 5 выполняется построение, визуализация и анализ двумерных карт данных, а также выполнение вычислительных экспериментов с нейронной сетью. В элементе 6 проверяется работоспособность нейронной сети Кохонена, а также осуществляется оценка достоверности распознавания геоструктур и принимается решение о необходимости дальнейшей настройки и обучения сети. В элементе 7 осуществляется присвоение номера распознанной геоструктуры блокам 3D-модели месторождения, а в элементе 8 - визуализация геоструктур в 3D-модели месторождения.

Следовательно, горнотехнические модели распознавания геоструктур, синтезированные с использованием данного алгоритма, позволяют в автоматизированном режиме осуществлять кластеризацию данных в 3D-моделях

пластовых месторождений, выявляя участки пластов с выдержанными параметрами, что является основой для последующей оценки применимости технологий освоения георесурсного потенциала горных предприятий.

3.2. Научно-методические основы принятия прогрессивных проектных решений по обоснованию качественных параметров технологических схем угольных шахт на базе экспертных систем

Одним из основных вопросов, решаемых в рамках теории проектирования шахт, является обоснование их качественных и количественных характеристик, которые в совокупности отражают степень соответствия технологических схем горных предприятий современному уровню развития техники и технологии. Качественные параметры технологической системы шахты, такие как схемы вскрытия и подготовки запасов, системы разработки угольных пластов, вентиляционная сеть и др., не имеют размерности, их выбор часто неоднозначен и носит альтернативный характер, при этом они могут существенно отличаться по эффективности их практической реализации [125].

Применение различных схем вскрытия запасов шахтных полей во многом обуславливается разнообразием горно-геологических условий залегания пластов и экономическими факторами. Существуют различные классификации схем вскрытия запасов, в частности, по типу главной вскрывающей выработки, по числу транспортных горизонтов, а также по наличию (или отсутствию) дополнительных вскрывающих выработок.

На сегодняшний день в угольной промышленности России наибольшее распространение получили различные варианты схем вскрытия запасов вертикальными стволами, поскольку их можно реализовать в большинстве горно-геологических условий. Вскрытие запасов наклонными стволами получает распространение на шахтах высокого технико-экономического уровня, а вскрытие запасов штольнями применяется крайне редко и ограничивается только

районами с гористой или холмистой местностью.

Вскрытие является первой стадией освоения георесурсного потенциала месторождения. От правильного обоснования проектных решений по выбору схем вскрытия будут во многом зависеть дальнейшие условия эксплуатации шахты. Ситуация осложняется и тем, что обоснование выбора схем вскрытия (как, впрочем, и других качественных характеристик технологической системы шахты) носит взаимоисключающий характер – может быть принята только одна схема вскрытия, а последующий переход к другим является достаточно затруднительным.

Обоснование рационального варианта раскройки запасов шахтного поля также является достаточно сложным процессом принятия проектных решений, представляющим собой деление шахтного поля на эксплуатационные ступени и выемочные единицы.

Вначале производится выделение однородных геологических структур (геоструктур), то есть участков пластов с однородным геологическим строением, расположенных между крупными тектоническими нарушениями и служащих основой для деления месторождения (или его участков) на геологические блоки с целью реализации возможности отработки запасов блока только одной технологией (монотехнологией). Решение этой задачи осложняется тем, что разработка угольных пластов осуществляется все в более сложных горно-геологических условиях в связи с углублением горных работ, что сопровождается снижением нагрузки на очистной забой и ростом затрат на проведение и поддержание горных выработок, увеличением добычи угля на более тонких пластах, на пластах со значительной тектонической нарушенностью, трудноуправляемой кровлей. С ростом глубины разработки пластов имеет место повышение горного давления, газообильности, выбросоопасности пластов и т.д. Из вышесказанного становится очевидной необходимость комплексной оценки совокупного влияния горно-геологических факторов на вариант раскройки запасов шахтного поля.

При раскройке запасов шахтного поля используется геологическая и горно-

геологическая информация, которая должна включать основные сведения о составе и строении месторождения, его тектонике, гидрогеологии, устойчивости вмещающих пород, газоносности, геотермии, газодинамических явлениях в границах участка шахтного поля с запасами, подлежащими отработке в течение рассматриваемого периода.

Мощность пластов, углы их падения и метанообильность, а также глубина залегания являются наиболее значимыми факторами, определяющими варианты топологии сети участковых выработок и влияющими на производительность труда при ведении горных работ. Мощность угольного пласта является наиболее влияющим горно-геологическим фактором в связи с практически функциональной зависимостью от него трудоемкости работ, выполняемых практически во всех производственных комплексах шахт.

На практике встречается большое разнообразие систем разработки, их разновидностей и модификаций. Целесообразность применения той или иной системы должна обосновываться посредством технико-экономических расчетов и обеспечивать в техническом отношении высокий уровень механизации работ, высокую производительность горных машин, минимальные потери угля и должный уровень безопасности труда при минимальных затратах на добычу угля.

Многие параметры, учитываемые при обосновании проектных решений, являют собой качественные характеристики, учет и анализ которых носит, как правило, субъективный характер и во многом зависит от эксперта или группы экспертов, принимающих то или иное решение.

Качество обоснования проектных решений обуславливается также количественными параметрами шахты (числом пластов, мощностью шахты, схемой вентиляции горных выработок, углами падения угольных пластов, размерами шахтного поля), что предопределяет необходимость учета большого числа критериев и усложняет процесс принятия решений. При принятии проектных решений часто рассматриваются несколько альтернативных вариантов, оцениваемых на многокритериальной основе.

Кроме этого, сама постановка задачи, например, при выборе схемы

вскрытия запасов шахтного поля применительно к заданным условиям характеризуется существенной неопределенностью и, несомненно, требует дополнения и доопределения, которое базировалось бы на знаниях и опыте экспертов в области горного дела. В основе принятия решения в описанной ситуации лежат всевозможные эвристические методы и различного рода условности, которые необходимы для уточнения задания уже в процессе его выполнения. Таким образом, качество принимаемого решения во многом будет зависеть от уровня квалификации и опыта специалиста.

Из вышеуказанного следует, что создание классических вычислительных алгоритмов, опирающихся на технические структуры данных, невозможно ввиду отсутствия жесткой последовательности действий при выборе прогрессивных проектных решений.

При обосновании проектных решений используются методы линейного и динамического программирования, теории вероятностей, математической статистики. В последнее время значительное внимание уделяется разработке технологий нечеткого вывода и создания экспертных систем.

Автором диссертации рассмотрена возможность моделирования итераций принятия проектных решений по отработке запасов угольных месторождений на примере выбора схемы вскрытия запасов шахтного поля с использованием метода экспертных систем, в том числе осуществлена постановка задачи (Рисунок 12) и разработан соответствующий алгоритм рассуждений, формализованный «деревом решений» (Рисунок 13).

Возможно, исходя из современного развития вычислительной техники и логических процессоров, а также уровня программных продуктов в области горного дела, практически невозможно полностью исключить участие экспертов при решении задач обоснования вариантов схем вскрытия запасов, раскройке шахтных полей, обоснования систем разработки месторождений полезных ископаемых и т.п., однако, по мнению автора, вполне существует возможность создать систему, которая упрощала бы решаемую проектировщиком задачу и определяла приоритетные для анализа и рассмотрения варианты.



Рисунок 12 - Общая структура решения задачи выбора и обоснования варианта схемы вскрытия запасов шахтного поля

В настоящее время интеллектуальные системы находят все более широкое применение в горнодобывающих отраслях экономики страны. В основном это относится к системам реального времени, управляющим производственными процессами и реализующим организационные решения в зависимости от изменения внешних условий. К таким системам, в частности, можно отнести интеллектуальные системы управления очистными работами, транспортными потоками, а также системы обеспечения производственной безопасности [13].

В области автоматизированного проектирования также наблюдается сдвиг парадигмы в направлении внедрения элементов искусственного интеллекта. Так, современные системы автоматизированного проектирования должны обладать свойством самообучения и саморазвития, что позволит более эффективно задействовать их в конкретных областях производства [144].

Интеллектуальные системы, имеющие в своей структуре механизмы разрешения неопределенности и учета многокритериальности, могут оказывать

поддержку в области принятия решений при проектировании угледобывающих предприятий и принятии решений непосредственно на стадии их эксплуатации.

Наиболее часто интеллектуальные системы применяются для решения задач, когда основная сложность решения связана с использованием неформализованных или слабо формализованных знаний специалистов-практиков и где логическая обработка информации превалирует над вычислительной.

Автором показана возможность формализации знаний на примере создания «дерева решений» [109] для выбора и обоснования рациональных схем вскрытия запасов угольных месторождений, которое представлено на Рисунке 13.

При организации «дерева решений» возможны два пути. Первый из них заключается в создании древовидной поисковой системы, охватывающей все множество методов решения задачи. Система выполняет некоторые проверки текущего состояния задачи и на основании этих проверок осуществляет отсечение отдельных ветвей поиска, заведомо не содержащих применяемого метода. После того, как нужная вершина найдена, метод реализуется, а цикл поиска повторяется снова. Недостатком такого подхода является отсутствие эффективных алгоритмов отсечения лишних ветвей, что обусловлено слабой зависимостью между условиями применимости различных правил [37, 78, 139]. Кроме этого, по мере развития системы и добавления в нее новых правил время, затрачиваемое на поиск подходящего решения или метода, будет возрастать. В конечном итоге это приведет к существенному снижению производительности системы и будет накладывать ограничения на объем используемой базы знаний. По существу, описанный способ представляет собой цикл просмотра базы знаний на каждом этапе работы системы.

Ввиду существенных недостатков данного способа автором для составления «дерева решений» был выбран другой подход, суть которого заключается не в просмотре базы знаний, а в просмотре задачи. Дело в том, что большая часть методов решения задачи предполагает указание в исходных данных некоторого понятия или величины, появление которой необходимо для возможности

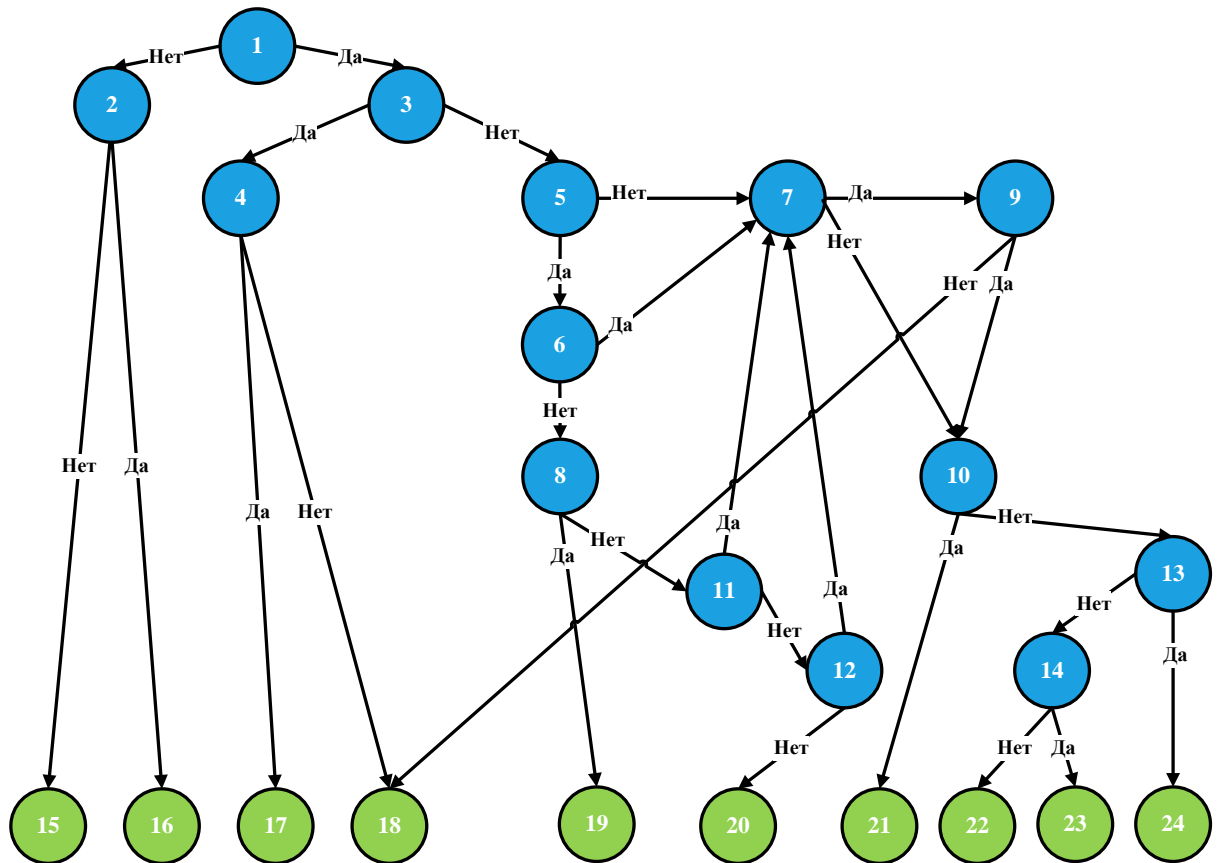


Рисунок 13 - Фрагмент «дерева решений» при обосновании рациональной схемы вскрытия запасов угольных месторождений

применения того или иного правила или приема. Например, число пластов в шахтном поле будет указывать на необходимость применения дополнительных вскрывающих выработок. По сути, послышки задачи содержат инициирующие «маркеры», которые позволяют применить то или иное правило, метод, ветвь. При этом за каждым понятием логического языка закрепляется только небольшая группа правил, что позволяет увеличивать базу знаний без существенного влияния на скорость работы системы. В таком случае отсутствуют сколько-нибудь серьезные ограничения на рост числа правил или методов в системе.

Таким образом, порядок организации системы определяет и алгоритм работы решателя, суть которого сводится к сканированию текста задачи, то есть в последовательном просмотре ее условий и обращении к тем правилам и условиям, которые удовлетворяют поиску в базе знаний. Если на каком-то этапе пошагового просмотра задачи просматриваемое условие не позволяет

осуществлять дальнейший поиск по ветке, то система должна осуществить откат к предыдущему условию, которое удовлетворяло бы требованиям и осуществить поиск решения по другим веткам. Для расстановки приоритетов каждому методу должны быть присвоены числовые коэффициенты приоритетности данного метода.

В основе моделирования выбора и обоснования схем вскрытия запасов угольных месторождений лежит первоначальное разделение схем вскрытия на многогоризонтные и одногоризонтные. Данное разделение осуществляется в зависимости от размеров шахтного поля по падению (Таблица 1).

Поскольку применение в качестве основной вскрывающей выработки штольни ограничивается в основном районами с гористой или холмистой местностью, то на начальном этапе модель анализирует возможность реализации этого варианта исходя из характеристики рельефа местности.

Таблица 1 - Расшифровка фрагмента «дерева решений» при обосновании рациональной схемы вскрытия запасов угольных месторождений

№ вершины	Запись в базе знаний
Вершины с вопросами	
1	Является ли рельеф местности равнинным?
2	Имеется ли в холмистой или гористой местности промплощадка и возможно ли обеспечить к ней доступ?
3	Размер шахтного поля по падению превышает 2,5 км?
4	Залегание пласта (пластов) является пологим, наклонным до 25°?
5	Угол падения пласта (пластов) находится в пределах 6-18°?
6	Мощность наносных отложений более 70 м?
7	Угол падения пласта (пластов) в среднем превышает 12°?
8	В пределах шахтного поля предполагается вести отработку запасов только одного пласта?

Продолжение таблицы 1

№ вершины	Запись в базе знаний
9	Залегание (пласта) пластов является пологим, наклонным 8-25°?
10	В пределах шахтного поля предполагается вести отработку запасов только одного пласта?
11	Число разрабатываемых пластов превышает количество 2– 3 шт?
12	Расстояние между пластами свиты превышает 200 м?
13	Являются ли предполагаемые к отработке пласты сближенными?
14	Превышает ли расстояние между пластами свиты 200 м?
Вершины с решениями	
15	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте комбинированных схем вскрытия.
16	Рекомендуется рассмотреть схему вскрытия штольнями.
17	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия вертикальными стволами и погоризонтными квершлагами.
18	При крутом залегании пластов рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия вертикальными стволами и этажными квершлагами.
19	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия вертикальными стволами.
20	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия наклонными стволами и капитальным квершлагом.
21	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия вертикальными стволами без применения дополнительных вскрывающих выработок.

Продолжение таблицы 1

№ вершины	Запись в базе знаний
22	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия вертикальными стволами и капитальным квершлагом.
23	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия вертикальными стволами и капитальным наклонным квершлагом.
24	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия вертикальными стволами и капитальным гезенком.

После разделения схем вскрытия на многогоризонтные и одногоризонтные модель реализует дедуктивный подход к решению задачи. При этом схема вскрытия запасов вертикальными стволами с применением (или без применения) дополнительных вскрывающих выработок считается наиболее распространенным и наиболее универсальным (общим) вариантом. Первоначально модель осуществляет поиск возможности реализации других вариантов схем вскрытия, в частности, схемы вскрытия запасов наклонными стволами (с наличием дополнительных вскрывающих выработок или без таковых). Если этот способ оказывается неэффективным по горно-геологическим условиям, модель переходит к анализу различных вариантов схем вскрытия запасов вертикальными стволами. При этом также реализуется дедуктивный подход: сначала рассматриваются наименее распространенные схемы вскрытия, а если поиск не дал результатов, рассматривается более общий вариант, который можно реализовать в большинстве горно-геологических условий.

Хотя порядок работы модели определяется необходимостью выбора схемы вскрытия, а в основе классификации схем вскрытия положена классификация по

типу главной вскрывающей выработки, модель оперирует только горно-геологическими условиями, делая вывод на основании полученных ответов, которые выступают в роли ограничителей и сужают пространство поиска при переходе к каждой следующей вершине графа.

Представленный фрагмент «дерева решений» для выбора и обоснования рациональной схемы вскрытия запасов угольных месторождений не претендует на полноту и исчерпывающую информативность, поскольку задачей автора в данном случае было продемонстрировать возможность формализации знаний в области проектирования горных предприятий. При этом рассмотрены только некоторые, наиболее общие и наиболее распространенные схемы вскрытия запасов шахтных полей, а реализация модели всегда приводит к однозначному решению. На самом же деле, всегда рассматривается несколько альтернативных вариантов решений и почти всегда возможно реализовать несколько вариантов вскрытия запасов шахтного поля. Например, схема вскрытия запасов вертикальными стволами и капитальным квершлагом может быть применима и в том случае, если вскрытие можно осуществлять наклонными стволами. Кроме этого, в реальных условиях при выборе схемы вскрытия рассматриваются не только горно-геологические, но и горнотехнические, а также экономические факторы, которые могут иметь более значимый приоритет.

С другой стороны, в качестве реализуемого всегда принимается только один вариант вскрытия, а выбор его осуществляется по какому-либо критерию эффективности. В данном случае есть основание предполагать, что таким критерием является максимальная эффективность функционирования предприятия, запасы которого вскрыты в соответствии с заданными горно-геологическими условиями.

Знания в данном случае носят процедурный характер, то есть являются неявными, заключенными в структуре «дерева решений». Современные же экспертные системы все больше оперируют знаниями, представляемыми в декларативной форме. Такая база знаний предполагает отсутствие заранее прописанного алгоритма, а само «дерево решений» в идеале должно

формироваться в процессе решения задачи, по мере срабатывания тех или иных методов или правил. Сами же методы (правила) формируют пространство поиска, в котором перемещается решаемая задача. То есть «дерево решений» является неявным и генерируется в процессе работы решателя. Впоследствии полученный результат может быть сохранен для решения подобных задач.

Следует отметить, что вышеописанный фрагмент «дерева решений» для выбора и обоснования рациональной схемы вскрытия запасов угольных месторождений является масштабируемым и может быть легко дополнен новыми уточняющими вопросами. Предложенная горнотехническая модель может быть использована при создании научно-методической базы автоматизированного проектирования горнотехнических систем.

3.3. Моделирование динамики развития горных работ на базе нечеткой логики

Функционирование горного производства характеризуется высокой степенью неопределенности и проявлениями значительного числа природных, технических, технологических, организационных и социальных факторов. Высокая эффективность управления такими промышленными объектами, как горные предприятия, достижима лишь при включении в цепь управления звена, функции которого ориентированы прежде всего на определение перспектив «проявления» результатов того или иного решения и учет влияния как действующих, так и возникающих в будущем факторов. Таким звеном в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт являются эталонные горнотехнические модели.

Сложной технологической системой, каковой является угольная шахта, приходится управлять при остром дефиците времени и наличии большого числа возможных вариантов принятия решений. Невысокая степень обоснованности перспективных планов развития горных работ, не всегда объективный выбор

технологических схем их ведения и, естественно, недостаточно высокий уровень эффективности работы предприятия обусловлен, прежде всего, недостаточным качеством планирования производственно-хозяйственной деятельности угольных шахт. В этой связи открывается возможность для постепенного и последовательного перехода к принципу планирования и управления «по моделированию динамики развития горных работ», что существенно снижает «цену ошибок» при принятии неоптимальных решений. Данный принцип предполагает непрерывное прогнозное моделирование хода производственно-хозяйственной деятельности на всех уровнях единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт в виртуальном пространстве, причем, чем выше уровень управления, тем на более длительный срок, с учетом меньшего числа факторов, с меньшей точностью и достоверностью осуществляется моделирование, и наоборот. Непрерывное прогнозное моделирование [186] позволит значительно повысить объективность тех или иных технологических решений (будь то раскройка шахтного поля, выбор средств механизации с соответствующими характеристиками, определение срока ввода шахты в реконструкцию, обоснование рациональных параметров технологических схем и т.д.) на различных этапах планирования развития горного производства и управления им.

Непрерывность моделирования динамики развития горных работ предполагает различные сочетания плана и прогноза. Прогноз может предшествовать разработке плана, идти вслед за планом в случае, когда прогнозируются последствия уже принятых в плане решений. Может также предусматриваться прогнозирование хода выполнения плана. При установлении разницы между прогнозом и планом (при общности целей и задач) следует, прежде всего, иметь в виду, что первый - это вероятностное научно обоснованное утверждение о будущем развивающегося объекта (сложной системы), тогда как план является руководством к действию, т.е. носит директивный характер. Прогноз содержит в себе спектр альтернатив, а план может содержать только одно оптимальное решение развития объекта управления.

Моделирование дает представление о наиболее правдоподобных вариантах развития, например, угольной шахты. Один из этих вариантов, по усмотрению руководящих органов, может быть включен в план.

Фундаментом, на котором базируется моделирование динамики развития горных работ, является анализ сложившихся тенденций. Этот анализ дает информацию для планирования, позволяющую определить основные направления развития объекта управления, связанные с устранением существующих «помех», а также обеспечить регулирование «хода» новых процессов и явлений, возникновение которых приурочено к прошлому, но которые могут оказывать решающее влияние в будущем.

Опыт прогнозного моделирования динамики развития горных работ показывает, что с увеличением глубины прогнозирования уменьшается точность прогнозов. Естественно, различные методы позволяют получать прогнозы различной точности при одной и той же величине упреждения. Однако в практике прогнозирования применительно к горному производству при выборе глубины, как правило, руководствуются не особенностями того или иного метода, а назначением прогноза. Так, при решении задач оперативного управления модели разрабатываются с упреждением на одну смену, сутки, месяц. На уровне текущего планирования, естественно, появляется потребность в прогнозных моделях на глубину до одного года.

В наибольшей мере проявляется потребность в моделях динамики развития горных работ на стадии разработки пятилетних планов развития угледобывающего предприятия или компании. Применительно к последнему разрабатываются также долгосрочные комплексные планы-прогнозы.

При проектировании шахт глубину прогнозного моделирования качественных и количественных характеристик технологических схем обычно связывают с величиной этапа проектирования. Последняя определяется «долгожитием» основных элементов технологической схемы шахты: схемы вскрытия и подготовки запасов шахтного поля, системы разработки пластов, схем транспорта, проветривания, шахтного водоотлива, околоствольного двора. Кроме

того, учитывается «долгожитие» стационарных машин и установок, замена которых производится в соответствии с развитием технического прогресса в отрасли. Иными словами, глубина прогнозного моделирования параметров технологической схемы проектируемой шахты должна соотносываться с периодом экономически целесообразного «долгожития» ее элементов.

Под влиянием научно-технического прогресса (появление новых средств механизации, роботизированных комплексов) возникает необходимость в обновлении технологических звеньев шахты, чаще всего это сопряжено с техническим перевооружением и реконструкцией предприятия. В этой связи длительность этапа моделирования можно установить, оценивая эффективность инвестиций для обновления технологических звеньев шахты.

Существующий порядок планирования параметров горных работ и важнейших технико-экономических показателей основан в настоящее время, главным образом, на опыте и интуиции специалистов, а также с учетом конъюнктуры рынка конечной продукции предприятия на угольной основе.

Планирование добычи угля по шахте производится на основе использования производственной мощности высокого уровня, достигнутого за предшествующий планируемому период. При этом на каждой шахте учитываются развитие и степень использования фронта очистных работ, пропускная способность подземного транспорта и шахтного подъема, состояние вентиляционной системы, горно-геологические условия и ряд других факторов, способных снизить достигнутый уровень добычи. При вводе нового или реконструируемого объекта объем добычи определяется в основном прямым расчетом.

Нагрузка на очистной забой планируется с учетом имеющегося и вновь приобретаемого оборудования, нормативов его использования, определяется числом очистных забоев, оборудованных механизированными комплексами.

Для каждого из видов механизации очистных работ определяется нагрузка по технологическим схемам, либо задается нагрузка на конец планируемого периода с равномерным распределением в промежуточных временных отрезках.

Объем добычи угольной шахты определяется как сумма индивидуальных уровней добычи угля для различных средств механизации подземной выемки.

Длина очистного забоя, как правило, задается при проектировании исходя из основных технических факторов. В расчет принимаются горно-геологические условия, вид механизации, система разработки, схема подготовки запасов, пропускная способность участкового и магистрального транспорта и ряд других факторов.

Скорость подвигания очистной линии забоев определяется исходя из нагрузки на очистной забой и геометрических параметров выемочных единиц.

Такие показатели, как количество очистных забоев, примыкающих к наклонной выработке, объем проведения и поддержания горных выработок, транспортная нагрузка на наклонную выработку, получаются либо расчетным путем, либо исходя из возможной компоновки горных работ.

Ряд горнотехнических параметров (уровень проходческих работ, поточность транспорта, удельная протяженность подготовительных выработок) не рассчитывается, а величины их задаются заранее исходя из материально-технических и людских ресурсов.

В этой связи, естественно, встает вопрос о необходимости разработки моделей динамики развития горных работ для прогнозирования параметров и показателей функционирования угольных шахт. Причем моделирование должно вестись применительно к каждой конкретной шахте, что отражается в процессе адаптации эталонных горнотехнических моделей при формировании технологической карты горнотехнической системы в виртуальном пространстве. И лишь после этого следует осуществлять планирование параметров и показателей развития шахтного фонда на перспективу. Обоснованное моделирование динамики развития горных работ позволяет уменьшить роль фактора неопределенности при выборе возможных решений в процессе планирования (подготовки производства).

Однако уместно отметить, что моделирование динамики развития горных работ в угольной промышленности до сего времени не имеет должного

применения. Имеющиеся в этой области работы, в основном, посвящены количественным методам прогнозирования, на базе которых производится ретроспективный анализ тенденций изменения параметров и показателей горных работ. Однако только использование качественного прогнозирования на основе методов современного искусственного интеллекта совместно с параметрическими методами обеспечивает приемлемую достоверность моделирования выходных характеристик техники и технологии горных работ.

Оценку степени прогрессивности решений с технологической и экономической точек зрения следует осуществлять путем сравнения с эталонными горнотехническими моделями в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт. Для этого необходимо привлекать методы распознавания образов, дискриминантного анализа, трендов, авторегрессии, экспоненциального сглаживания, спектрального анализа и другие.

Автором диссертации осуществлен системный анализ управления технологическими процессами освоения георесурсов, по результатам которого предлагается алгоритм моделирования динамики развития горных работ на базе нечеткой логики (Рисунок 14).

Фаззификация входных лингвистических переменных выполняется в блоке №1, в котором устанавливается соответствие между численным значением входной переменной модели динамики развития горных работ и значением термина входной лингвистической переменной, последнее задается функцией принадлежности.

В блоке №2 определяется для каждого правила системы нечеткого вывода степень «истинности» условий. То есть предполагается использовать в дальнейшем только те правила, степень «истинности» условий которых отлична от нуля (они считаются активными). Поэтому данный блок имеет название «агрегирование».

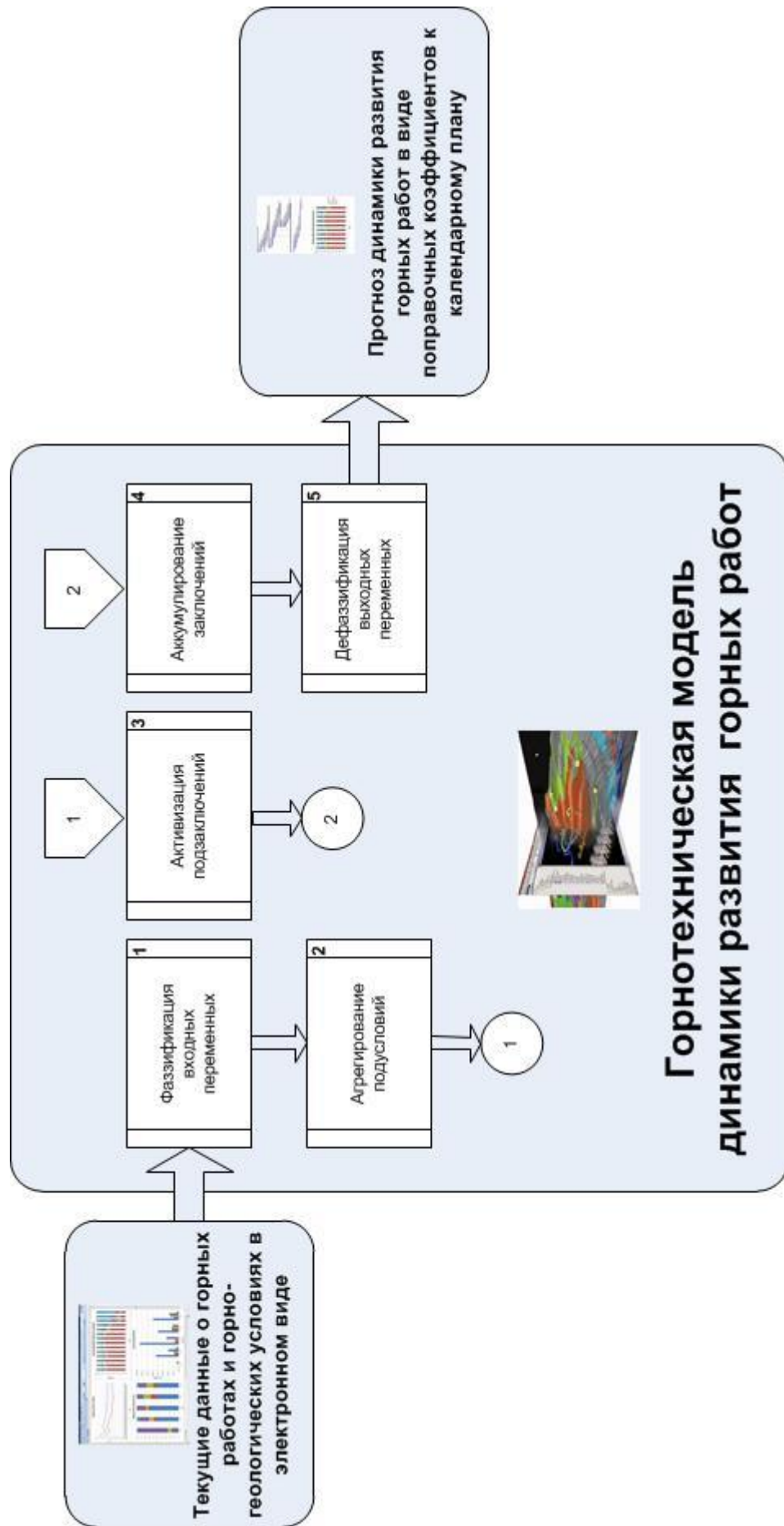


Рисунок 14 - Блок-схема алгоритма моделирования динамики развития горных работ на базе нечеткой логики

Далее (в блоке №3) реализуется процедура определения степени «истинности» всех подзаключений в правилах нечетких продукций. Для этого необходимо определить степень применимости для каждого заключения в правилах базы знаний в соответствии с введенными исходными данными, в результате чего возможно определение степени «истинности» в правилах нечетких продукций для всех заключений. Этот процесс получил название «активизация подзаключений».

В блоке №4 производится нахождение функции принадлежности для каждой выходной лингвистической переменной множества, что получило название «аккумуляция» или «аккумулирование». Целью данного этапа является объединение всех степеней «истинности» заключений при получении функции принадлежности для каждой выходной лингвистической переменной. Этот этап выполняется в связи с тем, что подзаключения, которые относятся к определенной выходной лингвистической переменной, могут принадлежать разным правилам в системе нечеткого вывода.

Для определения численного значения каждой выходной лингвистической переменной необходима дефаззификация, которая выполняется в блоке №5. На основании использования результатов аккумуляции для каждой выходной лингвистической переменной необходимо получить обычное количественное значение для использования специалистами.

Использование горнотехнических моделей динамики развития горных работ позволит изменить существующую практику, например, прогнозирования остаточного ресурса работоспособности очистных механизированных комплексов, которая базируется на нормативном расчете его на весь срок службы [16, 17]. Это обстоятельство, прежде всего, обусловлено недостаточной достоверностью исходной геологической информации [83]. Разработанные автором методические основы прогнозирования условий отработки выемочных единиц позволяют уже на стадии проектирования сформировать спектр ситуаций, в которых будет функционировать механизированный комплекс. Разумеется, остаточный ресурс его работоспособности должен устанавливаться сообразно с

данными ситуациями.

Горнотехническая модель динамики развития горных работ должна нести в себе информацию о мощности пласта, его зольности, твердых включениях в пласте, нарушенности, устойчивости непосредственных кровли и почвы, шаге обрушения основной кровли, зонах «ложной» кровли и др. Данная информация должна быть распределена в структуре модели в виде правил нечеткого вывода. Остаточный ресурс работоспособности очистных механизированных комплексов должен рассчитываться в форме поправочных коэффициентов к нормативным значениям. Его величина определяется при модельном представлении в зависимости от параметров горно-геологических и горнотехнических ситуаций.

Моделирование динамики развития горных работ позволяет на объективной основе прогнозировать остаточный ресурс работоспособности очистных механизированных комплексов, заблаговременно устранить негативные моменты, связанные с невыполнением плана (задания), повысить заинтересованность рабочих очистного забоя в результатах своего труда [40, 111, 226, 234, 236].

Следовательно, разработанный в диссертации алгоритм моделирования динамики развития горных работ на базе нечеткой логики реализует зависимость параметров технологических процессов от изменения горно-геологической ситуации, технологических и др. факторов, а также осуществляет текущий и прогнозный контроль функционирования горнотехнической системы в условиях изменяющейся производственной ситуации.

3.4. Моделирование воздухораспределения в технологической системе угольной шахты на базе нейронных сетей

При разработке таких сложных моделей, какими являются модели воздухораспределения, важна каждая их составляющая часть. Тем не менее очевидно, что именно разработка математических моделей и алгоритмов

представляет собой наиболее важную интеллектуальную часть систем управления проветриванием угольных шахт (Рисунок 15), определяя ее конечные возможности. На многих шахтах мира в настоящее время можно увидеть прогрессивные в техническом отношении системы контроля метана и воздуха в горных выработках, однако их интеллектуальная часть слаба и явно не соответствует задачам автоматизированного управления на современном техническом уровне [21, 76, 77, 165, 168, 212, 213].

Именно по этой причине проблема разработки моделей воздухораспределения решается, прежде всего, в области математического и алгоритмического управления проветриванием. Разумеется, необходимо использовать методы, учитывающие и в определенной степени базирующиеся на богатейшем эмпирическом материале по изучению процессов аэрогазодинамики угольных шахт, что достигается применением методов и средств искусственного интеллекта для создания отдельных частей системы [127, 176, 202, 205].

Состояние воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети в момент времени удобно характеризовать вектором расходов воздуха в ветвях сети:

$$Q(t) = \{q_1(t), q_2(t), \dots, q_p(t)\}. \quad (37)$$

Каждая составляющая вектора $Q(t)$ характеризует аэродинамическое состояние одной из ветвей шахтной вентиляционной сети и по своему физическому смыслу является средним (по сечению выработки) мгновенным расходом воздуха. Вектор расходов $Q(t)$ определяется в основном текущими значениями депрессий вентиляторов главного и местного проветривания $H(t) = \{h_1(t), h_2(t), \dots, h_p(t)\}$ и текущими аэродинамическими сопротивлениями ветвей $R(t) = \{r_1(t), r_2(t), \dots, r_p(t)\}$.

Если допустить, что влияние других факторов (которые будут перечислены далее) несущественно, то состояние воздухораспределения шахтной вентиляционной сети однозначно описывается векторами $Q(t)$, $R(t)$ и $H(t)$, которые связаны между собой математическими уравнениями, отражающими основные физические законы сохранения масс и неразрывности потоков. Эти

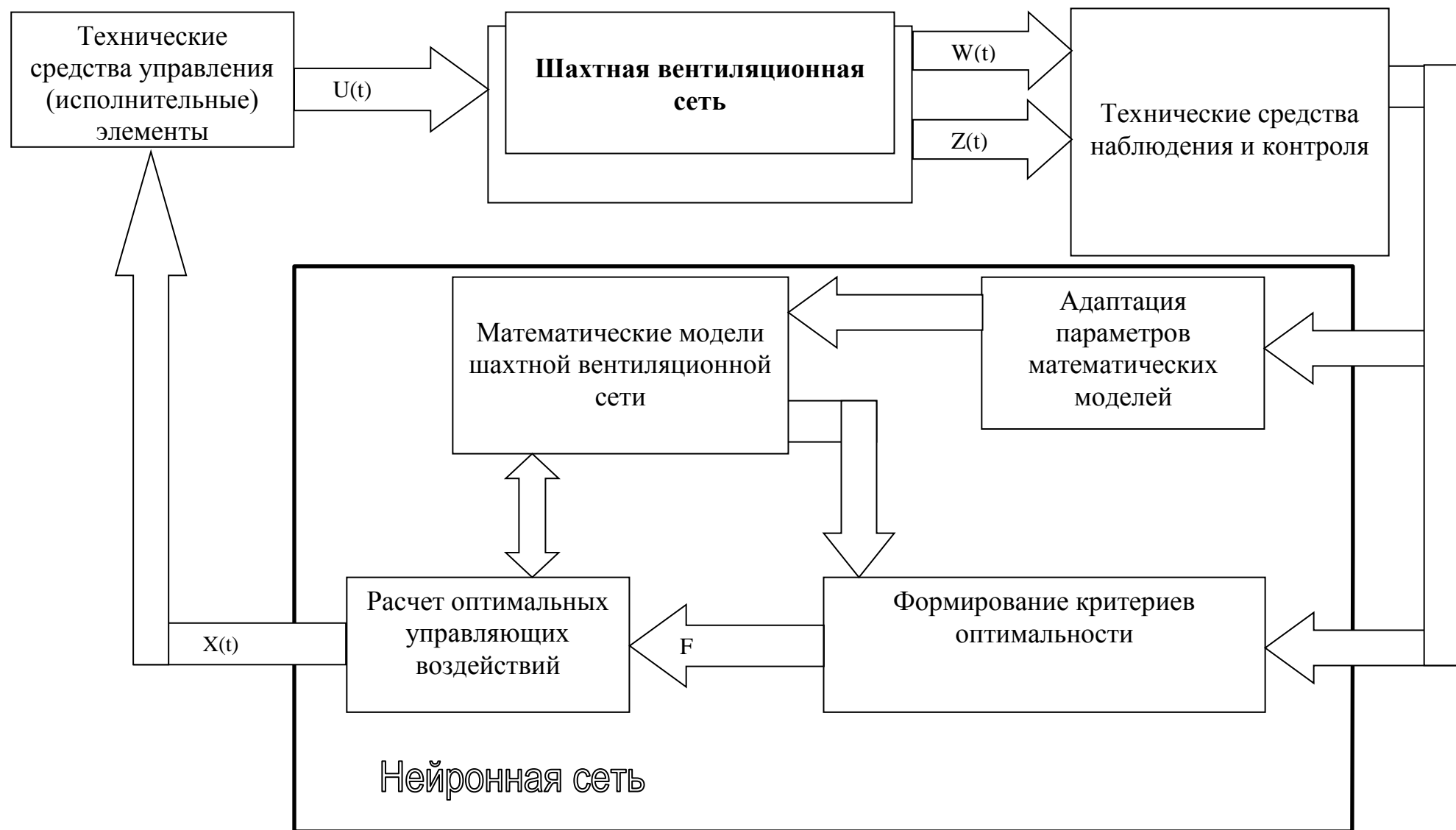


Рисунок 15 - Структура алгоритма моделирования системы управления воздухораспределением на базе нейронных сетей.

законы являются аналогами первого и второго законов Кирхгофа, широко используемых в электротехнических цепях. Подобно напряжению в электрических цепях давление вдоль замкнутого контура шахтной вентиляционной сети равно сумме падений давлений в ветвях и напоров вентиляторов, находящихся в контуре. Общий вид таких уравнений:

$$\sum_{i \in M_k} r_i(t) q_i^2(t) \operatorname{sgn}(q_i(t)) = h_k, k = 1, 2, \dots, m, \quad (38)$$

где M_k – множество индексов ветвей, входящих в k -й контур; $r_i(t)$ – аэродинамическое сопротивление i -й ветви; $q_i(t)$ – расход воздуха i -й ветви; $h_k(t)$ – депрессия, развиваемая вентилятором в k -м контуре; m – число независимых контуров.

Уравнения (38) дополняются уравнениями неразрывности потоков воздуха в узле:

$$\sum_{i \in I_j} q_i(t) = 0, j = 1, 2, \dots, \alpha, \quad (39)$$

где I_j – множество индексов ветвей, входящих в j -й узел; α – число узлов шахтной вентиляционной сети.

Анализируя уравнения (38) и (39), можно видеть, что они представляют собой системы нелинейных относительно $q_i(t)$ алгебраических уравнений. Изменение какого-либо аэродинамического сопротивления r_s приводит к изменению расходов воздуха во всех ветвях.

Сетевые уравнения (38) и (39) являются основными математическими соотношениями, используемыми для расчета и оптимизации воздухораспределения в идеальных шахтных вентиляционных сетях [2]. Особую роль эти уравнения играют при решении задач проектирования сетей. В подобном случае проектируемой сети ставятся в соответствие сетевые модели (38) и (39), причем ее топологическая структура считается детерминированной и неизменной. Все отличия процессов, происходящих в реальных шахтных вентиляционных сетях, от процессов в идеализированной сети игнорируются, и задача проектирования (оптимизации) становится задачей нелинейного

(линеаризованного) программирования. Методы и алгоритмы решения подобных задач достаточно известны и широко применяются в практике.

В задачах оперативного (диспетчерского) управления воздухораспределением использование соотношений уже не так бесспорно в силу различия процессов в реальных и идеализированных шахтных вентиляционных сетях или, иными словами, в силу неадекватности реальных воздухораспределительных сетей и их математических моделей.

Для того чтобы выявить, в чем отличие реальных сетей от их идеализированных уравнений, заметим, прежде всего, что каждый член системы уравнений (38) имеет вид $r_i q_i^2 \operatorname{sgn}(q_i)$ в предположении турбулентного потока в i -й ветви. Для ламинарного потока воздуха зависимость падения депрессии в ветви от r_i и q_i имеет линейный вид. В то же время для реальных ветвей из-за их значительной протяженности, сложной конфигурации и различного характера потоков на различных участках зависимость $q_i(h_i, r_i)$ имеет более сложный характер. Это означает, что использование контурных уравнений (38) сопряжено с наличием систематической ошибки, причем последняя зависит как от мгновенных значений $q_i(t)$, $r_i(t)$, так и от топологических свойств шахтной вентиляционной сети. Заметим также, что уравнения (38) и (39) могут быть составлены (и быть справедливы) лишь в случае, когда известны все ветви с ненулевыми расходами воздуха. Однако в реальных условиях действующих шахт часто невозможно учесть все пути утечек воздуха, в силу чего уравнения (38, 39) не являются замкнутыми, что приводит к еще одной составляющей систематической ошибки описания реальной сети.

Помимо перечисленных факторов, под действием которых процессы, происходящие в реальных шахтных вентиляционных сетях, отличаются от процессов в идеализированных моделях, на воздухораспределение влияет большая группа возмущающих факторов, имеющих вероятностную природу. К ним можно отнести: реверс естественной тяги вследствие колебаний атмосферных параметров; изменение аэродинамических сопротивлений выработок из-за движения в них транспорта; изменение сечений выработок

шахты под влиянием горного давления; изменение аэродинамических сопротивлений выемочных участков по мере продвижения забоев; влияние взрывных работ. Этот перечень можно продолжить, однако и так ясно, что, если учитывать наличие систематических погрешностей и влияние динамических факторов, то уравнения (38 и 39) следовало бы записать в виде:

$$\sum_{i \in M_k} \tilde{r}_i(t) \tilde{q}_i^2 \operatorname{sgn}(\tilde{q}_i) + \delta_k(t) = \tilde{h}_k(t), \quad (40)$$

$$\sum_{i \in I_j} \tilde{q}_i(t) + \gamma_i(t) = 0, \quad r_i(t) = r_i + \Delta r_i(t), \quad h_k(t) = h_k + \Delta h_k(t), \quad (41)$$

где $\Delta r_i(t)$ – вероятностные отклонения i -го аэродинамического сопротивления от среднего значения; $\Delta h_k(t)$ – вероятностные отклонения депрессии k -го контура от среднего значения; $\delta_k(t)$ – невязка k -го контурного уравнения из-за наличия систематической ошибки; $\gamma_i(t)$ – невязка i -го узлового уравнения из-за наличия систематической ошибки.

Если значения систематических ошибок $\delta_k(t)$ и $\gamma_i(t)$ считать случайными, то в этом случае факторы $\Delta r_i(t)$, $\Delta h_k(t)$, $\delta_k(t)$, $\gamma_i(t)$ будут иметь одну физическую природу. Таким образом, учет особенностей физических процессов в реальных шахтных вентиляционных сетях приводит к необходимости рассмотрения нелинейных стохастических систем уравнений.

Хотя многообразие реальных шахтных вентиляционных сетей не позволяет однозначно характеризовать динамические и вероятностные свойства этих процессов, все же следует подчеркнуть следующие их особенности.

Так, процессы $\Delta r_i(t)$, и $\Delta h_k(t)$ имеют значительный разброс по характерным периодам затухания. Компоненты процессов, обусловленные влиянием транспорта, взрывами, обрушением кровли, выбросами, имеют малые характерные периоды затухания (порядка 1–5 минут), а компоненты процессов, обусловленные другими причинами, имеют значительно большие характерные периоды.

Процессы $\delta_k(t)$ и $\gamma_i(t)$ можно условно считать слабозависимыми от времени. Это предположение, естественно, может нарушаться, если топологическая

структура шахтной вентиляционной сети меняется быстро, например, из-за установки перемычек в вентиляционных выработках. Однако такие случаи можно учитывать, если рассматривать изменение аэродинамического сопротивления ветви в пределах от r_i^0 до ∞ при неизменной топологической структуре шахтной вентиляционной сети.

Экспериментальные исследования процессов $\Delta q_i(t)$ и $\Delta r_i(t)$, выполненные рядом авторов, показывают, что аэродинамические сопротивления выработок под влиянием производственной деятельности могут изменяться на 20–50%. «Старение» горных выработок под влиянием горного давления изменяет аэродинамические сопротивления в среднем на 30–50%, а для некоторых выработок и до 50%. Ясно одно, что изменение аэродинамических сопротивлений влечет за собой изменение дебитов воздуха как по величине, так и, возможно, по направлению.

В зависимости от степени и длительности отклонений дебитов воздуха от среднего значения различают: микропульсации $\Delta q_i(t)$ с периодом колебаний до 1-й минуты и величиной отклонений $\pm 10\%$ от среднего значения; макропульсации с периодом колебаний от 3 до 10 минут и величиной отклонений $\pm 20\%$ от среднего дебита; колебания с периодом колебаний более 10-ти минут и величиной отклонений более 20%; опрокидывания, когда изменяется направление движения воздуха.

Синтез системы управления, т.е. выбор критерия качества, определение частоты съема информации, их периода и алгоритма управления воздухораспределением зависит, таким образом, от динамических и вероятностных свойств процессов $\Delta r_i(t)$, $\Delta q_i(t)$, $\Delta h_k(t)$, $\delta_k(t)$, $\gamma_i(t)$.

Состояние системы проветривания шахт характеризуется рядом аэродинамических параметров: количеством воздуха, поступающего в шахту и к местам его потребления, его давлением, скоростью, химическим составом (содержанием вредных примесей), температурой и влажностью, а также аэродинамическим сопротивлением выработок и их депрессией. В условиях оптимального управления воздухораспределением, очевидно, слишком сложно и

нецелесообразно производить контроль всех этих параметров. Модель оптимального управления воздухораспределением должна быть достаточно проста, а, следовательно, должна основываться на минимальном объеме информации.

Для оптимального управления воздухораспределением основными контролируемыми параметрами являются: расход воздуха в выработках (регулируемая величина), а также положения воздухорегулирующих устройств и режимы работы вентиляторов главного проветривания (основные управляющие воздействия) [2, 11, 212].

Такие параметры, как температура и влажность, при безаварийной работе шахты изменяются в незначительных пределах, поэтому контроль их не обязателен.

Распределение воздуха в вентиляционной сети определяется зависимостями, связывающими депрессию, расход воздуха и аэродинамическое сопротивление горных выработок. Для определения аэродинамического сопротивления необходим контроль депрессии. Определить депрессию можно с помощью датчиков давления в начале и конце каждой ветви.

Изменение аэродинамического сопротивления выработок по мере развития горных работ происходит, главным образом, за счет изменения их длины и площади поперечного сечения. При этом для выработок, находящихся в массиве, удельное сопротивление практически постоянно. Удельное сопротивление выработок, поддерживаемое в выработанном пространстве в состоянии, отвечающем требованиям Правил безопасности в угольных шахтах, изменяется в небольших пределах. Кроме того, о размере аэродинамического сопротивления ветви можно судить по изменению расхода воздуха в ней.

Для определения количества воздуха, проходящего по выработке, необходимо знать скорость его движения и площадь поперечного сечения выработки. Очевидно, что автоматический контроль второго параметра нецелесообразен. Изменения сечений выработок обусловлены главным образом процессами сдвигания вмещающих пород в зоне влияния очистного забоя.

Сечения выработок, находящихся в массиве, практически не меняются. Следовательно, для датчиков скорости воздуха, установленных в таких выработках, контроль сечения не нужен. В выработках, поддерживаемых в выработанном пространстве, для стационарных датчиков оборудуют специальные замерные станции, где постоянный контроль сечения также не требуется; для датчиков, перемещающихся вслед за лавой, корректировка сечения может осуществляться вручную при переносе датчика. Для датчиков, расположенных в лаве, автоматический контроль сечения невозможен, для них в любом случае необходима систематическая ручная корректировка площади поперечного сечения.

Таким образом, исходя из принципа минимального количества информации и имеющихся в настоящее время технических средств, в качестве контролируемых параметров целесообразно выбрать скорость движения воздуха, положение воздухорегулирующих устройств и подачу вентиляторов главного проветривания.

В Таблице 2 представлена подробная расшифровка групп факторов, влияющих на положения воздухорегулирующих устройств и подачи вентиляторов главного проветривания. Состав включаемых в рассмотрение факторов определяется экспертами (начальник вентиляции и (или) главный инженер) в зависимости от важности данного расхода воздуха и наличия статистики.

Таблица 2 - Факторы, влияющие на положения воздухорегулирующих устройств и подачи вентиляторов главного проветривания

№	Группа факторов	Подгруппы факторов	Название фактора
1	Подготовительные участки	Подготовительный участок №1	q_1 Расход воздуха в выработке №1
2			q_2 Расход воздуха в выработке №2
3			.....

Продолжение таблицы 2

№	Группа факторов	Подгруппы факторов	Название фактора
4			Q_a Расход воздуха в выработке №a
5		Подготовительный участок №2	Q_{a+1} Расход воздуха в выработке № a+1
6			Q_{a+2} Расход воздуха в выработке №a+2
7			.....
8			Q_b Расход воздуха в выработке №b
9		.....
10		Подготовительный участок №n	Q_{b+1} Расход воздуха в выработке №b+1
11			Q_{b+2} Расход воздуха в выработке №b+2
12			.....
13			Q_c Расход воздуха в выработке №c
14	Очистные участки	Очистной участок №1	Q_{c+1} Расход воздуха в выработке №c+1
15			Q_{c+2} Расход воздуха в выработке №c+2
16			.....
17			Q_d Расход воздуха в выработке №d
18		Очистной участок №2	Q_{d+1} Расход воздуха в выработке №d+1
19			Q_{d+2} Расход воздуха в выработке №d+2

Продолжение таблицы 2

№	Группа факторов	Подгруппы факторов	Название фактора
20			.....
21			Q_e Расход воздуха в выработке №e
22		.....
23		Очистной участок №m	Q_{e+1} Расход воздуха в выработке №e+1
24			Q_{e+2} Расход воздуха в выработке №e+2
25			.....
26			Q_f Расход воздуха в выработке №f
27	Камеры	Камера №1	Q_{f+1} Расход воздуха в выработке №f+1
28			Q_{f+2} Расход воздуха в выработке №f+2
29			.....
30			Q_g Расход воздуха в выработке №g
31		Камера №2	Q_{g+1} Расход воздуха в выработке №g+1
32			Q_{g+2} Расход воздуха в выработке №g+2
33			.....
34			Q_h Расход воздуха в выработке №h
35		.....
36		Камера №k	Q_{h+1} Расход воздуха в выработке №h+1

Продолжение таблицы 2

№	Группа факторов	Подгруппы факторов	Название фактора
37			q_{h+2} Расход воздуха в выработке №h+2
38		
39			q_i Расход воздуха в выработке №i

Таблица 3 - Основные характеристики факторов

№	Наименование фактора	Область определения	Тип данных	Единицы измерения
1	q_1 Расход воздуха в выработке №1	(0;200)	Количественный	м ³ /сек
2	q_2 Расход воздуха в выработке №2	(0;150)	Количественный	м ³ /сек
3	.....	.....	Количественный	м ³ /сек
4	q_a Расход воздуха в выработке №a	(0;200)	Количественный	м ³ /сек
5	q_{a+1} Расход воздуха в выработке № a+1	(0;250)	Количественный	м ³ /сек
6	q_{a+2} Расход воздуха в выработке №a+2	(0;150)	Количественный	м ³ /сек
7	.....	(0;50)	Количественный	м ³ /сек
8	q_b Расход воздуха в выработке №b	(0;100)	Количественный	м ³ /сек
.....				
n	q_i Расход воздуха в выработке №i	(0;75)	Количественный	м ³ /сек

Для надежного определения количества воздуха датчики контроля необходимо размещать на участках выработок, где достигается наиболее равномерное распределение скоростей движения воздуха по сечению, а именно

на расстоянии 10–20 м от разветвлений и поворотов вентиляционных струй.

Часть датчиков, расположенных на участке, стационарна. Для них оборудуют специальные замерные станции, предусматривающие выравнивание «профиля» скоростей по сечению выработки. Остальные датчики нестационарны, поэтому для них должна быть предусмотрена ручная корректировка места установки их в контуре горной выработки.

Число датчиков определяется числом воздухоподающих и воздухоотводящих выработок. Для схем с последовательным разбавлением вредностей по источникам их выделения требуется наименьшее число датчиков – 3–4, для схем с полностью обособленным разбавлением и удалением вредностей – наибольшее – 6 шт.

Наряду с распределением одного из контролируемых параметров – скорости движения воздуха – системе горных выработок в практических условиях также имеет место объективное распределение их по сечениям горных выработок. На основе многочисленных экспериментальных исследований указанных параметров в выработках показано, что распределение скорости движения воздуха по сечению выработки в реальных условиях, как правило, значительно отличается от теоретически установленных закономерностей. Это объясняется воздействием таких многообразных для горных условий факторов, как естественное искривление горных выработок, переменная шероховатость, наличие оборудования, других предметов в выработках и т.п.

В связи с этим эксплуатация систем телеметрического контроля параметров атмосферы сопровождается контрольными ручными измерениями, трудоемкость которых значительна.

В условиях управления воздушным распределением получение информации высокой степени надежности особенно необходимо, поскольку на основе этой информации рассчитываются параметры вентиляционной сети. Вследствие этого в ряде случаев, когда из-за колебаний скорости движения воздуха в сечении выработки датчики показывают недостаточно достоверную информацию, целесообразно использовать метод локального формирования параметров в

местах их контроля [146].

Сущность метода, предлагаемого для локального формирования контролируемых параметров, заключается в том, что воздействием на турбулентную структуру воздушного потока в выработке достигается выравнивание параметров по сечению выработки, позволяющее в конечном итоге получить по измерению в одной точке средние значения скорости движения воздуха в сечении. Как показано проведенными экспериментами, такое выравнивание технически осуществимо с помощью решеток, устанавливаемых в сечении выработок [146].

Отличие значения скорости, измеренной датчиком на расстоянии 0,25 м от кровли, от средней скорости движения воздуха по сечению выработки составляет не более 3%, что в реальных условиях определяет более чем достаточную точность измерений.

В связи с тем, что количество статистических данных при эксплуатации модели оптимального управления проветриванием будет увеличиваться, и влияние факторов, как показывает анализ работы шахтных вентиляционных сетей, носит изменчивый характер, для качественного долгосрочного моделирования необходимо иметь динамическую нейросетевую модель, настаивающуюся на оптимально качественное управление.

Поэтому для моделирования режимов оптимального управления проветриванием целесообразно использовать модульную нейронную сеть, являющую собой специальный класс сетей с обратным распространением ошибки на основе многослойного персептрона (multilayer perceptron или MLP) [86, 124, 135, 211].

Модульные сети обрабатывают входные сигналы, используя несколько параллельных MLP, а затем объединяют результаты. Это стимулирует специализацию функций в каждом из модулей. В противоположность простому многослойному персептрону модульные сети не имеют полной связности между слоями, что требует меньшего количества весов при том же размере сети. Это приводит к увеличению скорости обучения и уменьшению числа обучающих

примеров. Анализ многослойных нейронных сетей показывает, что с увеличением числа нейронов в слое и количества слоев качество выходного сигнала монотонно увеличивается.

Наиболее приемлемой является нейронная сеть на базе многослойного персептрона, так как позволяет решить задачу оптимального управления с наименьшими временными затратами: данные сети достаточно детально изучены, реализованы в большом количестве прикладных пакетов и имеют большой арсенал алгоритмов обучения. Используя структуру персептрона можно максимально точно найти функцию, характеризующую зависимость положений регуляторов расхода воздуха и подач вентиляторов главного проветривания от требуемого воздухораспределения. Основной сложностью при использовании многослойной нейронной сети является отсутствие методики построения оптимальной модели. В этой связи для каждой отдельной задачи необходимо создавать новую структуру нейронной сети (выбор количества скрытых слоев, количества нейронов в скрытом слое и значения весовых коэффициентов).

В данной работе предлагается использовать модульную топологию нейронной сети.

Предпосылки для применения принципа модульности при синтезе нейронных сетей заключаются в следующем: разнородность данных обучающей выборки, ведущая к неспособности одномодульной нейронной сети правильно аппроксимировать необходимую зависимость; сложность алгоритма решаемой задачи, который требует многомодульной структуры; отличие характеристик функции ошибок на разных фрагментах обучающей выборки; необходимость накопления знаний экспертов в обученных модулях нейронной сети.

Под многомодульной нейронной сетью понимается нейронная сеть, состоящая из r слоев ($r > 2$), формируемая как из отдельных нейронов, так и из нейронных модулей, каждый слой которой может обучаться по «собственному» алгоритму.

Сложная нейронная сеть состоит из p нейронных модулей; кроме того, имеется m входных нейронов для организации дополнительных входов. Можно

считать, что нейронные модули являются фрагментами знаний экспертов, которые можно многократно использовать при построении сложных нейросетевых моделей предметно-проблемных областей.

При появлении новых знаний нейронные модули могут быть легко дообучены путем организации дополнительных входов и сохранены. Таким образом, обучение представляет собой итерационный процесс, при котором накапливается и сохраняется опыт эксперта. Следовательно, нейронная сеть для данной модели будет иметь многослойную модульную структуру. Слои сети можно разделить на три типа: входной, скрытый и выходной. Структура слоев представлена на Рисунке 16.

Все выработки шахты, включаемые в модель шахтной вентиляционной сети, условно разбиваются на добычные участки, подготовительные участки, камеры и т.д. Эти производственные объекты образуют первый слой нейронов. Один из промежуточных слоев нейронов образуется из регуляторов расхода воздуха. Выходной слой состоит из вентиляторов главного проветривания. При необходимости основную сеть можно дополнить вспомогательными модулями, которые будут реализовывать получение конкретных управляющих воздействий на вентиляторы главного проветривания по имеющимся интегральным показателям (например, «подача»): число оборотов рабочего колеса (двигателя), угол поворота лопаток рабочего колеса или направляющего и спрямляющего аппарата и т.д.

Таким образом, при достаточно точном обучении сети можно, подавая на входы сети требуемое воздухораспределение, на выходе получить значения уставок регуляторов расхода воздуха и подачи вентиляторов главного проветривания, удовлетворяющие заданному критерию оптимальности. Причем, желаемое воздухораспределение, подаваемое на входы, может содержать «пробелы», то есть некоторые значения расходов воздуха можно не указывать – сеть все равно найдет значения уставок регуляторов расхода воздуха и подач вентиляторов главного проветривания в условиях неполной информации [297].

На входной слой подаются входные значения – значения расходов воздуха

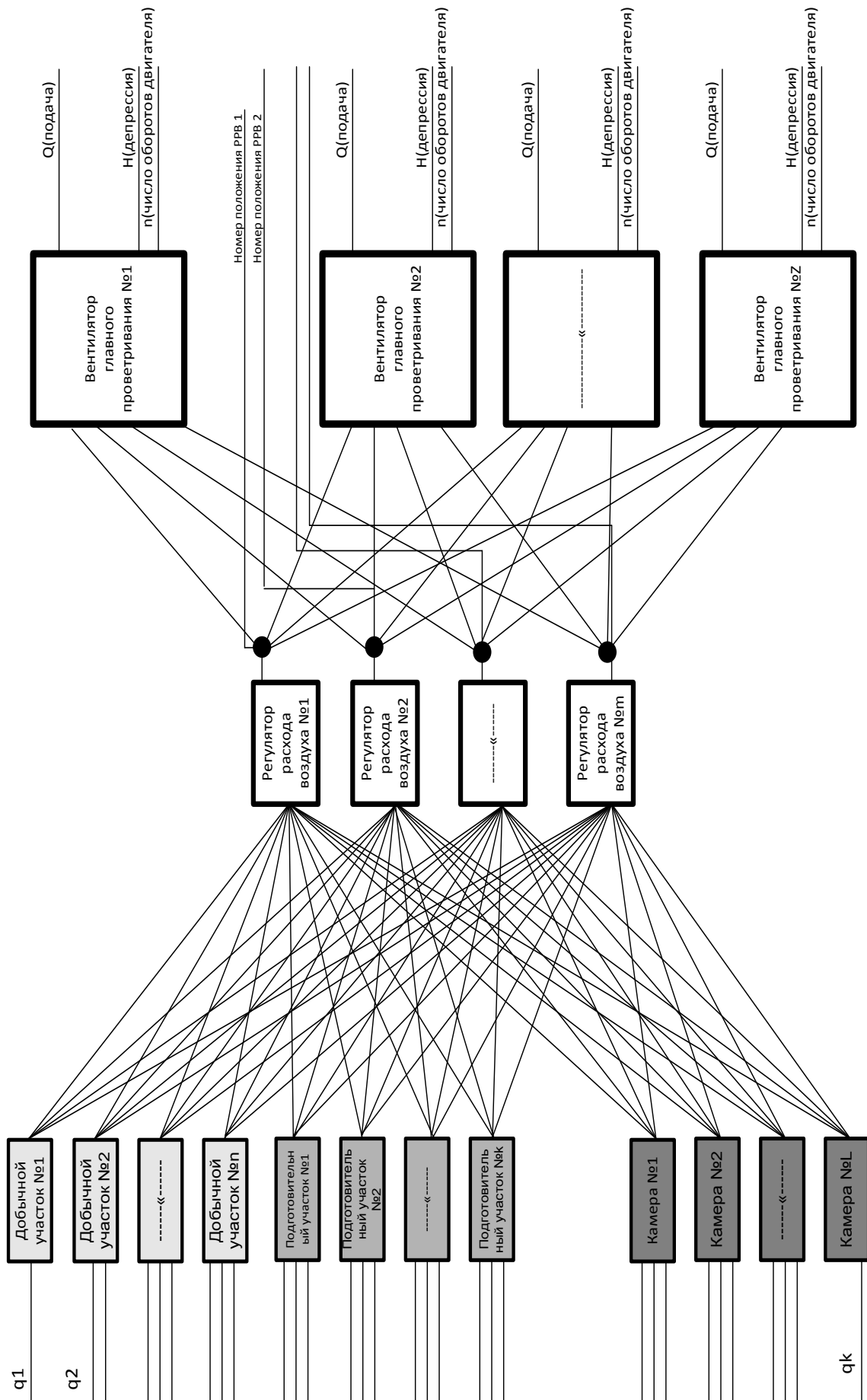


Рисунок 16 - Фрагмент структуры нейронной сети при управлении воздушораспределением угольной шахты

(требуемое воздухораспределение). Количество нейронов в этом слое равняется количеству факторов использующихся для модели, с учетом предварительной обработки статистических данных.

Модель управления воздухораспределением реализована нейронной сетью в виде некоторого функционала F , описывающего зависимость положений воздухорегулирующих устройств и подач вентиляторов главного проветривания от требуемого воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети:

$$\overline{G} = F(q_1, q_2, \dots, q_k), \quad (42)$$

где \overline{G} - вектор положений воздухорегулирующих устройств и подач вентиляторов главного проветривания;

q_1, q_2, \dots, q_k - одномерный вектор расходов воздуха в выработках шахты.

Критерий оптимальности управления воздухораспределением (минимум затрачиваемой на проветривание мощности) представляется в виде:

$$H(r_1, r_2, \dots, r_m, q_1, q_2, \dots, q_k, Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = \min \sum_{i=1}^m r_i (|q_i|)^3, \quad (43)$$

где r_1, r_2, \dots, r_m - одномерный вектор сопротивлений выработок шахты;

Q_1, Q_2, \dots, Q_n - одномерный вектор подач вентиляторов главного проветривания.

При этом вводятся следующие ограничения:

$$q_j^{\min} \leq q_j \leq q_j^{\max}, j \in V_q; \quad (44)$$

$$r_i^{\min} \leq r_i \leq r_i^{\max}, i \in V_r; \quad (45)$$

$$h_j^{\min} \leq h_j \leq h_j^{\max}, j \in V_h; \quad (46)$$

Ограничения (44) обычно предопределяются правилами безопасности в угольных шахтах, причем во множество индексов V_q обычно входят лишь номера ветвей (участков, лав), на которых ведутся работы. Ограничения (45) связаны с технической реализацией регуляторов расхода воздуха или перемычек, кроссингов и т.д. Ограничения (46) обусловлены экономическими режимами работы вентиляторов главного проветривания и ограниченностью диапазонов их

регулирования.

ВЫВОДЫ

1. Предложен алгоритм математического моделирования горно-геологических условий в 3D-моделях угольных месторождений. В качестве наиболее эффективного метода для восстановления функции изменчивости природных факторов угольных месторождений выбран метод сплайн-функций Грина.

2. Предлагаемое в диссертации прогнозирование геологической информации в 3D-моделях угольных месторождений с использованием сплайн-функций Грина позволяет создать компьютерную систему, состоящую из нескольких тысяч функциональных зависимостей, наиболее полно описывающих динамику природных характеристик в исследуемой углевмещающей толще.

3. Разработан алгоритм моделирования геоструктур угольного месторождения на основе нейронных сетей Кохонена, позволяющий в автоматизированном режиме осуществлять кластеризацию данных в 3D-моделях пластовых месторождений, выявляя участки пластов с выдержанными параметрами, что является основой для последующей оценки применимости технологий освоения георесурсного потенциала горных предприятий.

4. Методические основы синтеза прогрессивных горнотехнических систем угольных шахт базируются на математической формализации и моделировании технологических систем разработки и интерактивного размещения их в прогнозируемой горно-геологической среде угольного пласта с целью выполнения технологических требований по условиям вентиляции, эксплуатации горного оборудования и т.д.

5. Разработан алгоритм моделирования динамики развития горных работ, позволяющий учесть зависимость параметров и показателей качества ведения рабочих процессов от изменения горно-геологической ситуации, технологических и др. факторов, а также осуществляющий текущий и прогнозный контроль

функционирования горнотехнической системы в условиях изменяющейся производственной ситуации.

6. Разработана информационная модель управления воздухораспределением в технологической системе угольной шахты на базе нейронных сетей, позволяющая осуществить оптимальное по затрачиваемой мощности управление воздухораспределением в шахтной вентиляционной сети и минимизировать время принятия решений об изменении параметров воздухорегулирующих устройств и вентиляторов главного проветривания для достижения требуемого режима воздухораспределения. Определен набор факторов, используемых при моделировании воздухораспределения.

4. СИНТЕЗ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

4.1. Общие положения

В настоящее время особенностью применения при проектировании горнотехнических систем современных теоретических концепций является наличие их реализации и поддержки в соответствующих программных продуктах. Теорию нечетких множеств, экспертных систем, нечеткой логики, нейронных сетей и многие другие методы и средства искусственного интеллекта необходимо использовать при решении широкого круга задач, решаемых на стадиях эффективного проектирования и управления освоением георесурсного потенциала угольных месторождений. Создание и развитие программных продуктов, которые по определению ориентированы на решение задач производства при помощи интеллектуальных технологий, объективно определяют переход к использованию всего потенциала научно-технического прогресса при проектировании горнотехнических систем. В сегменте горно-геологических информационных систем (ГГИС) также представлено достаточно большое число различных вариантов программных продуктов, использование которых при проектировании освоения месторождений полезных ископаемых уже сегодня является стандартом «де-факто» в горнодобывающей отрасли.

4.2. Методические принципы моделирования геоструктур угольных месторождений

Для практической реализации алгоритма моделирования геоструктур

угольных месторождений на основе нейронных сетей Кохонена (Рисунок 11) в диссертации осуществляется синтез горнотехнической модели распознавания геоструктур (Рисунок 17) и адаптация ее для условий угольного пласта В-26, разрабатываемого шахтой «Северная» АО «Ургалуголь».

Для выделения геоструктур и принятия проектных решений эксперту необходимо анализировать значительный объем горно-геологических характеристик, представленных в 3D-моделях месторождений в виде «больших» цифровых данных. Следует отметить, что в современных ГГИС нет штатных средств для автоматизированного распознавания геоструктур.

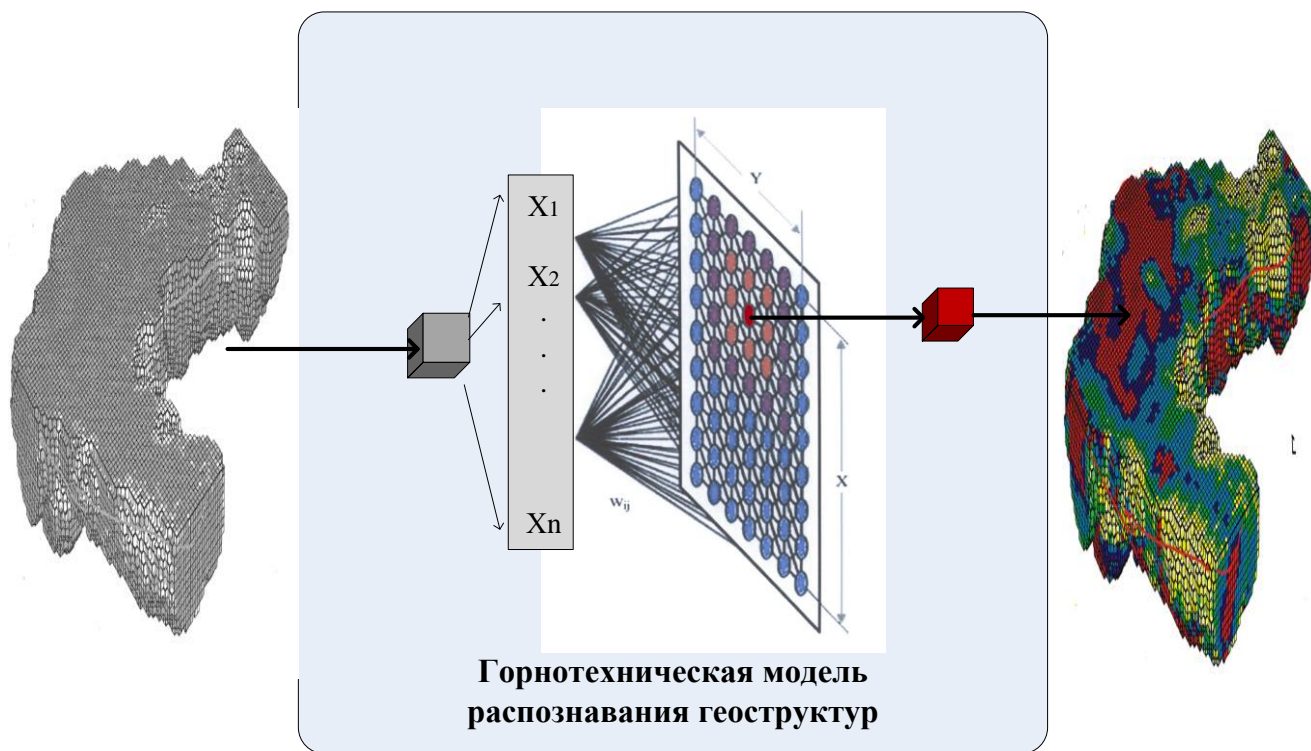


Рисунок 17 - Горнотехническая модель распознавания геоструктур и ее эксплуатация

При синтезе горнотехнической модели распознавания геоструктур использовалась 3D-модель, созданная в ГГИС Micromine и включающая данные, полученные на этапе геологоразведки месторождения (данные по скважинам), информацию, полученную при прогнозировании горно-геологических и горнотехнических условий залегания полезного ископаемого, каркасные модели, данные блочной 3D-модели месторождения.

Следовательно, информация для обработки представляет собой данные, которые содержатся в 3D-блоках - геометризованных частях месторождения с условно одинаковыми свойствами (Рисунок 18).

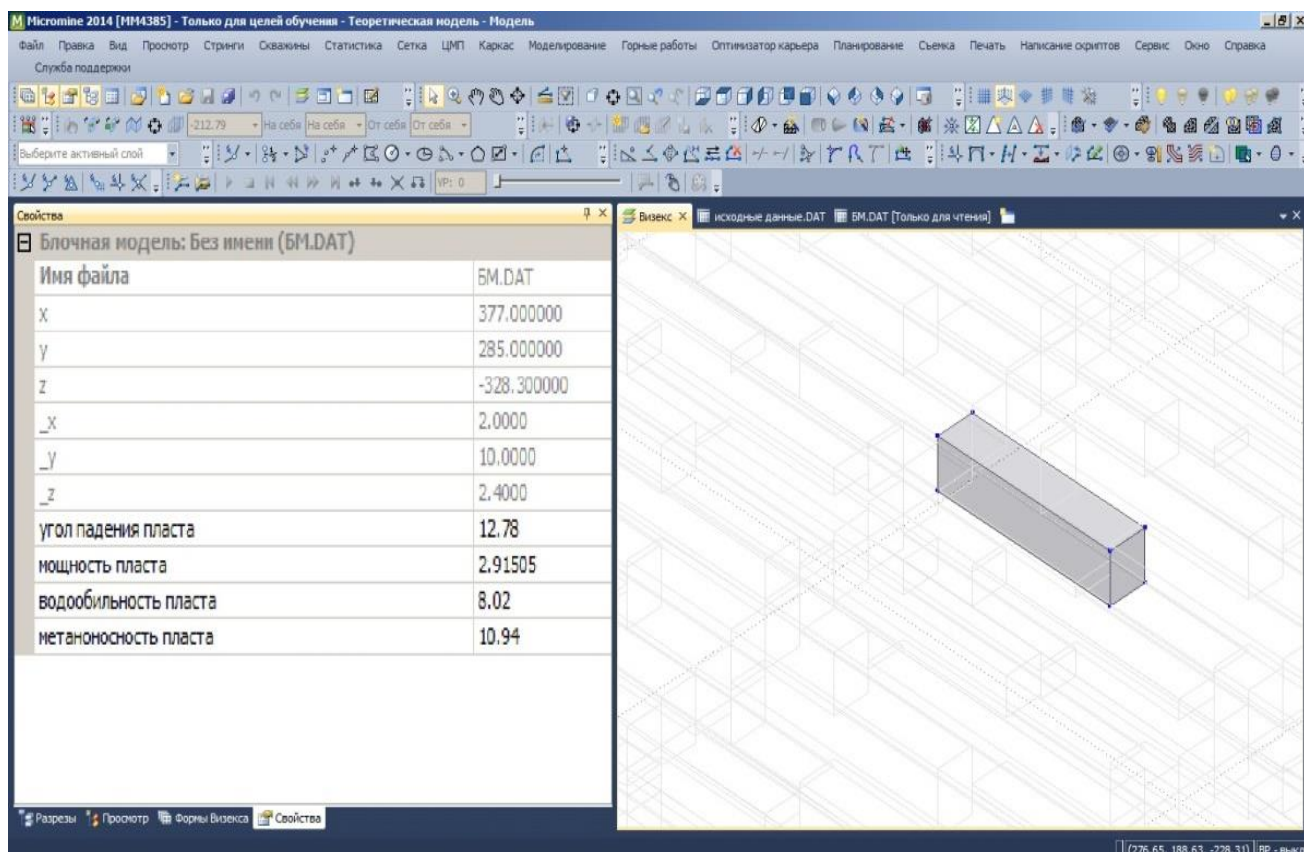


Рисунок 18 - Данные, содержащиеся в 3D-блоке модели месторождения

Для синтеза горнотехнической модели распознавания геоструктур из ГГИС Micromine был экспортирован файл данных в виде электронной таблицы Microsoft (MS) Excel (Рисунок 19), содержащий данные по 3D-блокам модели месторождения.

Программное обеспечение, позволяющее задействовать метод анализа данных на основе самоорганизующихся сетей Кохонена, представлено множеством инструментов. Для синтеза горнотехнической модели распознавания геоструктур использовалось программное обеспечение (ПО) Deductor.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	№ п/п	Номер скважины	Координата (X)	Координата (Y)	Отметка кровли пласта, м	Отметка почвы пласта, м	Мощность пласта (по нормали), м	Крепость угля, МПа	Зольность угля с учетом прослоек, %	Влажность пласта, %	Природная метаносность угля, м³/т с б.м.
1											
2											
3	1	1511	1924.80	1968.70	279.96	277.37	2.59	1.50	35.00	4.00	1.00
4	2	1514	1735.53	2265.79	214.73	212.05	2.68	1.50	29.00	4.00	2.00
5	3	1513	1529.89	2399.05	199.05	196.45	2.60	1.60	37.00	4.00	0.50
6	4	1519	1111.61	2678.12	175.35	173.00	2.35	1.70	30.00	4.00	1.50
7	5	1520	928.18	2846.93	188.30	186.35	1.95	1.40	32.00	4.00	1.00
8	6	1515	1959.22	2093.39	263.02	260.16	2.86	1.50	32.00	4.00	2.00
9	7	1207	2056.21	2288.30	261.71	259.00	2.71	1.60	28.00	4.00	1.50
10	8	1210	1864.40	2446.37	336.41	334.14	2.27	1.40	21.00	4.00	2.00
11	9	1212	1667.18	2592.35	201.38	198.69	2.69	1.70	34.00	4.00	1.00
12	10	1221	1402.91	2699.34	183.93	181.29	2.64	1.60	35.00	4.00	2.00
13	11	1218	1251.86	2881.07	177.32	174.73	2.59	1.50	29.00	4.00	0.50
14	12	1215	1071.93	3053.40	179.22	176.47	2.75	1.40	30.00	4.00	1.50
15	13	1541	2365.50	2451.89	307.43	304.62	2.81	1.70	31.00	4.00	1.00
16	14	1542	2275.79	2542.95	273.33	270.72	2.61	1.60	31.00	4.00	2.00
17	15	1547	2159.42	2623.47	245.21	242.72	2.49	1.50	30.00	4.00	1.50
18	16	1546	2058.24	2709.83	225.75	223.04	2.71	1.40	29.00	4.00	2.00
19	17	1549	1966.77	2776.92	218.18	215.27	2.91	1.70	32.00	4.00	1.00
20	18	1550	1861.93	2857.71	206.50	203.57	2.93	1.60	32.00	3.95	2.00
21	19	1552	1749.15	2947.58	192.10	189.39	2.71	1.50	34.00	4.00	0.50
22	20	1555	1647.77	3018.72	202.89	200.14	2.75	1.40	31.00	4.00	1.50
23	21	1558	1529.33	3124.35	161.26	158.53	2.73	1.70	32.00	4.00	1.00
24	22	1569	1407.37	3219.37	159.55	156.58	2.87	1.60	30.00	4.00	2.00
25	23	1565	1320.13	3293.07	164.87	161.77	3.10	1.50	29.00	4.00	1.50
26	24	1564	1275.13	3326.96	171.82	169.20	2.62	1.40	26.00	4.00	2.00

Рисунок 19 - Файл данных 3D-блоков модели месторождения в виде электронной таблицы MS Excel

Вектор входного набора данных для дальнейшей обработки в ПО Deductor [268, 269] представлен в Таблице 4.

Таблица 4 - Вектор входного набора данных для нейронной сети

№	Название компонента (параметра)
1.	Координаты 3D-блока (центроид) по оси X, усл.ед.
2.	Координаты 3D-блока (центроид) по оси Y, усл.ед.
3.	Крепость угля, Мпа
4.	Мощность угольного пласта (по нормали), м
5.	Влажность угля, %
6.	Метаносность угольного пласта, м³/т
7.	Зольность угля, %

При создании нейронной сети Кохонена в ПО Deductor столбцы таблицы (Рисунок 19) были выбраны как компоненты вектора входного набора данных, а строки – как значения этих компонент при различных условиях получения статической информации.

Нейронная сеть Кохонена обучалась на входном наборе данных. Начальная инициализация карты осуществлялась способом «из собственных векторов», а в качестве функции соседства была выбрана «ступенчатая». Определение числа кластеров производилось автоматически. Основные параметры нейронной сети приведены на Рисунке 20.

Рисунок 20 - Параметры обучения нейронной сети Кохонена

После проведения 500 эпох обучения были графически отображены его результаты в виде карт-разверток (Рисунок 21) по следующим горно-геологическим характеристикам: мощность пласта, зольность угля, природная метаносность, крепость угля и его влажность.

По результатам анализа карт-разверток был выделен один кластер данных,

что позволило объективно утверждать о том, что все запасы пласта В-26 представлены единой геологической структурой. Результаты кластеризации были в файловом режиме выгружены из ПО Deductor, а затем импортированы и визуализированы в ГГИС Micromine.

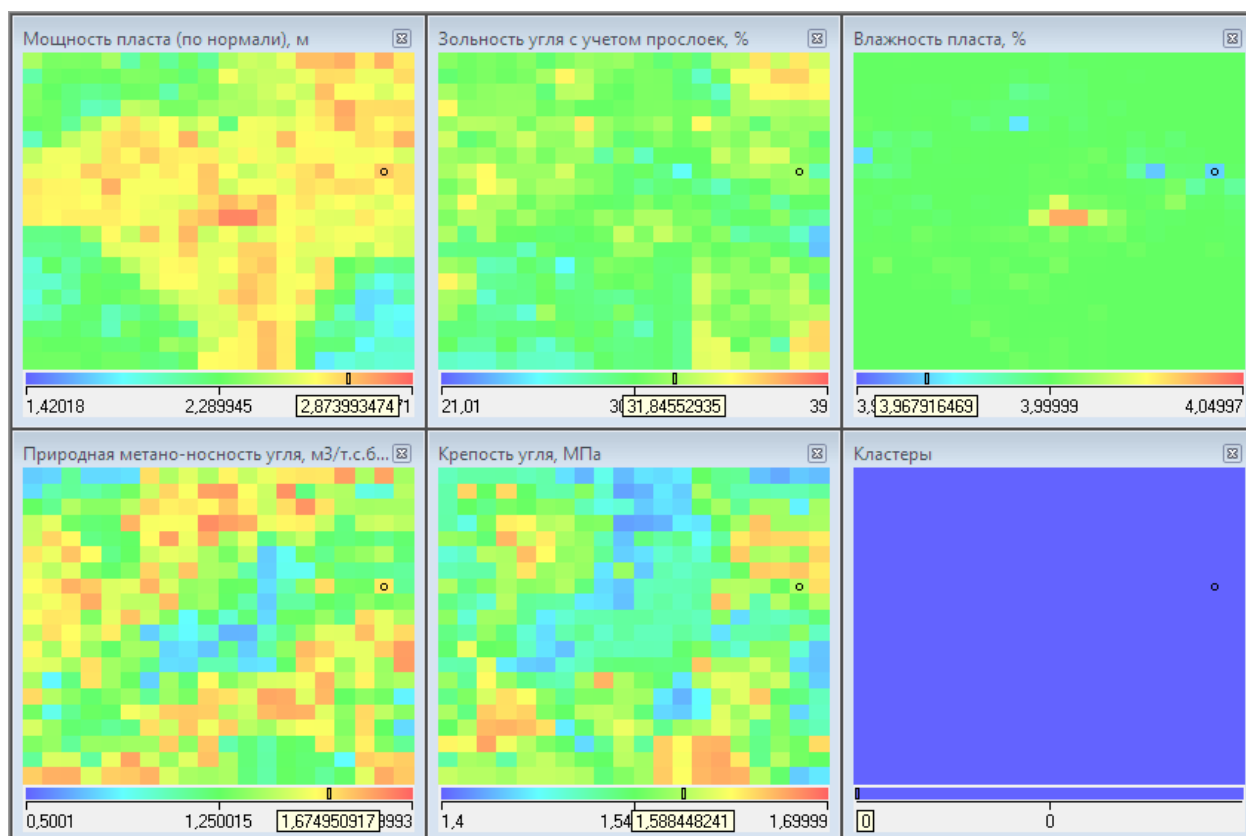


Рисунок 21 - Графический анализ результатов обучения нейронной сети в виде карт-разверток

В связи с тем, что рассматриваемый пласт имеет пологое падение, имеет низкий уровень значений обводненности, не склонен к внезапным выбросам угля и газа, можно констатировать, что все запасы пласта В-26 должны отрабатываться по системе разработки в варианте «длинные столбы по простиранию с полным обрушением кровли».

Горнотехническая модель распознавания геоструктур угольных месторождений выделяет совокупности 3D-блоков с выдержанными параметрами и пригодные для отработки монотехнологией, что позволит в автоматизированном режиме производить выбор рациональных технических и технологических решений по освоению георесурсного потенциала угольных шахт.

4.3. Реализация методических основ прогнозирования метаноносности угольных месторождений

Для практической реализации алгоритма моделирования горно-геологических характеристик (Рисунок 10) в диссертации был произведен синтез горнотехнической модели прогнозирования метаноносности угольных месторождений. На первом этапе было осуществлено 3D-моделирование в ГГИС Micromine участка угольного месторождения, разрабатываемого шахтой им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс». После создания каркасной модели угольного пласта была сформирована 3D-блочная модель участка угольного месторождения (Рисунок 22).

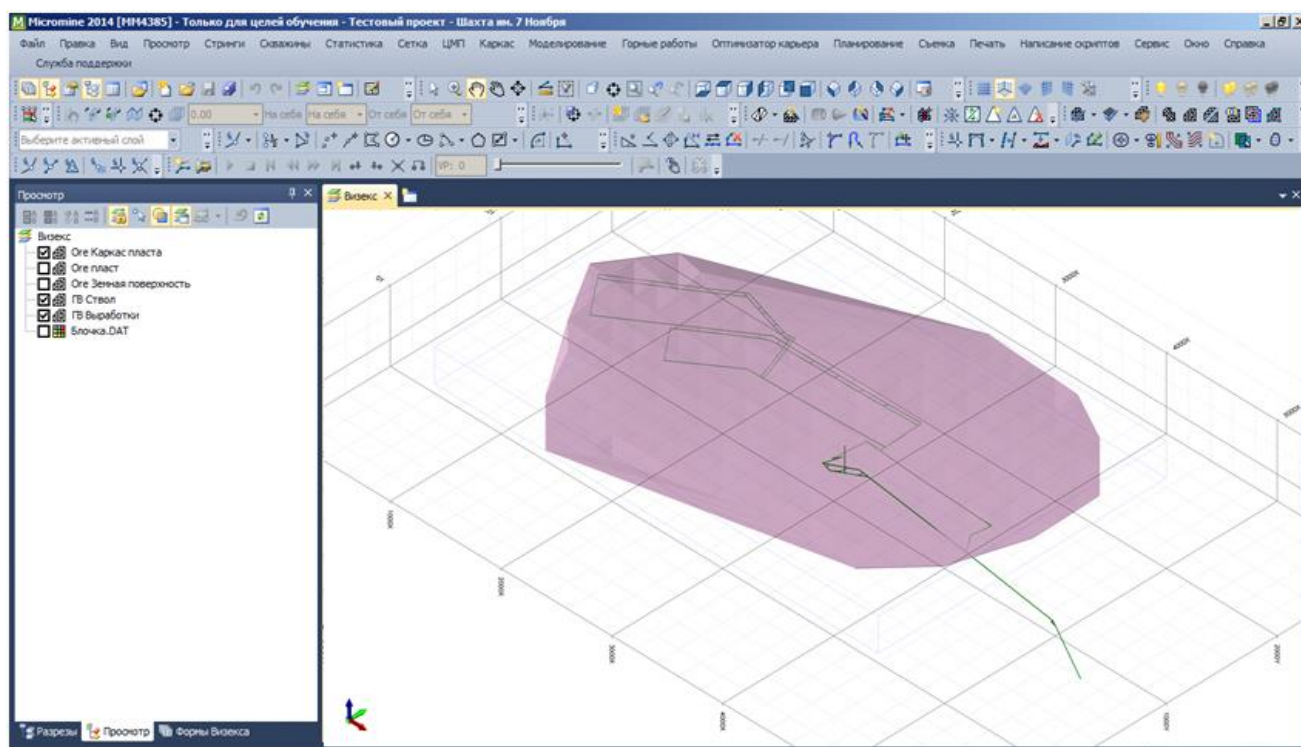
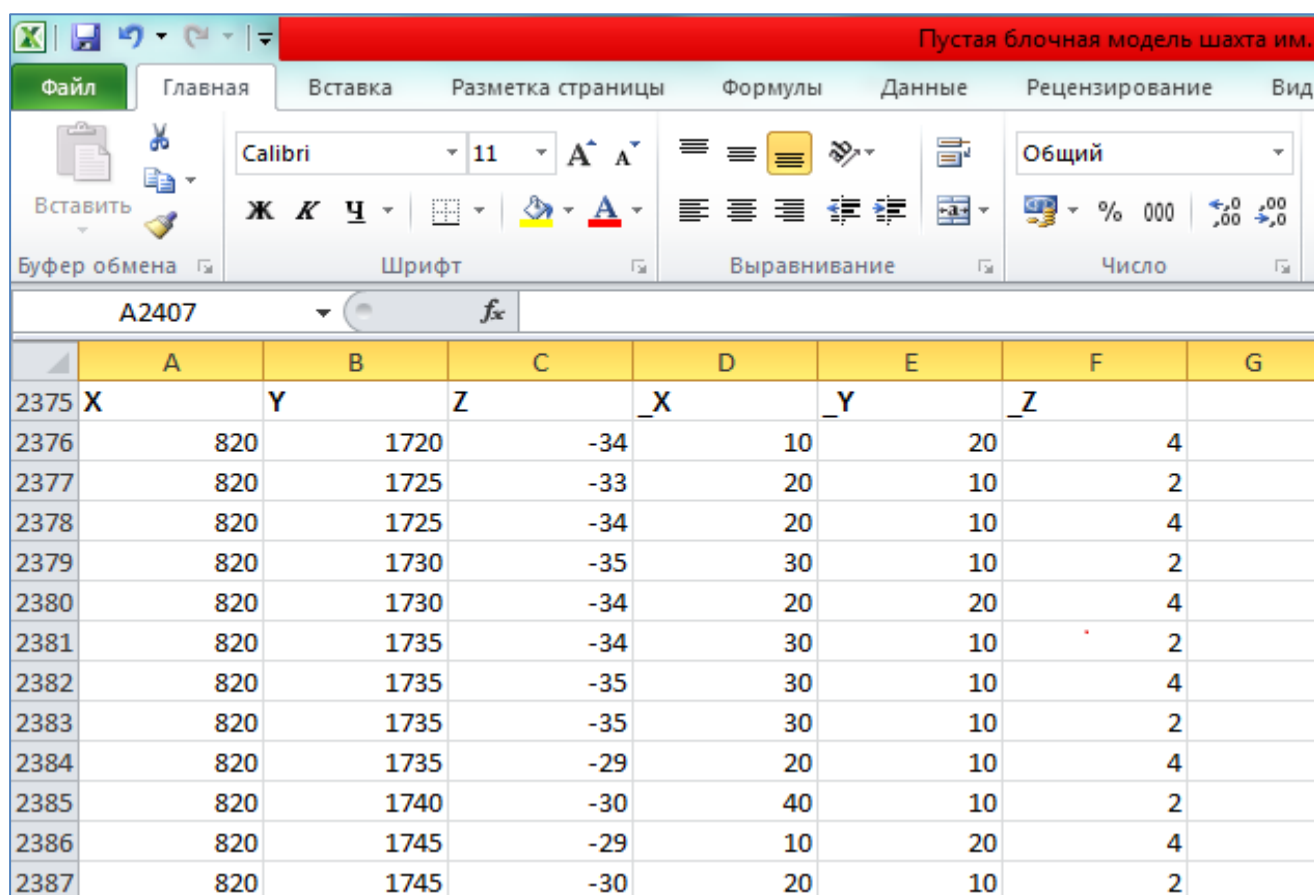


Рисунок 22 - 3D-модель участка угольного месторождения, разрабатываемого шахтой им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс»

При моделировании участка месторождения не было выявлено каких-либо явных геологических нарушений, что позволяет рассматривать 3D-модель как

содержащую всего один регион. Построение 3D-блочной модели продиктовано необходимостью формализовать природные условия залегания угольного месторождения при реализации алгоритма моделирования горно-геологических характеристик. Соответственно, после 3D-моделирования каждый геологический блок характеризуется своими координатами в пространстве и геометрическими параметрами.

Входящие в регион для прогнозирования 3D-блоки были экспортированы в виде электронной таблицы MS Excel из ГГИС Micromine (Рисунок 23) в программный пакет Matlab, предназначенный для математического моделирования и осуществления дальнейшей обработки данных в соответствии с предложенным алгоритмом [270].



	A	B	C	D	E	F	G
2375	X	Y	Z	_X	_Y	_Z	
2376	820	1720	-34	10	20	4	
2377	820	1725	-33	20	10	2	
2378	820	1725	-34	20	10	4	
2379	820	1730	-35	30	10	2	
2380	820	1730	-34	20	20	4	
2381	820	1735	-34	30	10	2	
2382	820	1735	-35	30	10	4	
2383	820	1735	-35	30	10	2	
2384	820	1735	-29	20	10	4	
2385	820	1740	-30	40	10	2	
2386	820	1745	-29	10	20	4	
2387	820	1745	-30	20	10	2	

Рисунок 23 - Экспорт данных из ГГИС Micromine в виде электронной таблицы MS Excel

Параллельно в программный пакет Matlab была импортирована база данных об угольном месторождении, сформированная на основе информации по

разведочным скважинам, где с помощью соответствующих «инструментов» была восстановлена функциональная зависимость изменения метаносности на участке угольного месторождения и произведена интерполяция метаносности угольного пласта, разрабатываемого шахтой им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс» (Рисунки 24-25). Для этого был использован CurveFittingToolbox - пакет расширения программного пакета Matlab, применяемый для решения различных прикладных задач аппроксимации и интерполяции данных, в том числе методом сплайн-функций.

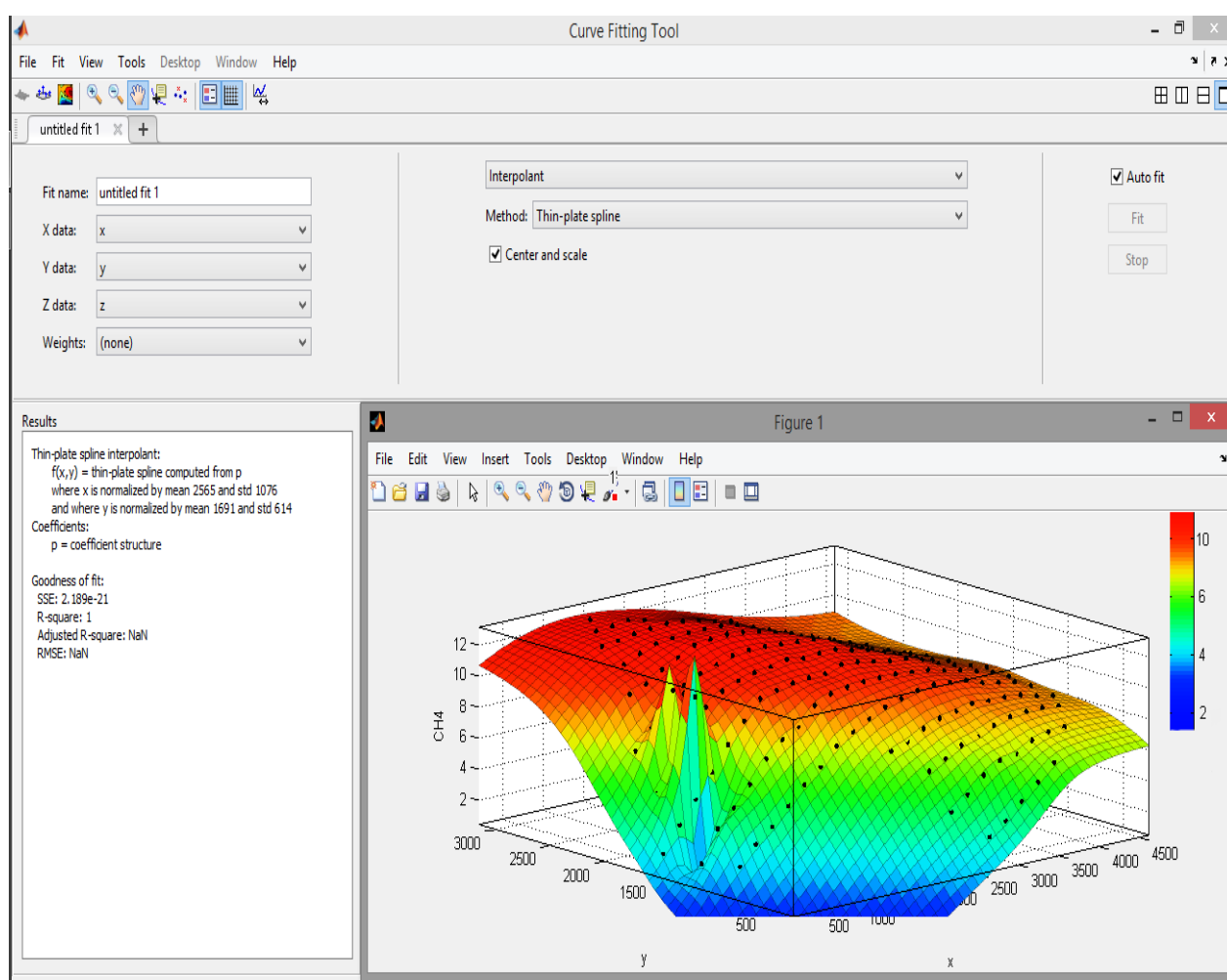


Рисунок 24 - Функциональная зависимость изменения метаносности на обрабатываемом участке шахтного поля шахты им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс»

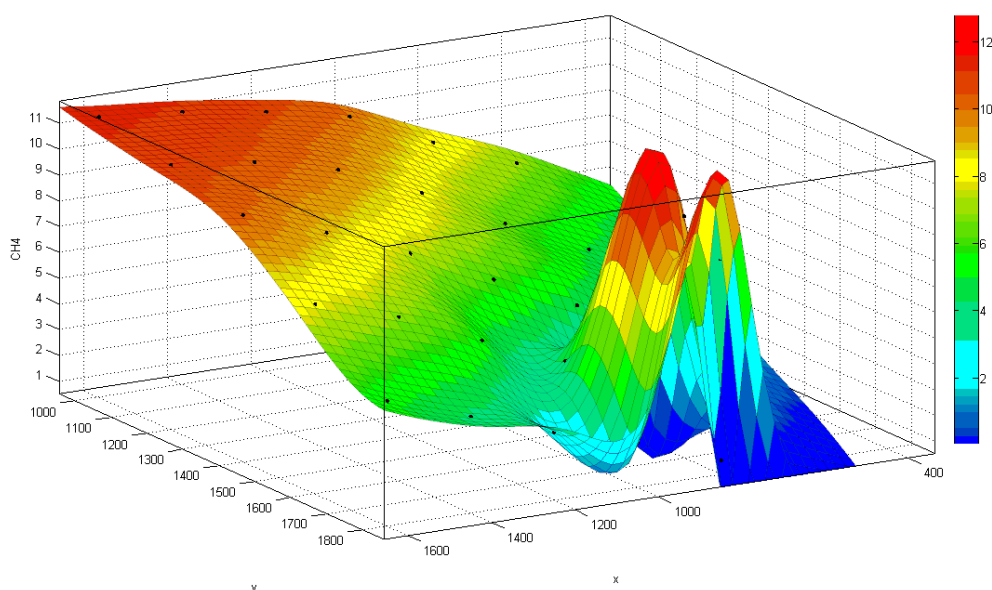


Рисунок 25 - Наиболее характерные изменения метаноносности угольного пласта, разрабатываемого шахтой им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс»

При интерполяции стандартными методами (например, методом обратных расстояний), прогнозируемые значения метаноносности будут в определенной мере различаться, так как сплайн-функция аппроксимирует природную изменчивость горно-геологических данных с учетом локальных изменений данных в окрестности точки (Таблица 5).

Таблица 5 - Сравнение результатов прогнозирования метаноносности угольного месторождения при помощи метода обратных расстояний и сплайн-функций

Координаты центра 3D-блока			CH ₄ метод обратных расстояний	CH ₄ метод сплайн- функций
X	Y	Z		
820	1720	-34	11,33619	11,33619
820	1725	-33	11,21939	11,22451
820	1725	-34	11,1961	11,13694
820	1730	-35	10,88722	11,10451
820	1730	-34	10,70666	11,10676
820	1735	-34	10,67801	11,00801
820	1735	-35	10,61126	11,00633
820	1735	-35	10,5358	11,0043
820	1735	-29	10,4774	11,0024
820	1740	-30	10,42958	11,0066
820	1745	-29	9,99496	10,52503

Продолжение таблицы 5

Координаты центра 3D-блока			CH ₄ метод обратных расстояний	CH ₄ метод сплайн- функций
X	X	X		
820	1745	-30	9,72336	10,01002
820	1745	-31	9,30651	9,36678
825	1755	-30	8,76536	9,26255
825	1755	-29	8,70323	9,07496
825	1755	-31	8,51437	8,52003
825	1755	-30	8,45082	8,41128
825	1755	-29	8,39166	8,35246
825	1755	-31	8,35823	8,44825
825	1765	-30	8,11827	8,42174

Прогнозируемое значение метаносности в заданной точке угольного пласта вычисляется для каждого 3D-блока с помощью восстановленной функциональной зависимости. Затем 3D-блоки обратно загружаются в ГГИС Micromine, где появляется возможность доступа к наглядной интерпретации изменения содержания метана на участке месторождения, разрабатываемого шахтой им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс» (Рисунок 26).

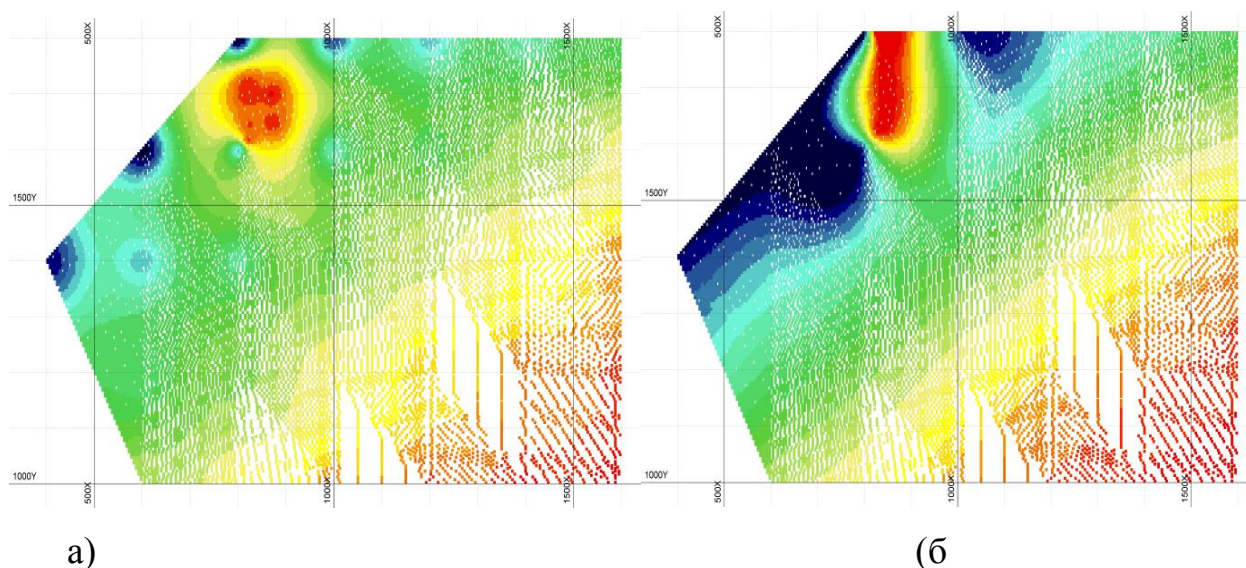


Рисунок 26 - Прогноз метаносности на участке месторождения в 3D-модели месторождения при помощи: а) стандартных методов интерполяции; б) интерполяции методом сплайн-функций

Таким образом, можно сделать вывод относительно свойств

аппроксимации, которыми обладают сплайн-функции: они весьма адекватно подходят для прогнозирования горно-геологических характеристик пластовых месторождений, а алгоритмы на их основе отличаются универсальностью и обеспечивают простоту реализации в современных программных комплексах, что обеспечивает высокий уровень надежности и достоверности получаемых результатов.

4.4. Оценка работоспособности горнотехнической модели обоснования схем вскрытия запасов угольных месторождений

В качестве практической реализации методических принципов моделирования прогрессивных проектных решений по отработке запасов угольных месторождений автором была синтезирована горнотехническая модель обоснования схем вскрытия угольных месторождений на базе технологий экспертных систем [109].

Для реализации базы знаний использовалась бесплатная программная оболочка Expert Developer Pro. Настройка правил в базе знаний осуществлялась с помощью интерфейса пользователя (Рисунок 27) в соответствии с «деревом решений» (Рисунок 13).

Программная оболочка Expert Developer Pro реализует модель работы экспертной системы в форме диалога с пользователем, задавая вопросы и получая на них односложный ответ «да» или «нет» (Рисунок 28). Каждый ответ определяет порядок перехода к следующей вершине графа «дерева решений». В итоге программная оболочка выдает пользователю рекомендации по выбору рациональной схемы вскрытия запасов угольных месторождений (Рисунок 29).

В целом следует отметить, что реализация базы знаний с целью обоснования проектных решений по вскрытию запасов угольных месторождений во многом определяется ограничениями использовавшегося программного обеспечения. Для реализации базы знаний в другом варианте программного

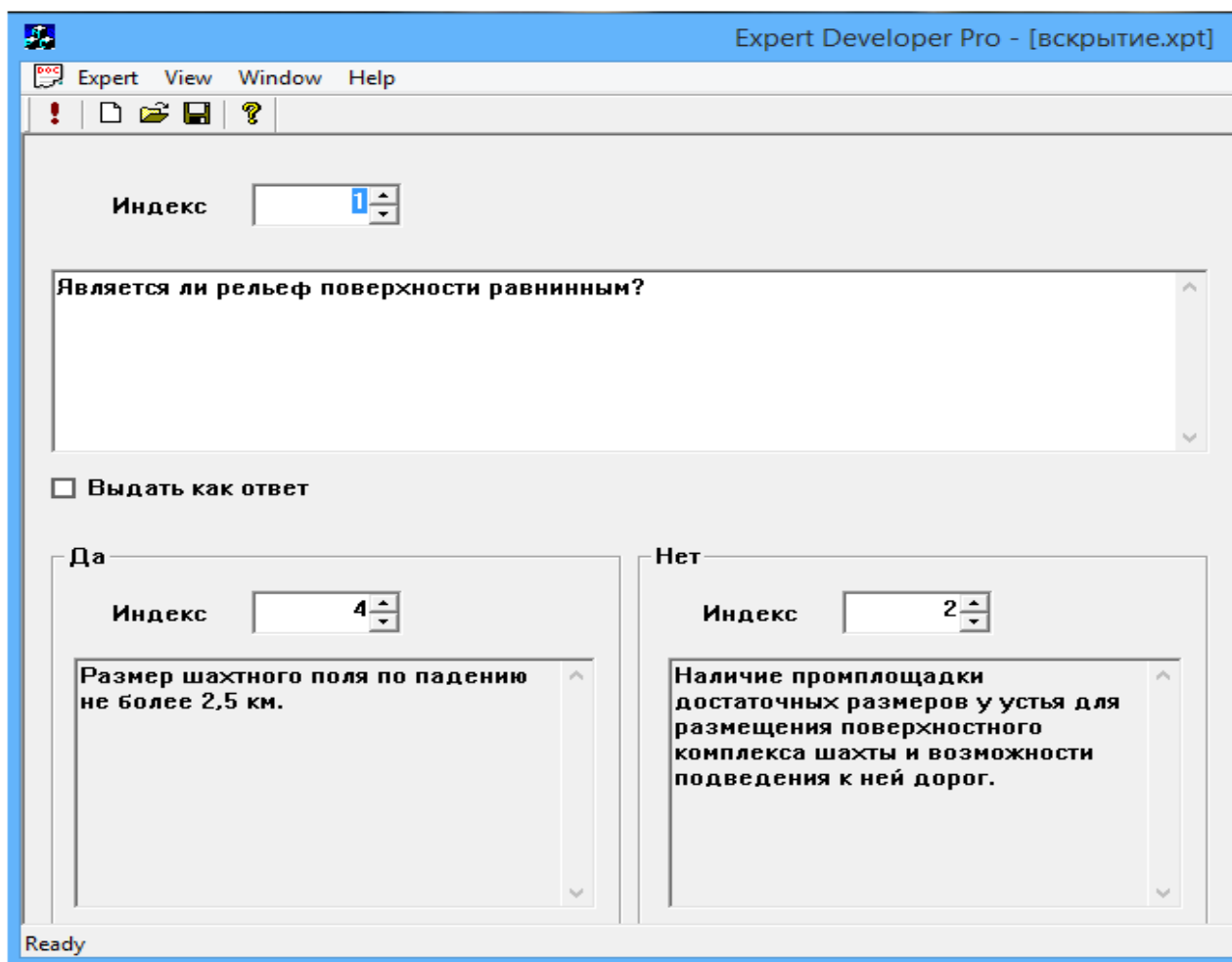


Рисунок 27 - Диалоговое окно настройки базы знаний в программной оболочке Expert Developer Pro

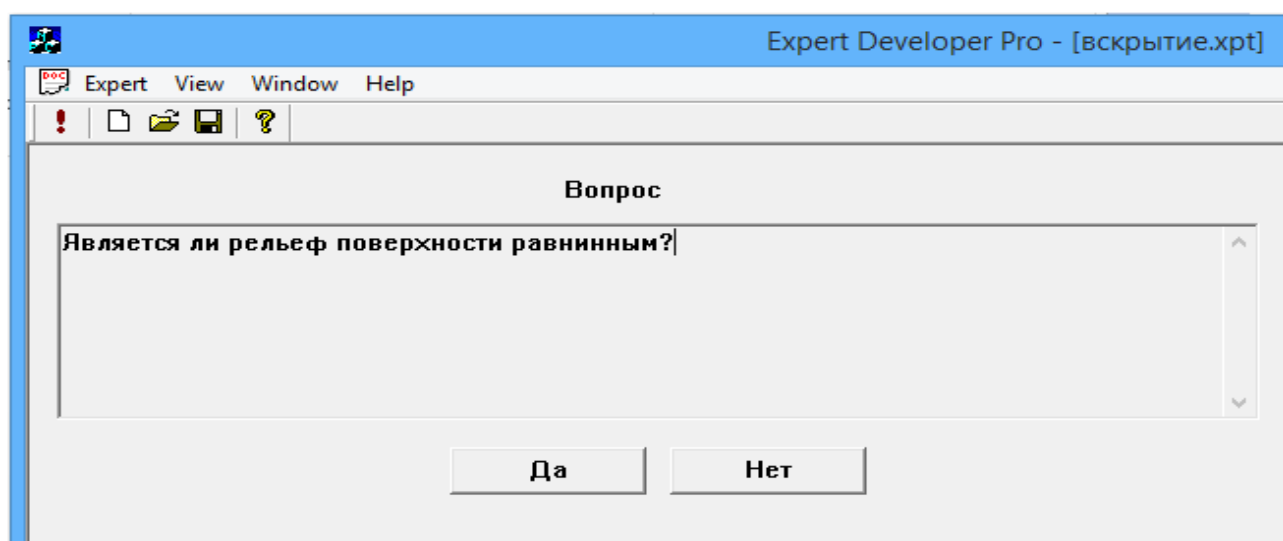


Рисунок 28 - Диалоговое окно эксплуатации программной оболочки экспертной системы в режиме диалога с пользователем

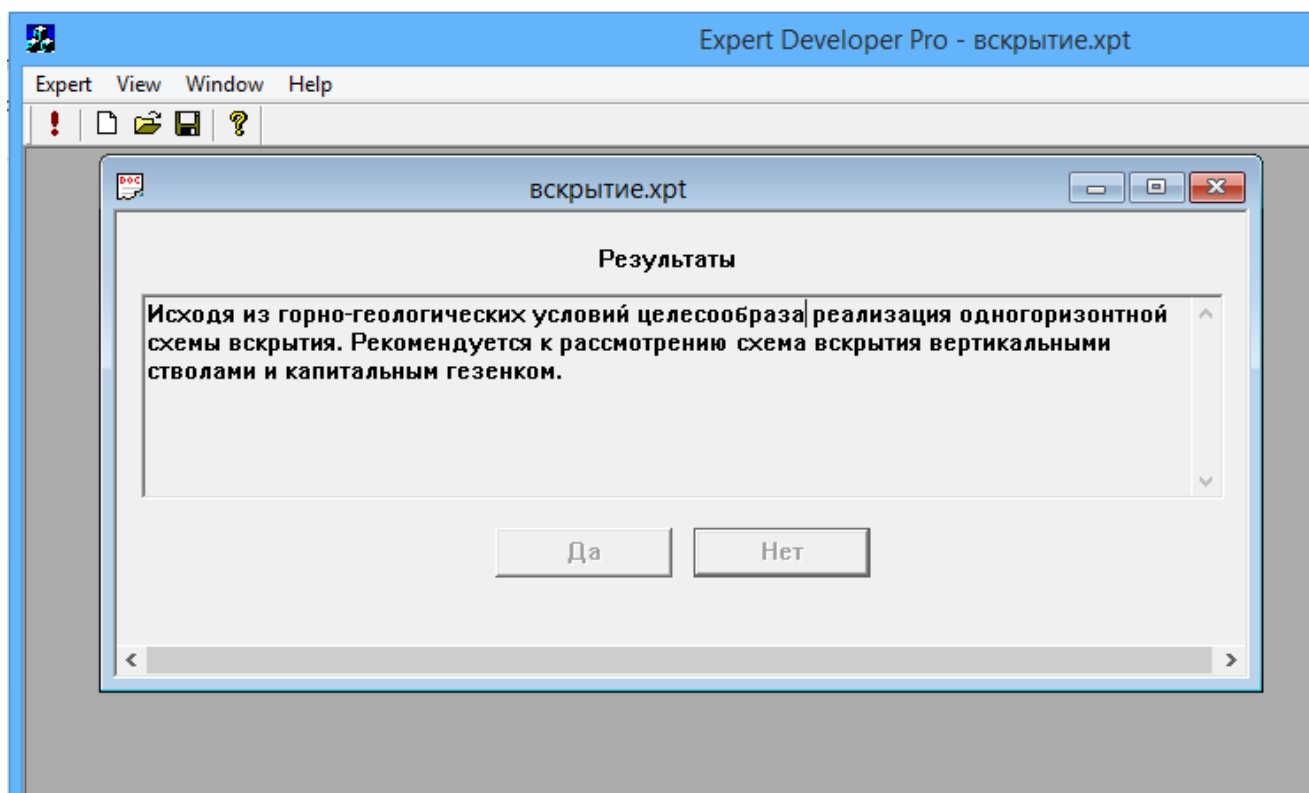


Рисунок 29 - Диалоговое окно работы эксплуатации программной оболочки экспертной системы в режиме ответа пользователю

обеспечения необходима адаптация «дерева решений» для выбора и обоснования рациональных схем вскрытия запасов угольных месторождений.

Следует отметить тот факт, что программная оболочка экспертной системы выдает только рекомендации по выбору схемы вскрытия месторождения. Модель сужает задачу в тех пределах, в которых ей позволяют это сделать заложенные правила. Окончательное решение по выбору схемы вскрытия запасов угольных месторождений остается за проектантом.

Представленная программная оболочка, в строгом функциональном определении, не является прототипом экспертной системы, формирование которой представляет более сложный процесс. Основная задача, решаемая автором диссертации, состояла в том, чтобы актуализировать возможность формализации знаний в области горного дела и представления этих знаний в виде алгоритма рассуждений, который представлен «деревом решений».

Для проверки работоспособности модели был выбран проект отработки запасов пласта Сычевский-1 АО «СУЭК-Кузбасс».

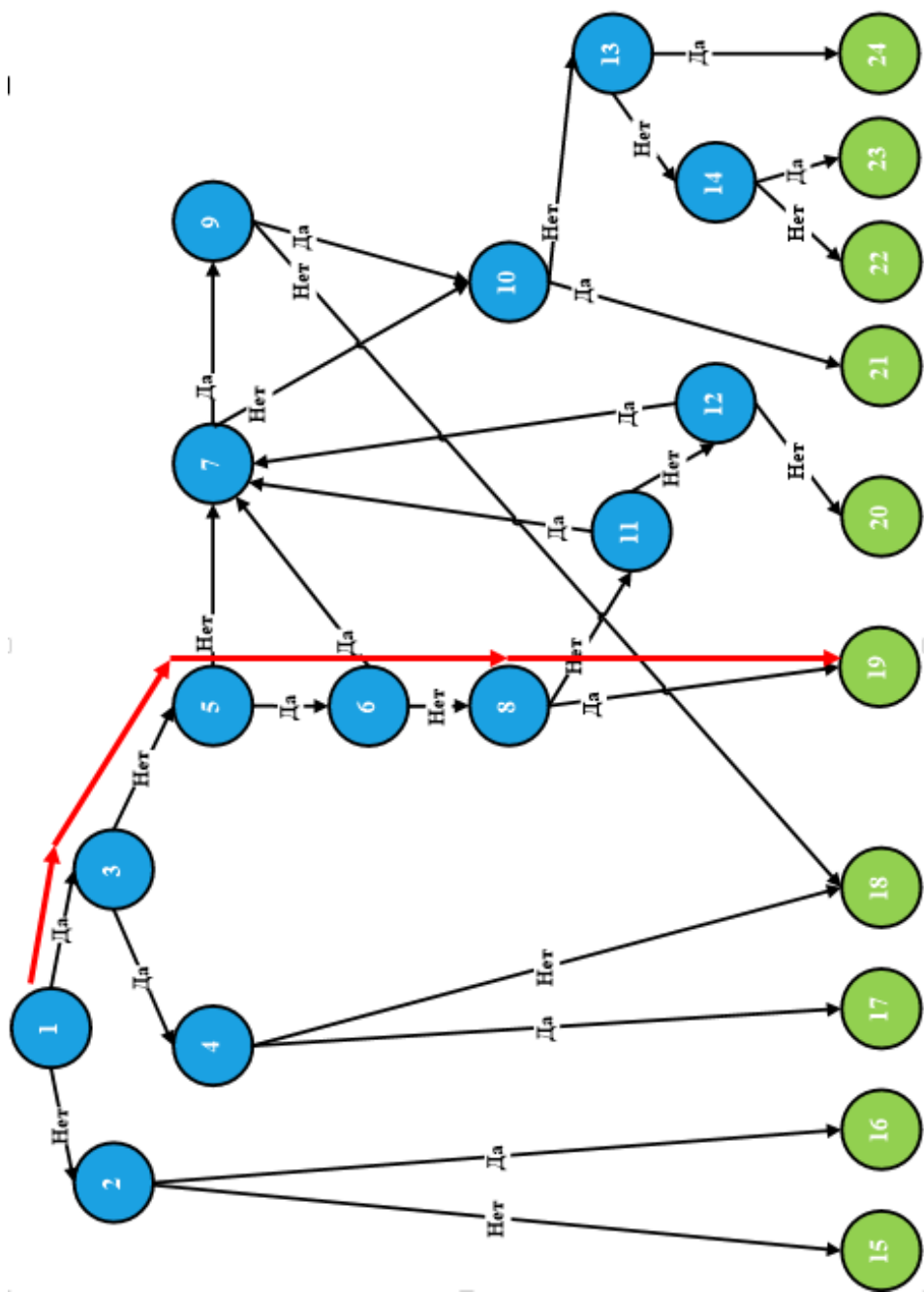
Участок запасов, предполагаемый к отработке, расположен в Ленинском геолого-экономическом районе Кузнецкого угольного бассейна в пределах Егозово-Красноярского месторождения каменного угля в составе геологических блоков «Егозовский 3» и «Поле шахты Красноярская».

Пласт Сычевский-1 имеет сложное строение и состоит из трех угольных пачек, обозначенных №1, №2 и №3. Угольные пачки разделены прослоями алевролита мощностью 0,1 и 0,09 м соответственно. Коэффициент крепости алевролита по шкале М.М. Протодяконова составляет $f = 3-4$.

Мощность верхней угольной пачки составляет 3,17 м, а мощность средней пачки в среднем равна 0,96 м. Нижняя пачка имеет мощность 0,47 м. Общая геологическая мощность пласта Сычевский-1 изменяется в пределах от 2,5 до 4,8 м. Среднее значение мощности пласта составляет 4,79 м. Угол падения пласта находится в диапазоне $\alpha = 4-6^\circ$.

В программную оболочку экспертной системы были введены характеристики горно-геологических условий пласта Сычевский-1. В результате реализации модели была выдана рекомендация осуществить вскрытие запасов шахтного поля наклонными стволами (Рисунок 30), что полностью соотнобразуется со схемой вскрытия запасов пласта Сычевский-1, определенной проектом (Рисунок 31).

Следует отметить тот факт, что модель не рассматривает вопросы, связанные с делением шахтного поля на части, и, следовательно, не может обеспечить решение вопроса выбора места заложения стволов. Поэтому необходимо осуществлять деление шахтного поля на части заранее. При синтезе полной модели выбора и обоснования схемы вскрытия месторождений полезных ископаемых будет наблюдаться определенная иерархичность – все решения, принятые на предыдущем этапе функционирования модели, будут накладывать ограничения на следующие этапы. То есть деление шахтного поля на части во многом будет ограничивать и определять возможные альтернативы схемы вскрытия. Все решения, принятые на предыдущих этапах проектирования, будут являться «условиями на допустимость ответа».



№ вершины	Запись в базе знаний
19	Рекомендуется обосновать целесообразность реализации в проекте схемы вскрытия наклонными стволами

Рисунок 30 - Ветвь «дерева решений», приводящая к выбору схемы вскрытия исходя из анализа горно-геологических условий отработки запасов

Рисунок 31 - Реализуемая проектом горизонтальная схема вскрытия запасов пласта Сычевский -1 АО «СУЭК-Кузбасс»

Представленная модель, естественно, не является в полной мере определяющей и может быть легко дополнена новыми уточняющими правилами и определениями. Перестройка модели для другого программного обеспечения, при сохранении общей логики рассуждений, также не должна оказаться затруднительной.

4.5. Методические принципы прогнозирования эффективности ведения комплексно-механизированных очистных работ

Для решения задачи моделирования динамики развития горных работ при добыче угля в диссертации предлагается осуществить синтез прогнозной горнотехнической модели эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий в контуре выемочных единиц (участков), структура которой представлена на Рисунке 32.

Для синтеза модели автором был осуществлен анализ причин простоев очистных механизированных комплексов, эксплуатируемых в ПАО «Распадская» в течение 6 лет [170]. При этом для исследования были отобраны наиболее значимые технологические факторы, определяющие уровень технико-экономических показателей эффективности эксплуатации добычного оборудования, а также произведена классификация горно-геологических нарушений [180].

Для принятия решений на стадии планирования технико-экономических показателей функционирования очистного механизированного комплекса в настоящее время используются детерминированные модели, учитывающие лишь неопределенность стохастической природы. В этой связи решение задачи прогнозирования лишь на основе использования экспериментально-статистических данных о режимах работы уже функционирующих аналогичных объектов, то есть, априорной информации, не обеспечивает получение приемлемых прогнозных результатов.

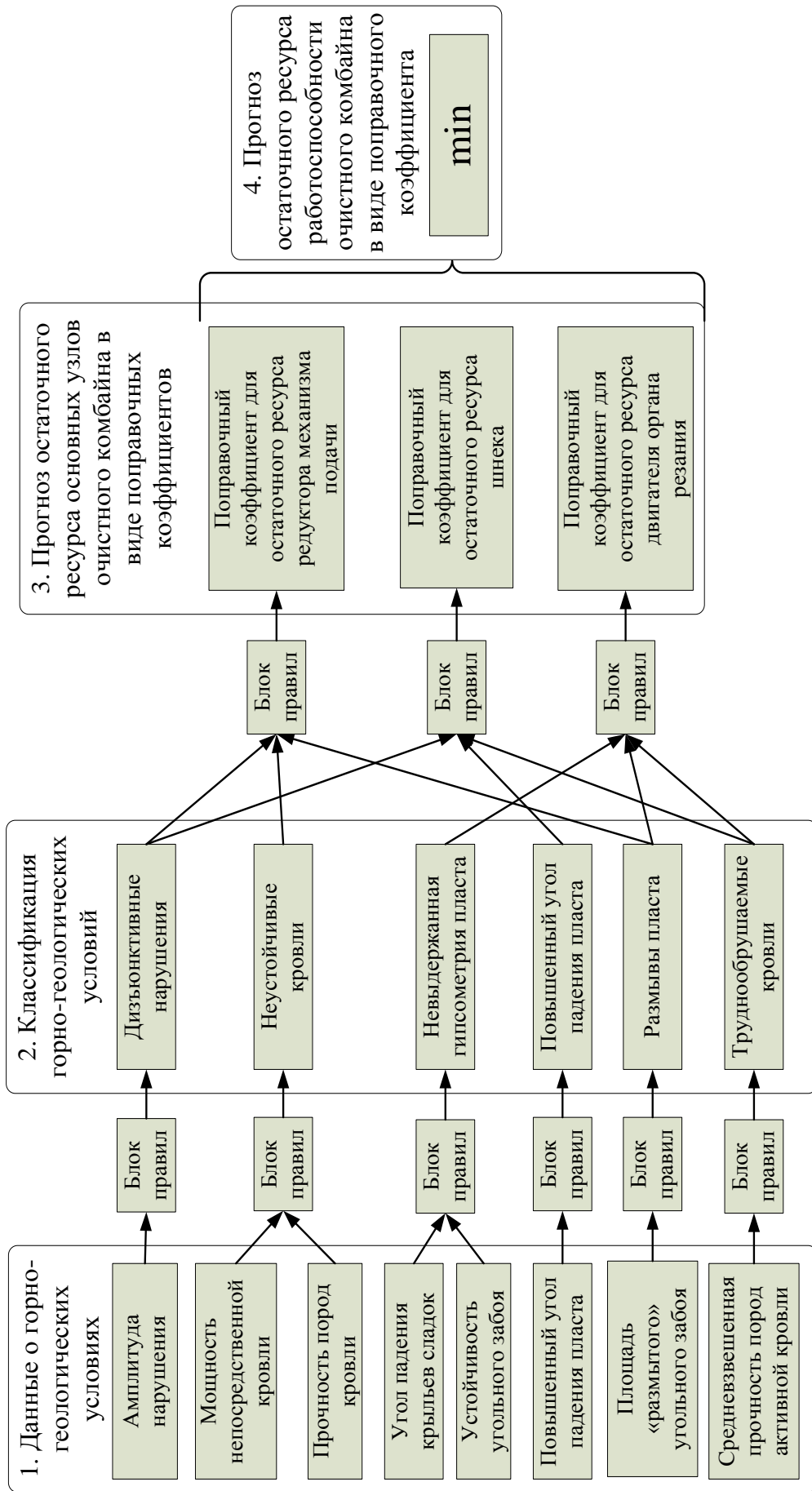


Рисунок 32 – Структура прогнозной горнотехнической модели эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий отработки запасов

Предложенное автором решение этой задачи с использованием аппарата теории нечетких множеств является наиболее перспективным, так как понятия индивидуальных технико-экономических показателей работы добычного оборудования используются в качестве формализации интуитивных представлений экспертов при планировании деятельности горнодобывающих предприятий.

Для практической реализации прогнозной горнотехнической модели эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий отработки запасов угольного месторождения был выбран программный продукт FuzzyTECH 5.54 (Рисунок 33) [115].

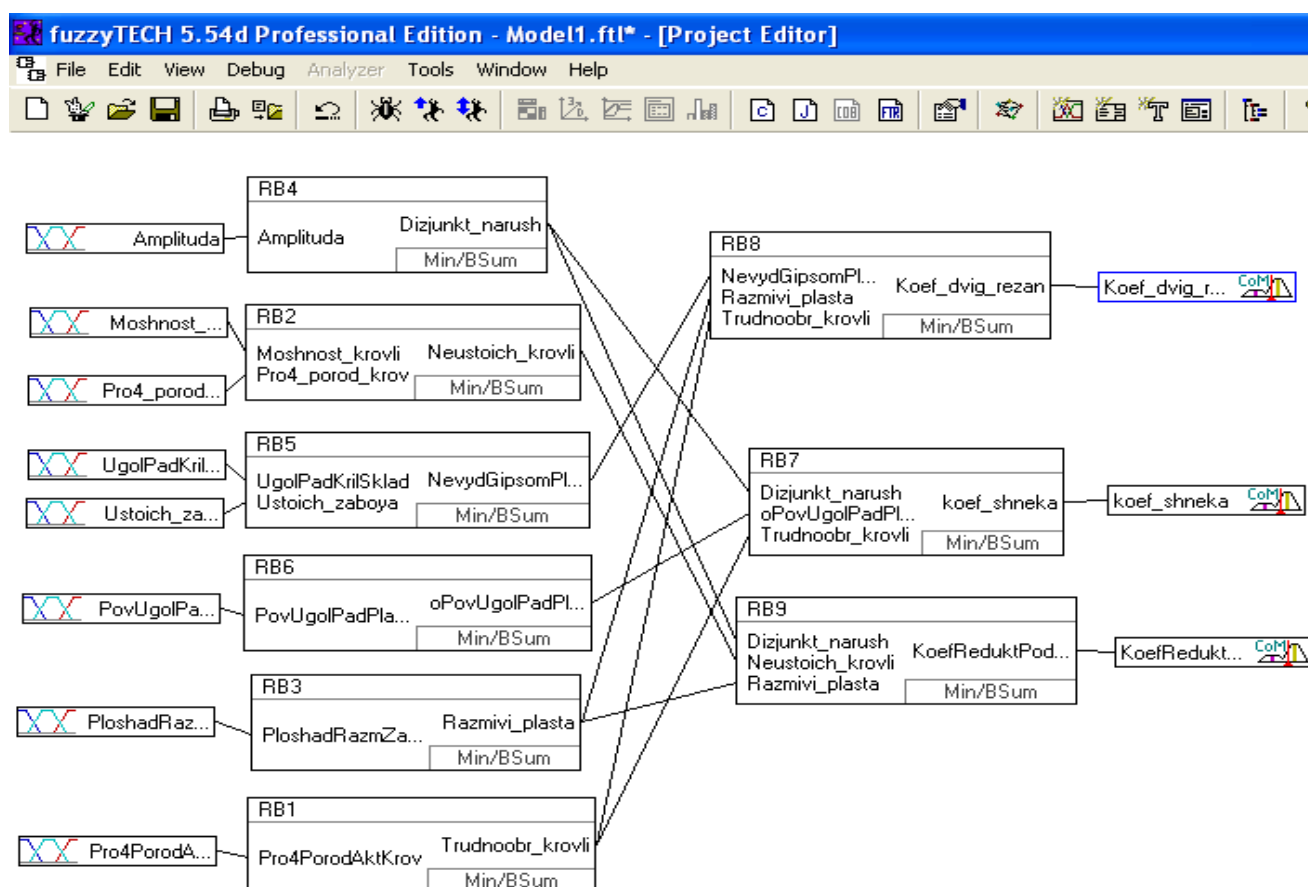


Рисунок 33 - Внешний вид окна просмотра нечеткой модели, используемой для прогнозирования технико-экономических показателей работы очистных механизированных комплексов, в программном продукте FuzzyTECH 5.54

При синтезе горнотехнической модели были определены входные и выходные лингвистические переменные. К примеру, лингвистическая переменная «Прогнозируемый ресурс работоспособности редуктора подачи выемочной машины (комбайна) очистного механизированного комплекса» входит в горнотехническую модель со следующими термами: очень большой, большой, средний (большой), средний, средний (малый), малый, очень малый (Рисунок 34). При задании функций принадлежности для лингвистических переменных использовались числовые значения, полученные экспертным путем.

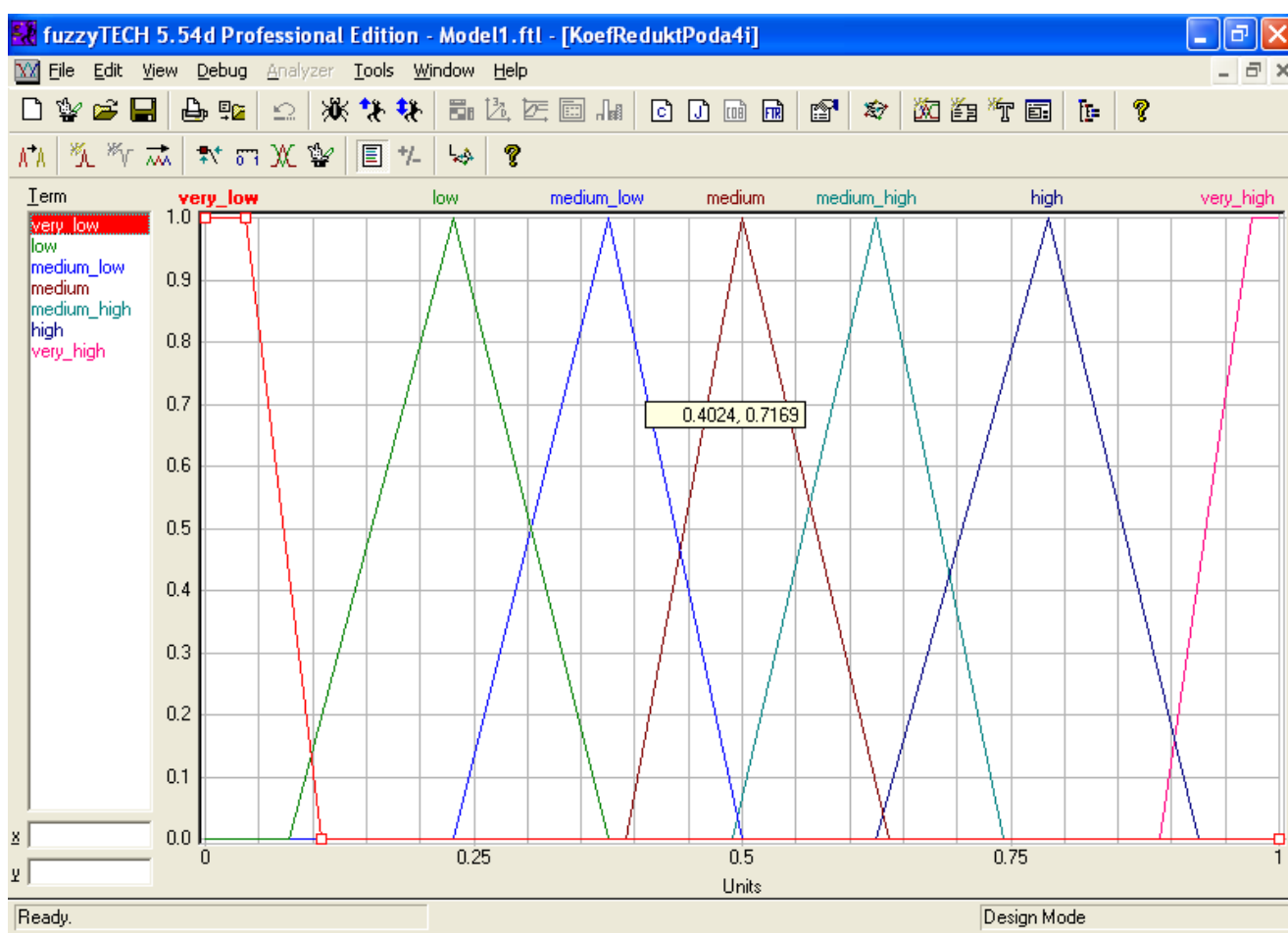


Рисунок 34 - Функция принадлежности для выходной переменной «Прогнозируемый ресурс работоспособности редуктора подачи выемочной машины (комбайна) очистного механизированного комплекса»

Затем были определены правила нечеткого вывода, по которым, в частности, осуществляется оценка остаточного ресурса работоспособности очистного механизированного комплекса. На основе экспертных оценок

специалистов в модели было сформировано 9 блоков правил нечеткого вывода, фрагменты которых представлены ниже:

RB1

IF Pro4PorodAktKrov = predel THEN Trudnoobr_krovli = kategoriya0 WITH 1;
 IF Pro4PorodAktKrov = class1 THEN Trudnoobr_krovli = kategoriya1 WITH 1;
 IF Pro4PorodAktKrov = class2 THEN Trudnoobr_krovli = kategoriya2 WITH 1;
 IF Pro4PorodAktKrov = class3 THEN Trudnoobr_krovli = kategoriya3 WITH 1;

RB2

IF Moshnost_krovli = class1 AND Pro4_porod_krov = class1 THEN Neustoich_krovli = kategoriya3 WITH 1;
 IF Moshnost_krovli = class1 AND Pro4_porod_krov = class2 THEN Neustoich_krovli = kategoriya2 WITH 1;
 IF Moshnost_krovli = class1 AND Pro4_porod_krov = class3 THEN Neustoich_krovli = kategoriya1 WITH 1;
 IF Moshnost_krovli = class1 AND Pro4_porod_krov = predel THEN Neustoich_krovli = kategoriya0 WITH 1;
 IF Moshnost_krovli = class2 AND Pro4_porod_krov = class1 THEN Neustoich_krovli = kategoriya0 WITH 1;
 IF Moshnost_krovli = class2 AND Pro4_porod_krov = class2 THEN Neustoich_krovli = kategoriya0 WITH 1;
 IF Moshnost_krovli = class2 AND Pro4_porod_krov = class3 THEN Neustoich_krovli = kategoriya0 WITH 1;
 IF Moshnost_krovli = class2 AND Pro4_porod_krov = predel THEN Neustoich_krovli = kategoriya0 WITH 1;

RB3

IF PloshadRazmZaboy = predel THEN Razmivi_plasta = kategoriya0 WITH 1;
 IF PloshadRazmZaboy = class1 THEN Razmivi_plasta = kategoriya1 WITH 1;
 IF PloshadRazmZaboy = class2 THEN Razmivi_plasta = kategoriya2 WITH 1;
 IF PloshadRazmZaboy = class3 THEN Razmivi_plasta = kategoriya3 WITH 1;

RB4

IF Amplituda = predel THEN Dizjunkt_narush = kategoriya0 WITH 1;

IF Amplituda = class1 THEN Dizjunkt_narush = kategoriya1 WITH 1;

IF Amplituda = class2 THEN Dizjunkt_narush = kategoriya2 WITH 1;

IF Amplituda = class3 THEN Dizjunkt_narush = kategoriya3 WITH 1;

RB5

IF UgolPadKrilSklad = class1 AND Ustoich_zaboya = class1 THEN
NevydGipsomPlast = kategoriya0 WITH 1;

IF UgolPadKrilSklad = class1 AND Ustoich_zaboya = class2 THEN
NevydGipsomPlast = kategoriya0 WITH 1;

IF UgolPadKrilSklad = class1 AND Ustoich_zaboya = class3 THEN
NevydGipsomPlast = kategoriya0 WITH 1;

IF UgolPadKrilSklad = class2 AND Ustoich_zaboya = class1 THEN
NevydGipsomPlast = kategoriya3 WITH 1;

IF UgolPadKrilSklad = class2 AND Ustoich_zaboya = class2 THEN
NevydGipsomPlast = kategoriya2 WITH 1;

IF UgolPadKrilSklad = class2 AND Ustoich_zaboya = class3 THEN
NevydGipsomPlast = kategoriya1 WITH 1;

RB6

IF PovUgolPadPlasta = predel THEN oPovUgolPadPlast = kategoriya0 WITH 1;

IF PovUgolPadPlasta = class1 THEN oPovUgolPadPlast = kategoriya1 WITH 1;

IF PovUgolPadPlasta = class2 THEN oPovUgolPadPlast = kategoriya2 WITH 1;

IF PovUgolPadPlasta = class3 THEN oPovUgolPadPlast = kategoriya3 WITH 1;

RB7

IF Dizjunkt_narush = kategoriya0 AND oPovUgolPadPlast = kategoriya0 AND
Trudnoobr_krovli = kategoriya0 THEN koef_shneka = very_high WITH 1;

IF Dizjunkt_narush = kategoriya0 AND oPovUgolPadPlast = kategoriya0 AND
Trudnoobr_krovli = kategoriya1 THEN koef_shneka = very_high WITH 1;

IF Dizjunkt_narush = kategoriya0 AND oPovUgolPadPlast = kategoriya0 AND
Trudnoobr_krovli = kategoriya2 THEN koef_shneka = high WITH 1;

...

IF Dizjunkt_narush = kategoriya3 AND oPovUgolPadPlast = kategoriya3 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya1 THEN koef_shneka = low WITH 1;

IF Dizjunkt_narush = kategoriya3 AND oPovUgolPadPlast = kategoriya3 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya2 THEN koef_shneka = very_low WITH 1;

IF Dizjunkt_narush = kategoriya3 AND oPovUgolPadPlast = kategoriya3 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya3 THEN koef_shneka = very_low WITH 1;

RB8

IF NevydGipsomPlast = kategoriya0 AND Razmivi_plasta = kategoriya0 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya0 THEN Koef_dvig_rezan = very_high WITH 1;

IF NevydGipsomPlast = kategoriya0 AND Razmivi_plasta = kategoriya0 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya1 THEN Koef_dvig_rezan = very_high WITH 1;

IF NevydGipsomPlast = kategoriya0 AND Razmivi_plasta = kategoriya0 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya2 THEN Koef_dvig_rezan = high WITH 1;

...

IF NevydGipsomPlast = kategoriya3 AND Razmivi_plasta = kategoriya3 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya1 THEN Koef_dvig_rezan = low WITH 1;

IF NevydGipsomPlast = kategoriya3 AND Razmivi_plasta = kategoriya3 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya2 THEN Koef_dvig_rezan = very_low WITH 1;

IF NevydGipsomPlast = kategoriya3 AND Razmivi_plasta = kategoriya3 AND Trudnoobr_krovli = kategoriya3 THEN Koef_dvig_rezan = very_low WITH 1;

RB9

IF Dizjunkt_narush = kategoriya0 AND Neustoich_krovli = kategoriya0 AND Razmivi_plasta = kategoriya0 THEN KoefReduktPoda4i = very_high WITH 1;

IF Dizjunkt_narush = kategoriya0 AND Neustoich_krovli = kategoriya0 AND Razmivi_plasta = kategoriya1 THEN KoefReduktPoda4i = very_high WITH 1;

IF Dizjunkt_narush = kategoriya0 AND Neustoich_krovli = kategoriya0 AND Razmivi_plasta = kategoriya2 THEN KoefReduktPoda4i = high WITH 1;

...

IF Dizjunkt_narush = kategoriya3 AND Neustoich_krovli = kategoriya3 AND Razmivi_plasta = kategoriya1 THEN KoefReduktPoda4i = low WITH 1;

IF Dizjunkt_narush = kategoriya3 AND Neustoich_krovli = kategoriya3 AND Razmivi_plasta = kategoriya2 THEN KoefReduktPoda4i = very_low WITH 1;
 IF Dizjunkt_narush = kategoriya3 AND Neustoich_krovli = kategoriya3 AND Razmivi_plasta = kategoriya3 THEN KoefReduktPoda4i = very_low WITH 1.

При анализе влияния изменений горно-геологических условий освоения отработки запасов угольных месторождений на технико-экономические показатели работы очистного оборудования используется программа просмотра поверхности нечеткого вывода. На Рисунках 35-36 графически представлены зависимости износа структурных элементов очистного механизированного комплекса от изменчивости горно-геологических условий освоения запасов угольных месторождений.

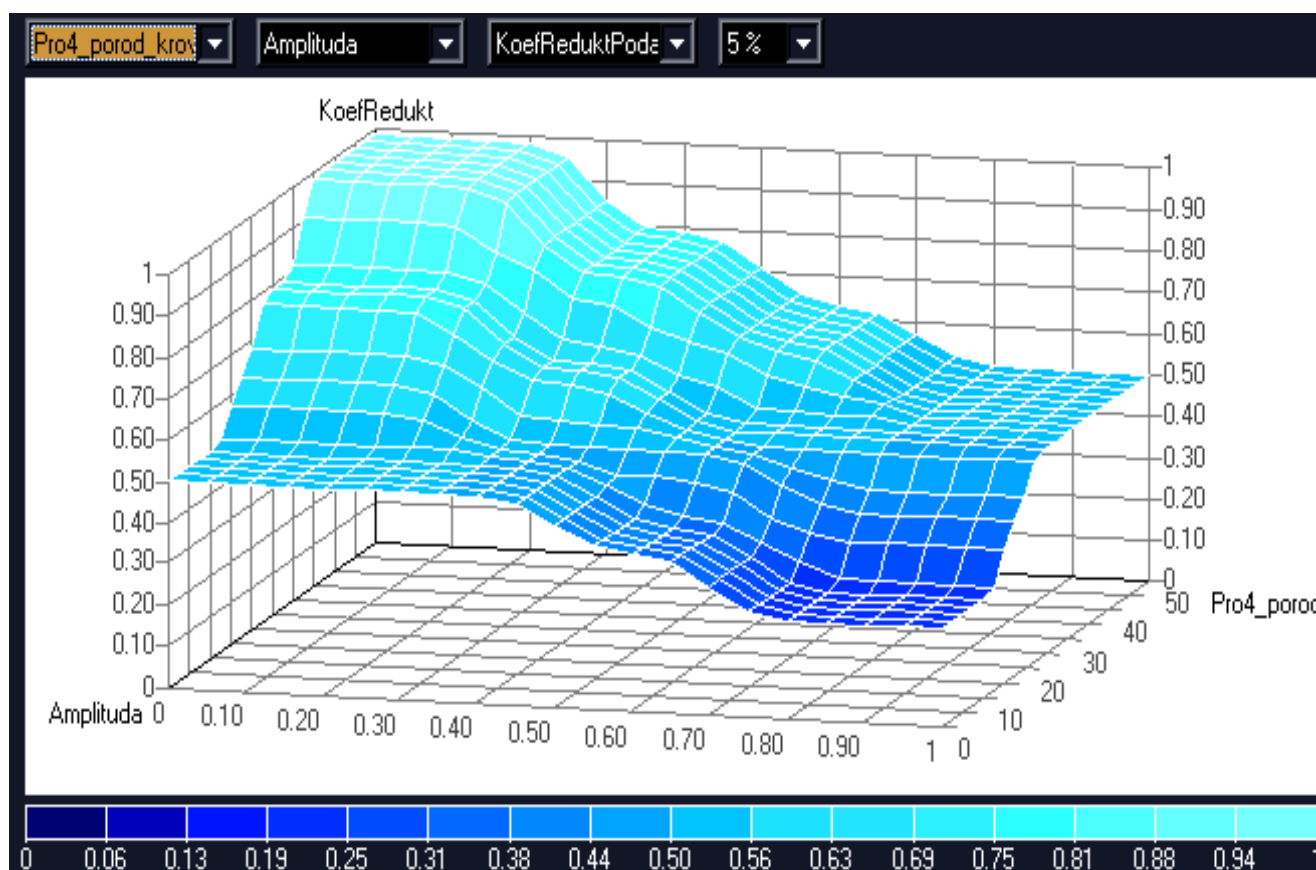


Рисунок 35 - Зависимость выходной лингвистической переменной «Ресурс работоспособности механизма подачи очистного механизированного комплекса» от входных лингвистических переменных «Амплитуда геологического нарушения» и «Прочность пород непосредственной кровли»

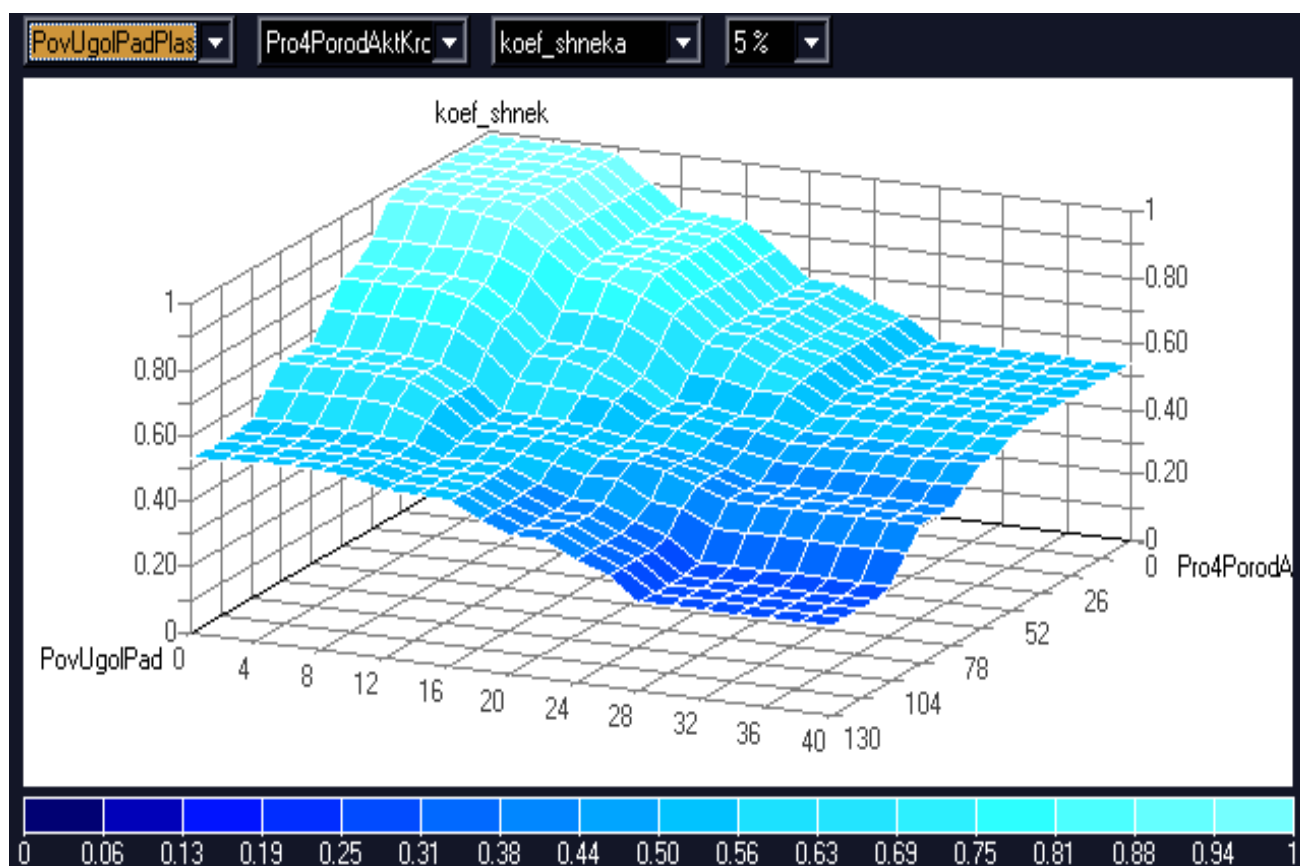


Рисунок 36 - Зависимость выходной лингвистической переменной «Ресурс работоспособности исполнительного органа выемочной машины очистного механизированного комплекса» от входных лингвистических переменных «Угол падения пласта» и «Средневзвешенная прочность пород активной кровли»

Для эксплуатации прогнозной горнотехнической модели эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий отработки запасов была сформирована 3D-модель выемочного участка в ГГИС Geovia Surpac 6.03. Затем был произведен экспорт в текстовый файл данных о горно-геологических условиях освоения георесурсного потенциала месторождения (Рисунок 37). Данные о характеристиках горно-геологических условий представлены в виде ассоциированных с каждым 3D-блоком модели набора атрибутов в соответствии с определенными ранее лингвистическими переменными горнотехнической модели. Прогнозирование конкретных значений атрибутов каждого 3D-блока производилось стандартными инструментами ГГИС Geovia Surpac 6.03.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X	Y	Z	Ustoich_zaboya	Pro4_porod_krov	PloshadRazmZaboy	Amplituda	poprav_koef
2	0.5000	0.5000	0.5000	0,3	17	7	0,3	1.00
3	0.5000	1.5000	0.5000	0,7	10	15	0,6	1.00
4	1.5000	0.5000	0.5000	0,4	25	30	0,7	1.00
5	1.5000	1.5000	0.5000	0,5	18	17	0,4	1.00
6	0.5000	2.5000	0.5000	0,8	11	10	0,9	1.00
7	0.5000	3.5000	0.5000	0,2	13	26	0,5	1.00
8	1.5000	2.5000	0.5000	0,7	21	8	0,8	1.00
9	1.5000	3.5000	0.5000	0,6	14	14	0,7	1.00
10	2.5000	0.5000	0.5000	0,9	27	23	0,5	1.00
11	2.5000	1.5000	0.5000	0,1	16	6	0,4	1.00

Рисунок 37 - Файл экспорта данных из 3D-модели выемочного участка, сформированной в ГГИС Geovia Surpac 6.03

После эксплуатации прогнозной горнотехнической на основании импортированных данных (Рисунок 37) осуществляется моделирование зависимости технико-экономических показателей и их прогноз в виде поправочных коэффициентов к нормативным значениям (Рисунок 38).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X	Y	Z	Ustoich_zaboya	Pro4_porod_krov	PloshadRazmZaboy	Amplituda	poprav_koef
2	0.5000	0.5000	0.5000	0,3	17	7	0,3	0,88406
3	0.5000	1.5000	0.5000	0,7	10	15	0,6	0,32634
4	1.5000	0.5000	0.5000	0,4	25	30	0,7	0,7399
5	1.5000	1.5000	0.5000	0,5	18	17	0,4	0,40968
6	0.5000	2.5000	0.5000	0,8	11	10	0,9	0,368
7	0.5000	3.5000	0.5000	0,2	13	26	0,5	0,34276
8	1.5000	2.5000	0.5000	0,7	21	8	0,8	0,45972
9	1.5000	3.5000	0.5000	0,6	14	14	0,7	0,37214
10	2.5000	0.5000	0.5000	0,9	27	23	0,5	0,51224
11	2.5000	1.5000	0.5000	0,1	16	6	0,4	0,43566

Рисунок 38 - Файл экспорта результатов эксплуатации прогнозной горнотехнической модели эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий отработки запасов в виде поправочных коэффициентам к нормативным значениям

Таким образом, после ввода в горнотехническую модель эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий отработки запасов числовых значений входных лингвистических переменных реализуется прогноз технико-экономических показателей его работы в форме поправочных коэффициентов к нормативным значениям для каждого 3D-блока трехмерной модели выемочного участка.

Зависимости поправочных коэффициентов для технико-экономических параметров работы очистного механизированного комплекса от горно-геологических условий освоения запасов выемочного участка, реализуемые горнотехнической моделью, представлены на Рисунке 39.

Комплексная апробация прогнозной горнотехнической модели применительно к условиям ПАО «Распадская» подтвердила ее работоспособность (Рисунок 40), что явилось основанием для рекомендации к использованию модели в практике оптимизации проектов высокопроизводительной отработки запасов выемочных участков.

Следует также отметить, что синтез горнотехнической модели является частным примером прогнозирования эффективности ведения комплексно-механизированных очистных работ.

Использование прогнозной горнотехнической модели эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий отработки запасов открывает возможность для постепенного и последовательного перехода к принципу планирования и управления «по моделированию динамики развития горных работ», что существенно снижает «цену ошибок» при принятии неоптимальных решений.

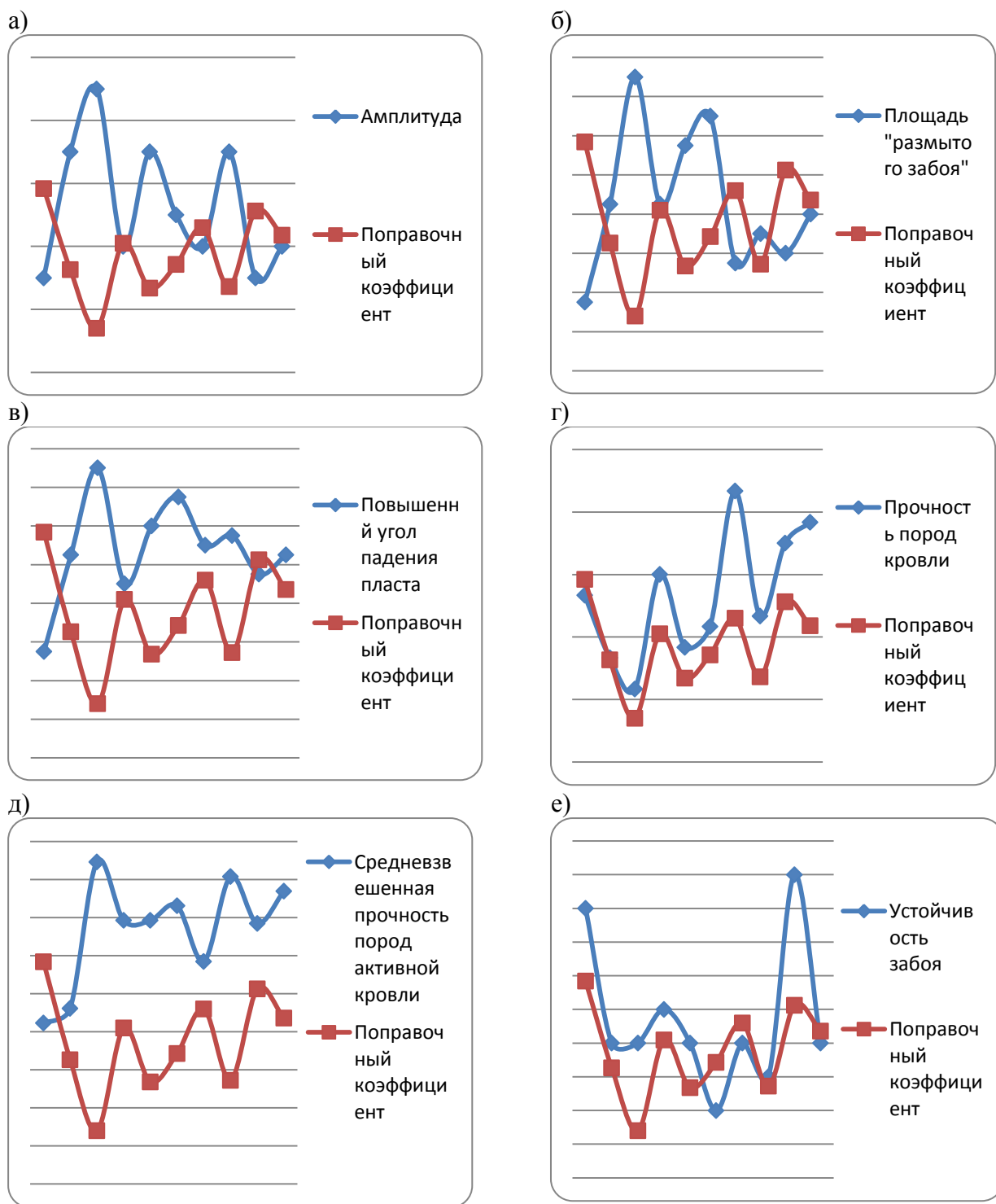
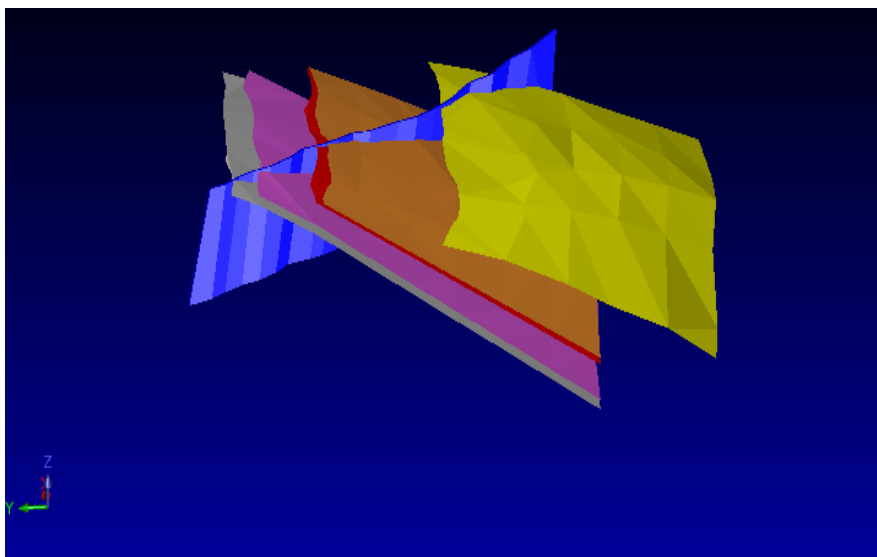


Рисунок 39 - Зависимость значений поправочного коэффициента к технико-экономическим показателям эффективности функционирования очистного механизированного комплекса от горно-геологических условий освоения запасов выемочного участка: а) от амплитуды геологического нарушения; б) от площади размытого забоя; в) от угла падения пласта; г) от прочности пород кровли; д) от средневзвешенной прочности пород непосредственной кровли; е) от устойчивости угольного забоя

а)



б)

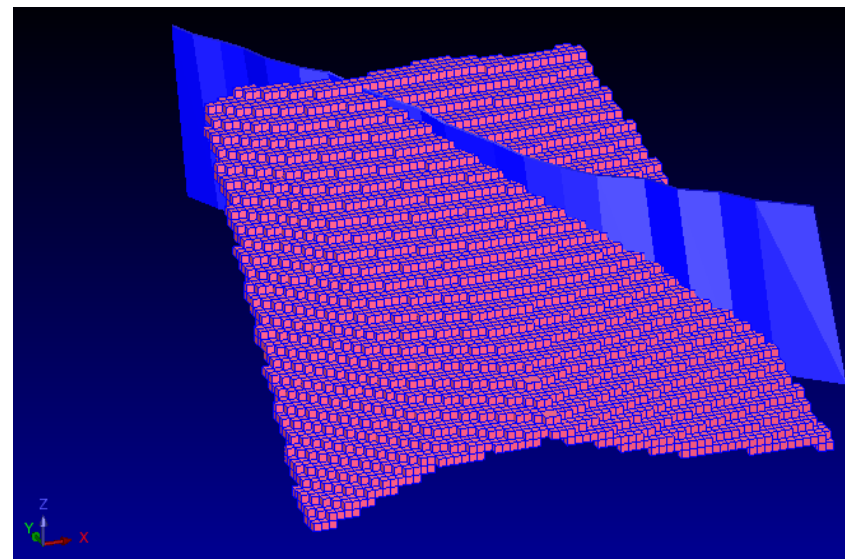
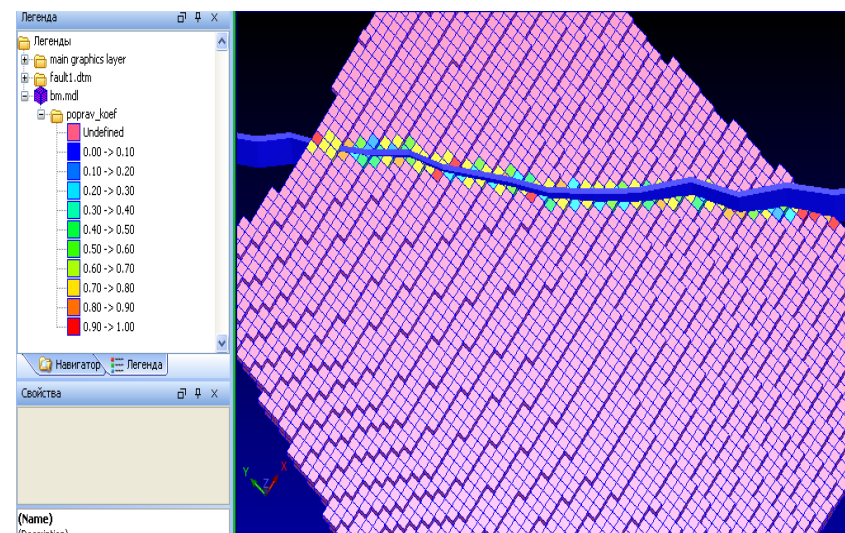


Рисунок 40 - Пример апробации прогнозной горнотехнической модели эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий освоения запасов выемочного участка: а) общий вид 3D-модели месторождения. Блочная 3D-модель выемочного участка, раскрашенная по атрибуту «Поправочный коэффициент к технико-экономическим показателям эффективности функционирования очистного механизированного комплекса» б) до эксплуатации горнотехнической модели; в) после эксплуатации горнотехнической модели

в)



4.6. Основные методические рекомендации по реализации горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты

В качестве практической реализации методических принципов моделирования воздухораспределения угольной шахты в диссертации была синтезирована горнотехническая модель оптимального управления проветриванием.

Блок-схема алгоритма формирования горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты на основе нейронной сети с учетом механизма динамического формирования ее структуры представлена на Рисунке 41.

При обучении нейросети необходимо использовать одномерную оптимизацию с автоматическим определением длины шага. Процедура обучения нейронной сети градиентным алгоритмом с одномерной оптимизацией и автоматическим определением длины шага представлена на Рисунке 42.

После обучения нейронную сеть можно эксплуатировать для управления проветриванием угольной шахты в соответствии с разработанным алгоритмом, представленным на Рисунке 43.

Для синтеза горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты рассмотрим примерную схему горных выработок, приведенную на Рисунке 44.

После анализа исходных данных в соответствии с алгоритмом формирования модели оптимального управления проветриванием угольной шахты (Рисунок 41) автором произведен синтез структуры нейронной сети в программном пакете NeuroSolutions, результат которого представлен на Рисунке 45.

На вход сети были «поданы» расходы воздуха в 8-ми выработках, обучающая выборка содержала 397 примеров, отобранных и актуализированных

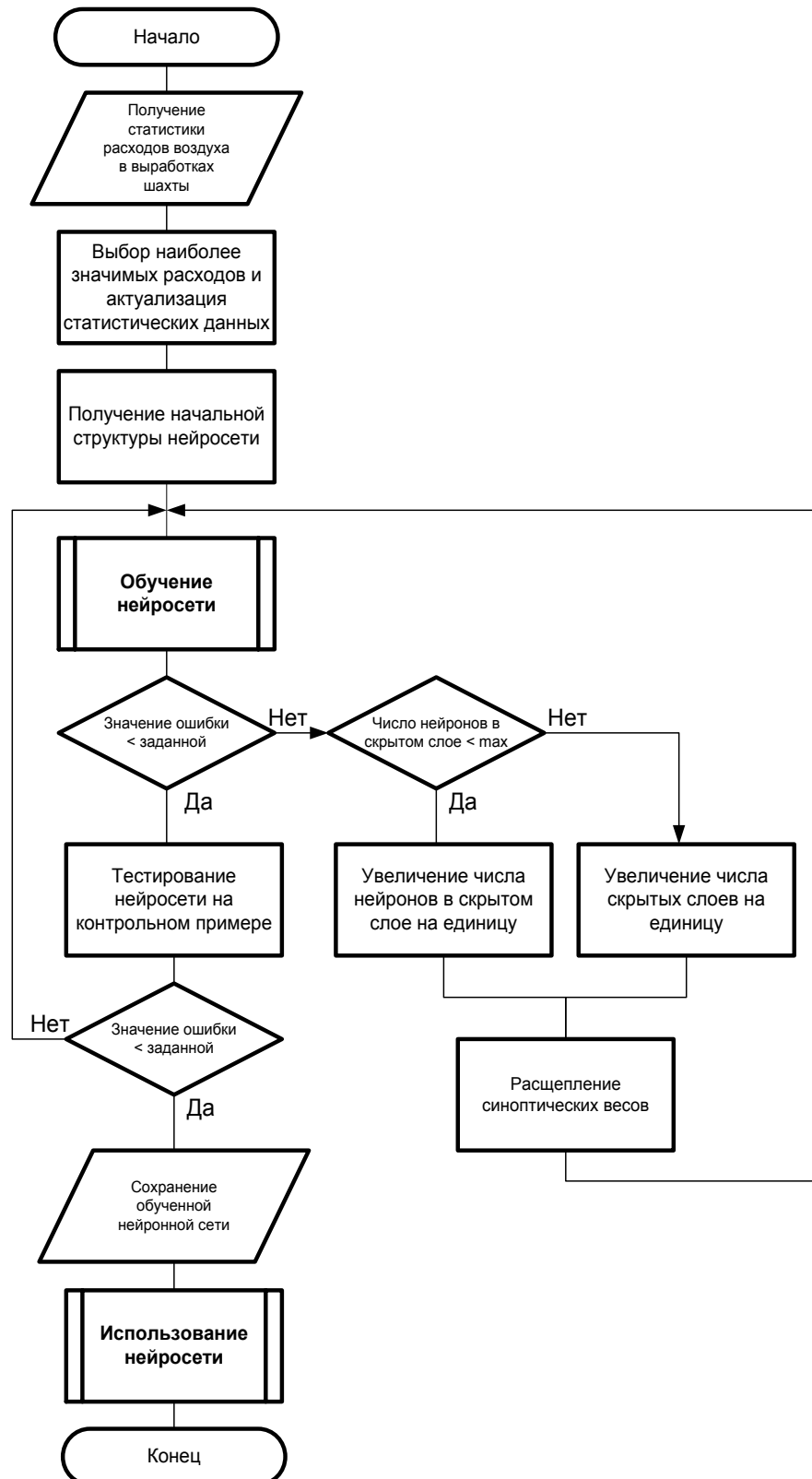


Рисунок 41 – Блок-схема алгоритма формирования горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты на основе нейронной сети

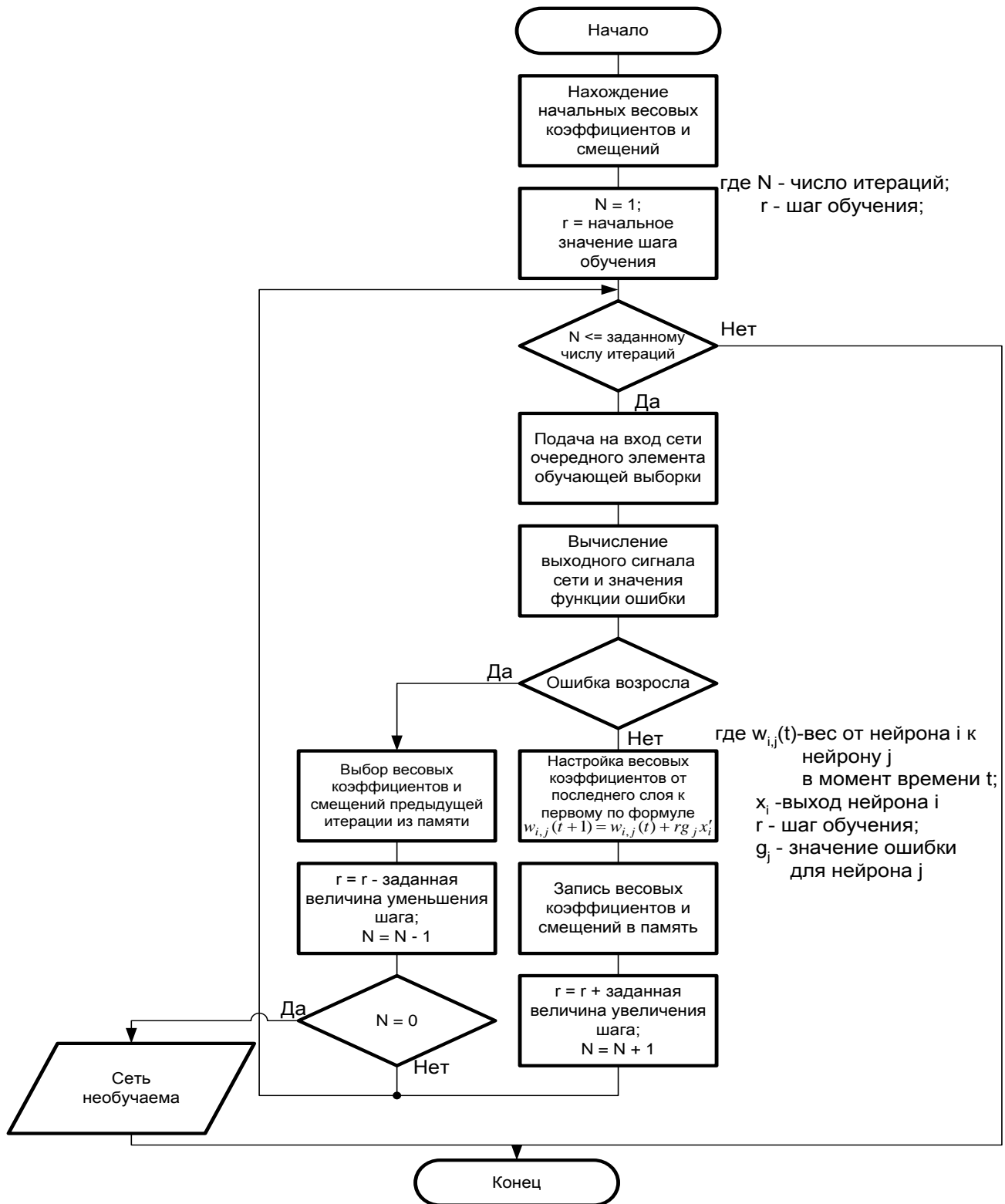


Рисунок 42 – Блок-схема процедуры обучения нейронной сети градиентным алгоритмом с одномерной оптимизацией и автоматическим определением длины шага

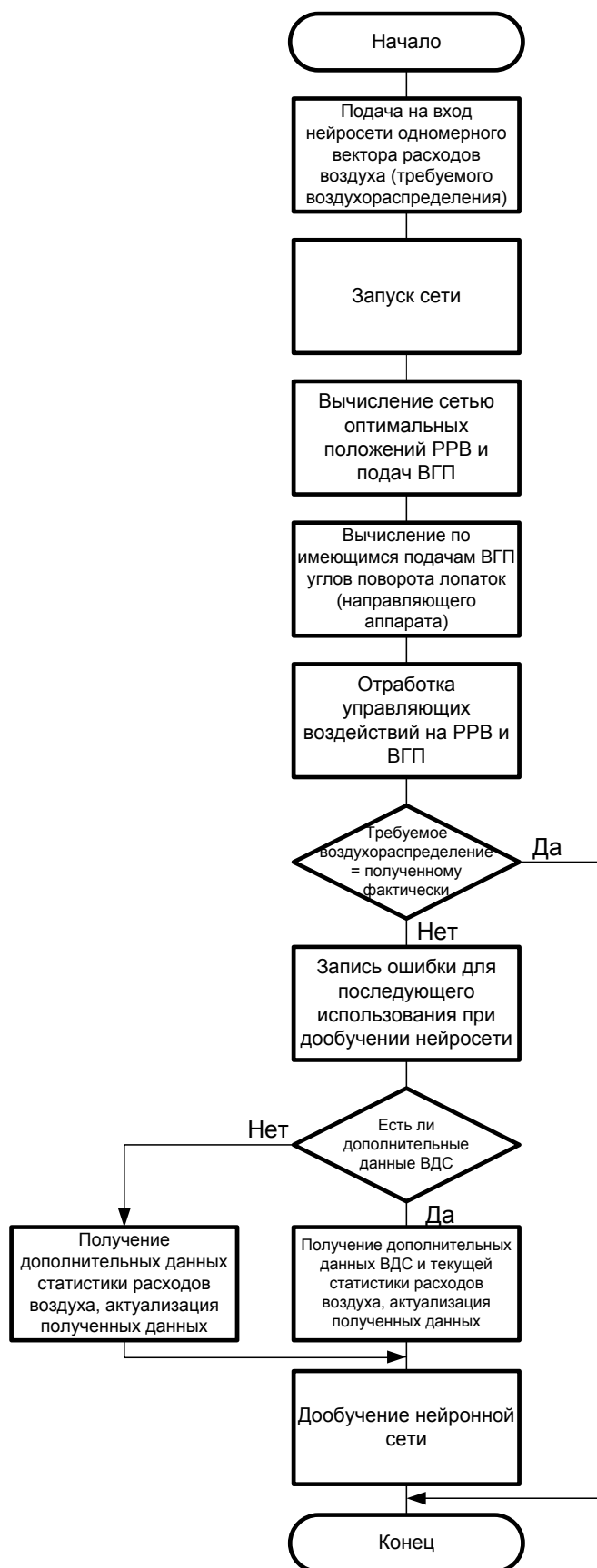


Рисунок 43 – Блок-схема процедуры эксплуатации нейронной сети для оптимального управления проветриванием угольной шахты

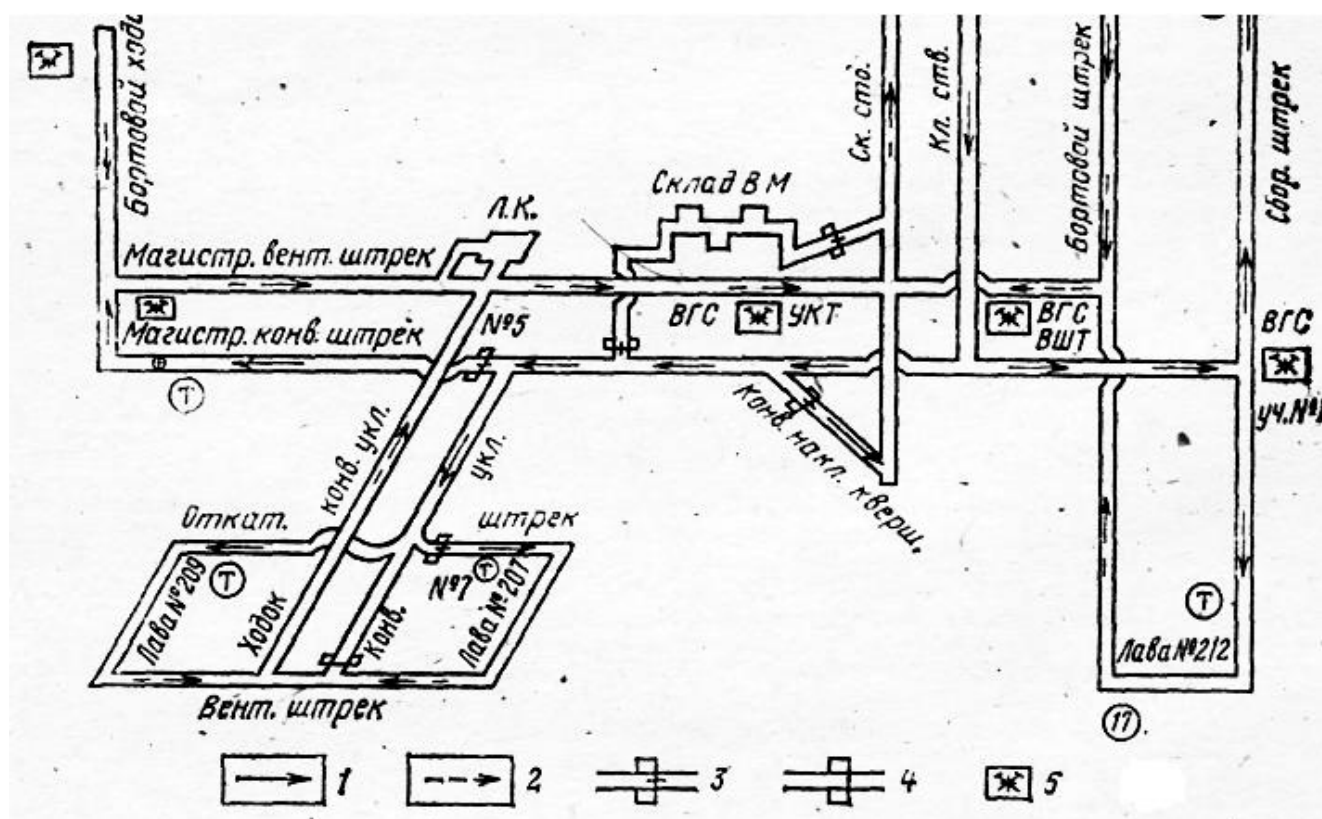


Рисунок 44 - Примерная схема горных выработок шахты:

1 – струя свежего воздуха; 2 – струя отработанного воздуха; 3 – дверь вентиляционная с регулирующим окном; 4 – дверь вентиляционная закрытая; 5 – пункт ВГС

с помощью экспертов. На выходе сети были получены значения положений 5-ти вентиляционных дверей. После запуска симуляции на 120 циклов был получен результат обучения нейронной сети, представленный на Рисунке 46. Время обучения на данной выборке составило 5 секунд на компьютере Pentium4 2.4Ghz RAM 512Mb.

Анализ корреляции входных данных представлен на Рисунке 47.

Разработанная в диссертации горнотехническая модель оптимального управления проветриванием угольных шахт учитывает постоянное изменение параметров воздухораспределения и осуществляет оптимальное по энергетическому критерию управление положениями воздухорегулирующих устройств и подачей нескольких вентиляторов главного проветривания, работающих на общую вентиляционную сеть.

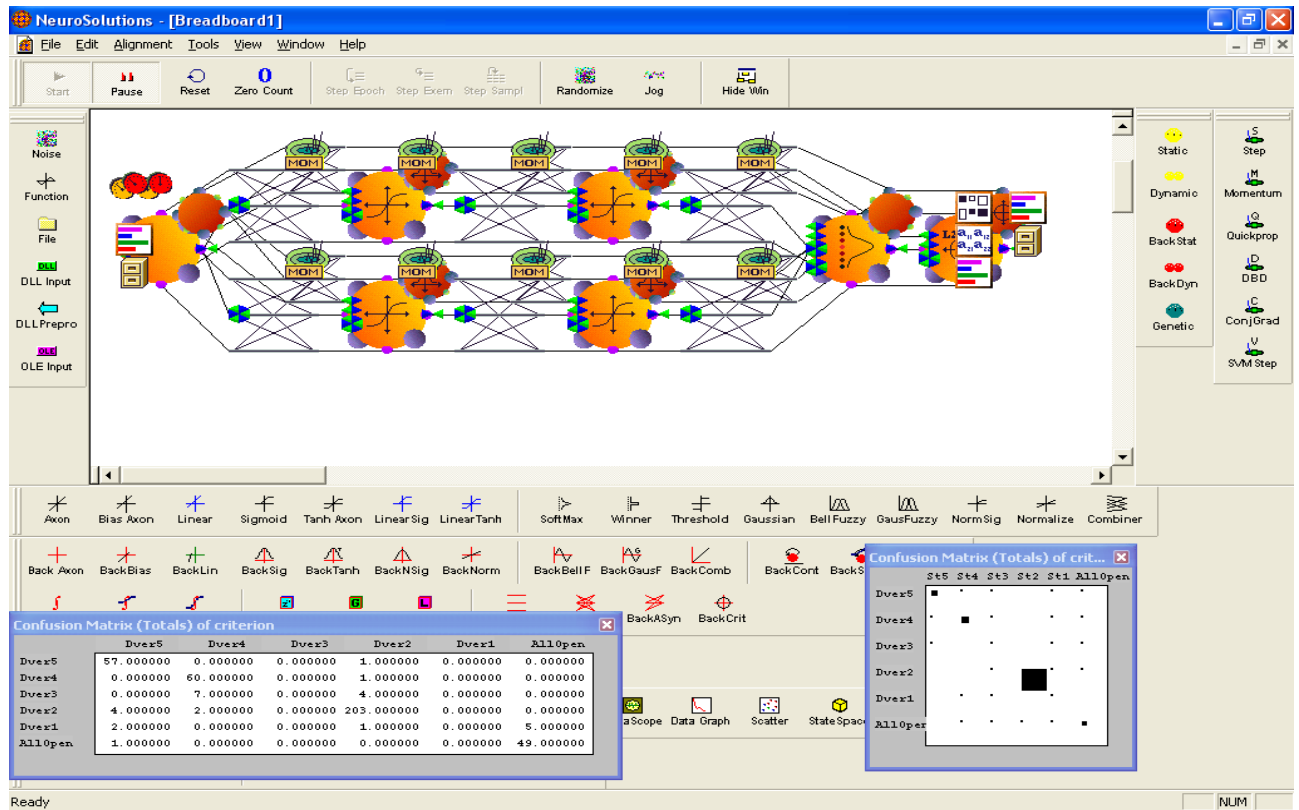


Рисунок 45 - Структура нейронной сети, синтезированной в программном пакете NeuroSolutions для формирования горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты

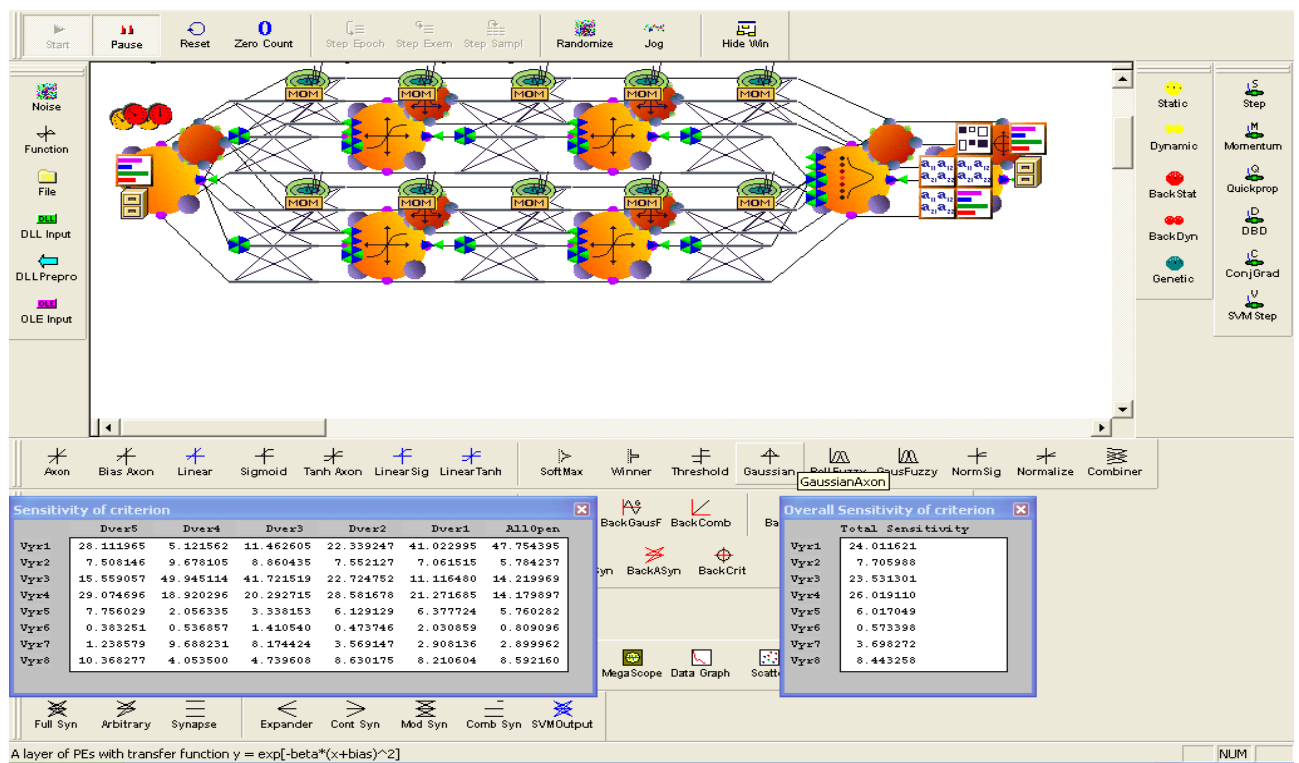


Рисунок 46 - Результат обучения нейронной сети, синтезированной в программном пакете NeuroSolutions для формирования горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты

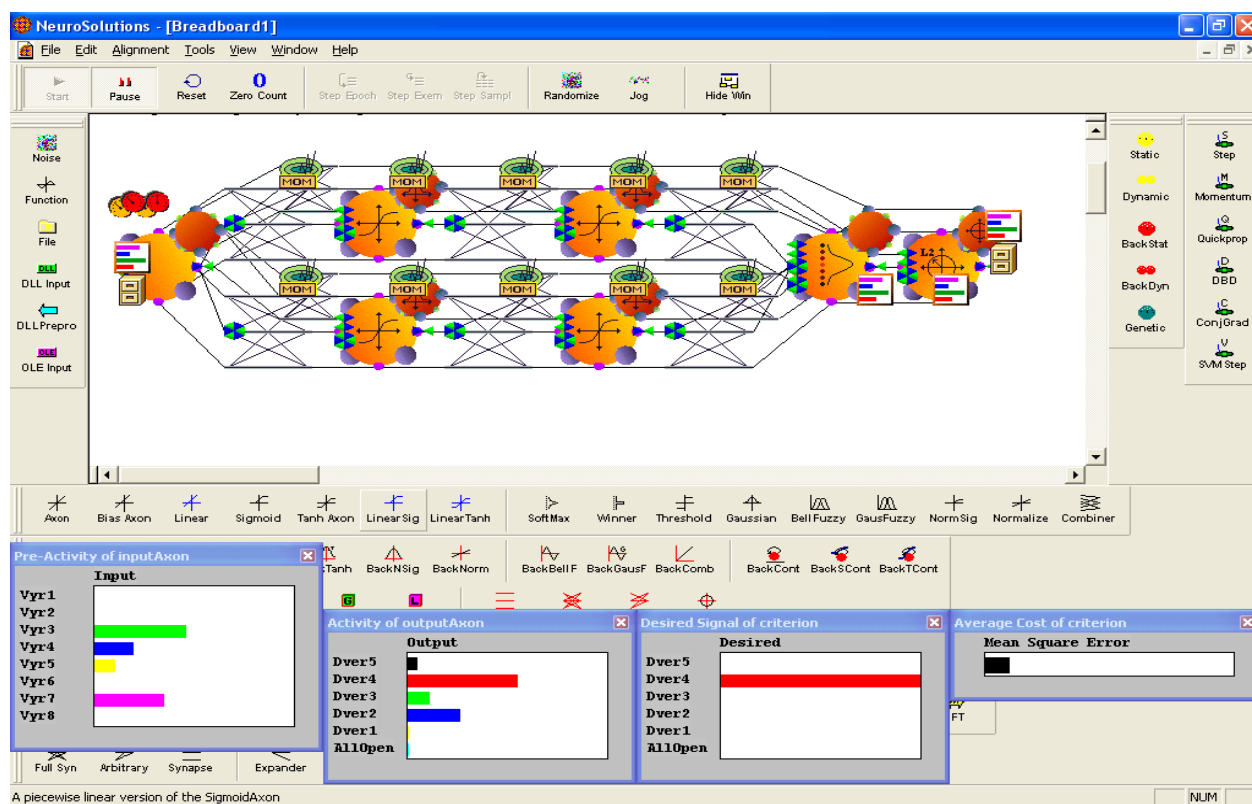


Рисунок 47 - Анализ корреляции входных данных нейронной сети, синтезированной в программном пакете NeuroSolutions для формирования горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты

Разработанная модель отличается от традиционных тем, что позволяет реализовать информационную модель управления проветриванием. В модели реализована актуализация факторов перед обучением нейросети, которая производится экспертами, что позволяет отобрать наиболее значимые факторы и сократить размерность нейросети.

ВЫВОДЫ

1. Базовым средством визуализации результатов применения горнотехнических моделей на горных предприятиях служат сформированные в ГГИС 3D-модели угольных месторождений, что необходимо при формировании виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсного потенциала угольных шахт.

2. Синтезирована горнотехническая модель автоматизированного распознавания геоструктур угольных месторождений на базе нейронных сетей Кохонена, а также произведена ее адаптация для угольного пласта В-26, разрабатываемого шахтой «Северная» АО «Ургалуголь».

3. Осуществлен синтез горнотехнической модели прогнозирования метаносности на базе сплайн-функций Грина, которая была адаптирована для участка угольного месторождения, разрабатываемого шахтой им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс».

4. Реализована база знаний экспертной системы в составе горнотехнической модели обоснования проектных решений по вскрытию запасов угольных месторождений, а также проведена ее апробация для выбора и обоснования схемы вскрытия пласта Сычевский-1, разрабатываемого АО «СУЭК-Кузбасс».

5. Сформирована прогнозная горнотехническая модель эффективности функционирования комплексов очистного оборудования при изменении горно-геологических условий освоения запасов выемочного участка для условий ПАО «Распадская».

6. Разработаны алгоритмы формирования и эксплуатации горнотехнической модели оптимального управления проветриванием угольной шахты на основе нейронной сети, с учетом механизма динамического формирования ее структуры, осуществлена реализация горнотехнической модели.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Основные методические рекомендации по формированию 3D-моделей пластовых месторождений полезных ископаемых в горно-геологических информационных системах

Практическая реализация научно-методических основ синтеза горнотехнических моделей является результативной лишь на базе формализации горно-геологических данных о месторождениях полезных ископаемых, с чем в настоящее время успешно справляются горно-геологические информационные системы (ГГИС).

Технология 3D-моделирования пластовых месторождений в ГГИС автором проиллюстрирована на примере поля шахты «Северная» АО «Ургалуголь». При построении 3D-модели выбранного геологического участка в ГГИС Micromine учитывались: буровой журнал разведочных скважин, пробуренных на этапе разведки геологического участка «Северный Ургал»; данные опробования угля и вмещающих горных пород, включающие их физико-механические свойства и информацию о химическом и компонентном составе; данные замеров и проб, полученных на этапе отработки шахтного поля участковыми геологами.

На основании этой информации была создана база данных по четырем угольным пластам геологического участка, включающая следующие характеристики:

- номер скважины (геологической зарисовки в выработках);
- координаты пробы в двумерном пространстве X-Y;
- отметка земной поверхности в данной точке;
- отметки кровли и почвы, исследуемых пластов;
- мощность пласта по нормали;

- плотность угля с учетом прослоев;
- крепость угля;
- зольность угля с учетом прослоев;
- влажность пласта;
- содержание серы;
- выход летучих веществ;
- природная метаноносность угля;
- низшая теплота сгорания угля;
- толщина пластического слоя;
- средневзвешенная плотность вес двухметрового слоя пород кровли и почвы пласта;
- средневзвешенная зольность двухметрового слоя пород кровли и почвы пласта;
- средневзвешенная крепость двухметрового слоя пород кровли и почвы пласта.

Для дальнейшего моделирования характеристик горно-геологических условий месторождения в трехмерном пространстве база данных была импортирована в ГГИС Micromine.

Моделирование начинается с визуализации траекторий разведочных скважин на основании импортированной геологической базы данных. Трехмерное отображение траекторий скважин служит основой для построения любой объемной модели месторождения. По изображениям этих скважин происходят все дальнейшие построения при моделировании. ГГИС Micromine позволяет отображать вдоль траекторий скважин различные характеристики месторождения, полученные на этапе разведки. Таким образом, для дальнейшего создания объемной модели угольных пластов, в окно визекса выводятся траектории скважин с отображением наименований горных пород, пересеченных буровой скважиной (Рисунок 48).

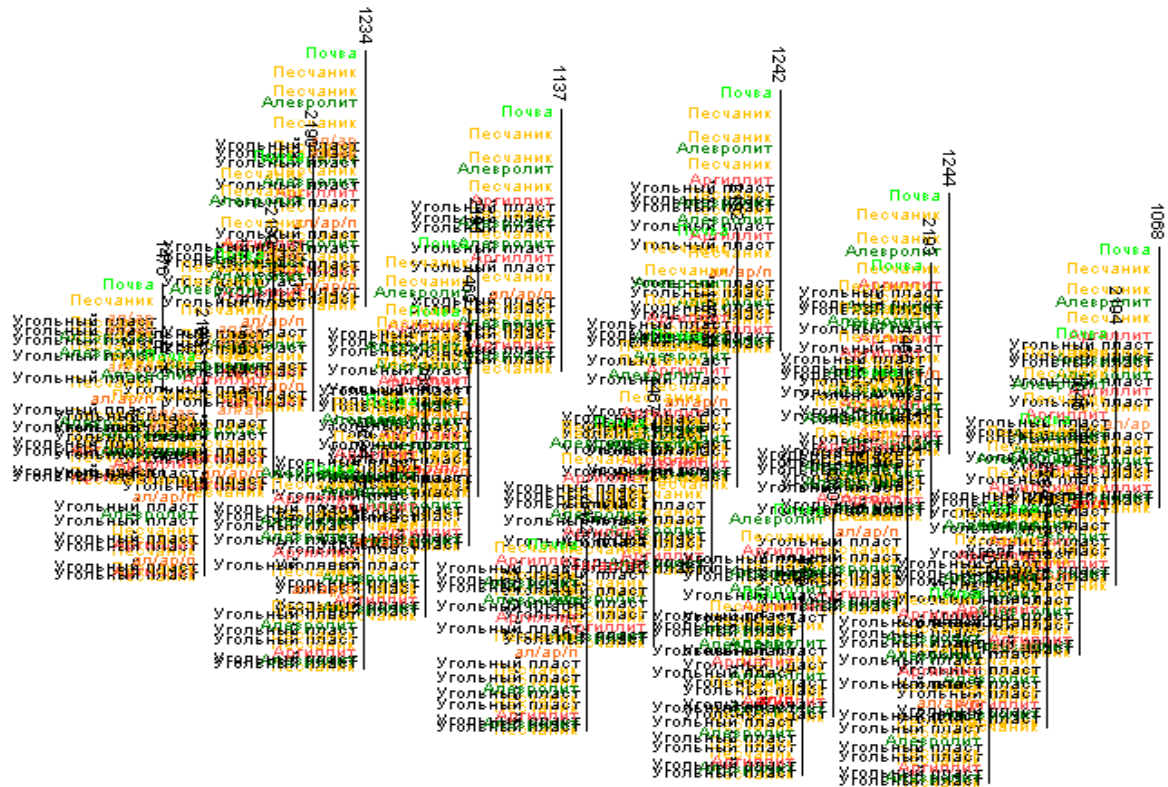


Рисунок 48 - Траектории скважин с отображением наименований горных пород, пересеченных буровой скважиной

Затем производится построение замкнутого контура, образованного при пересечении угольного пласта с воображаемой вертикальной секущей плоскостью вдоль разведочной линии. Процедура повторяется для каждой разведочной линии (Рисунок 49).

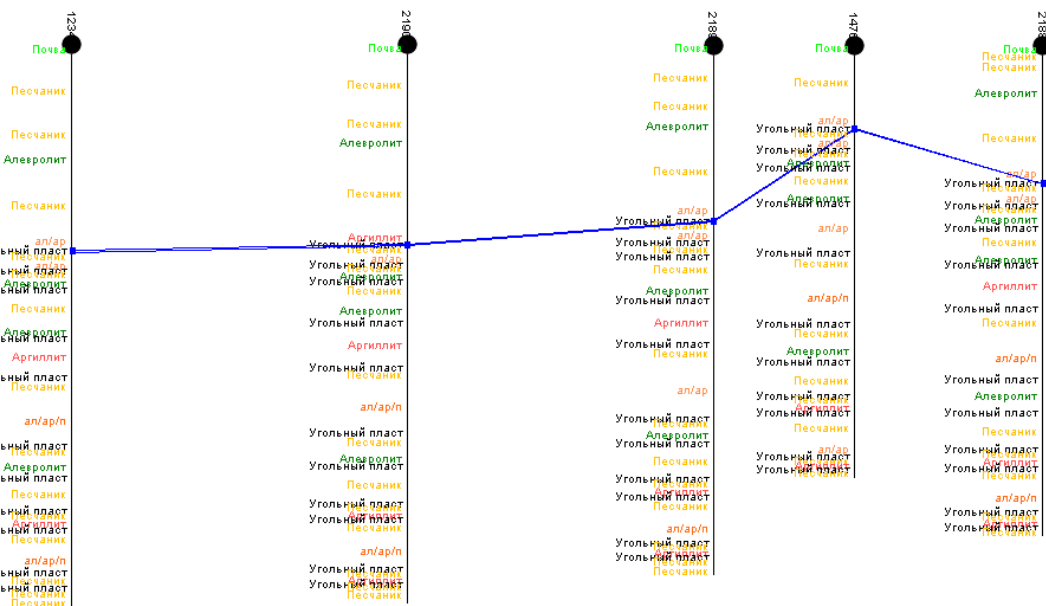


Рисунок 49 - Построение контура угольного пласта в разрезе по разведочной линии

На основе замкнутых контуров производится моделирование каркасов угольных пластов, которые ограничивают толщуг угольного пласта и служат базой для дальнейшего моделирования месторождения. Также производится моделирование земной поверхности и двухметрового слоя углевмещающих пород. Результат каркасного моделирования представлен на Рисунке 50.

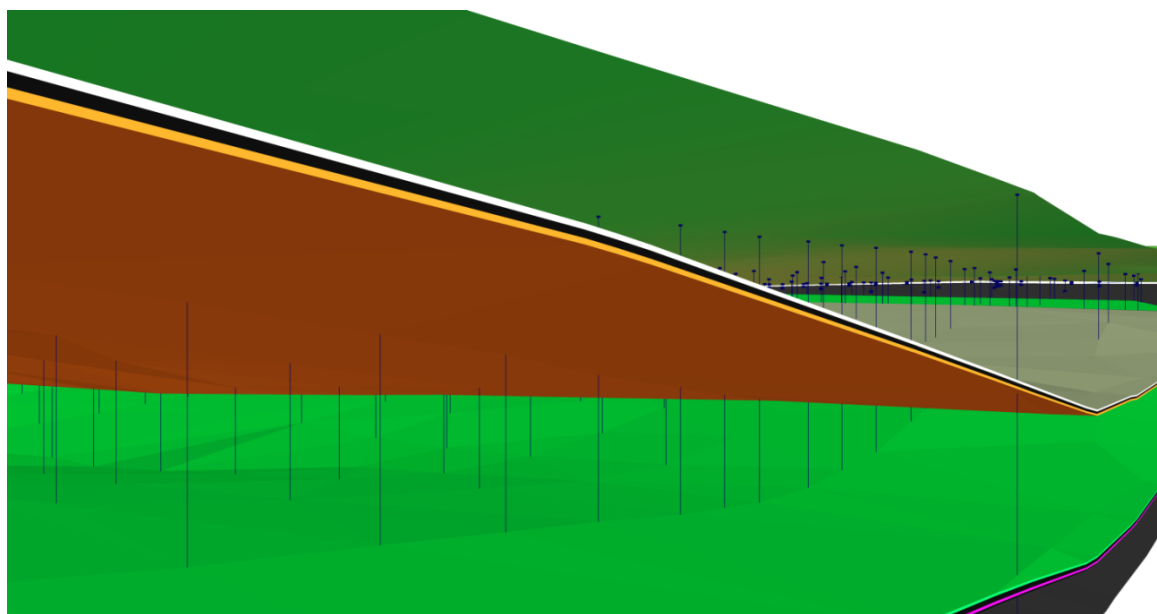


Рисунок 50 - Результат каркасного моделирования участка месторождения, разрабатываемого шахтой «Северная» АО «Ургалуголь»

На основе каркасной модели пластов производится блочное моделирование. Блочная модель пласта – трехмерная интерпретация угольного пласта, разбитая на прямоугольные параллелепипеды, внутри которых свойства угля условно одинаковы. Блочная модель позволяет производить прогноз свойств полезного ископаемого на всей площади его распространения на основе данных опробования.

Блочное моделирование позволяет заполнить каждую точку месторождения прогнозным значением любого параметра, определенного на этапе геологоразведки, и предоставить подробную информацию для автоматизированного проектирования технологической системы шахты.

Результаты блочного моделирования пласта В-26 шахты «Северная» АО

«Ургалуголь» по всем имеющимся в базе данных геологическим характеристикам, представлены на Рисунках 51-60.

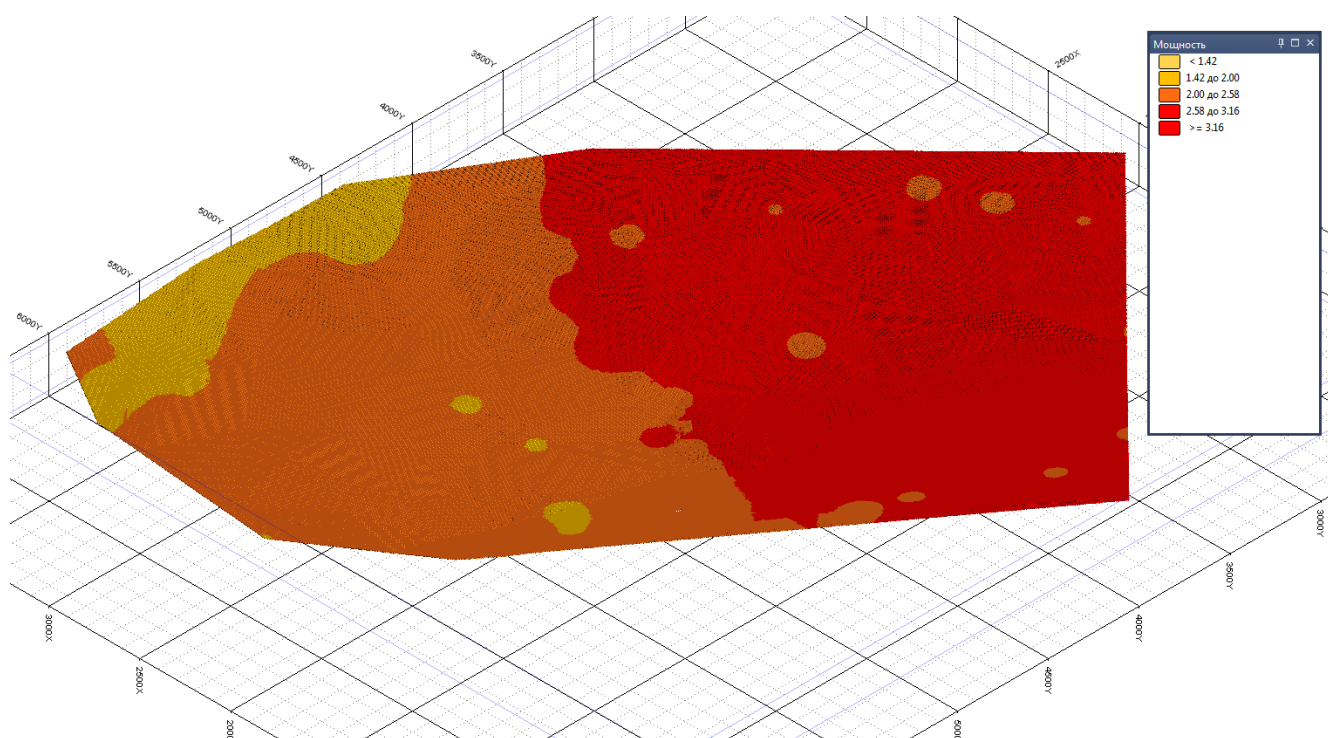


Рисунок 51 - Отображение изменения мощности пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

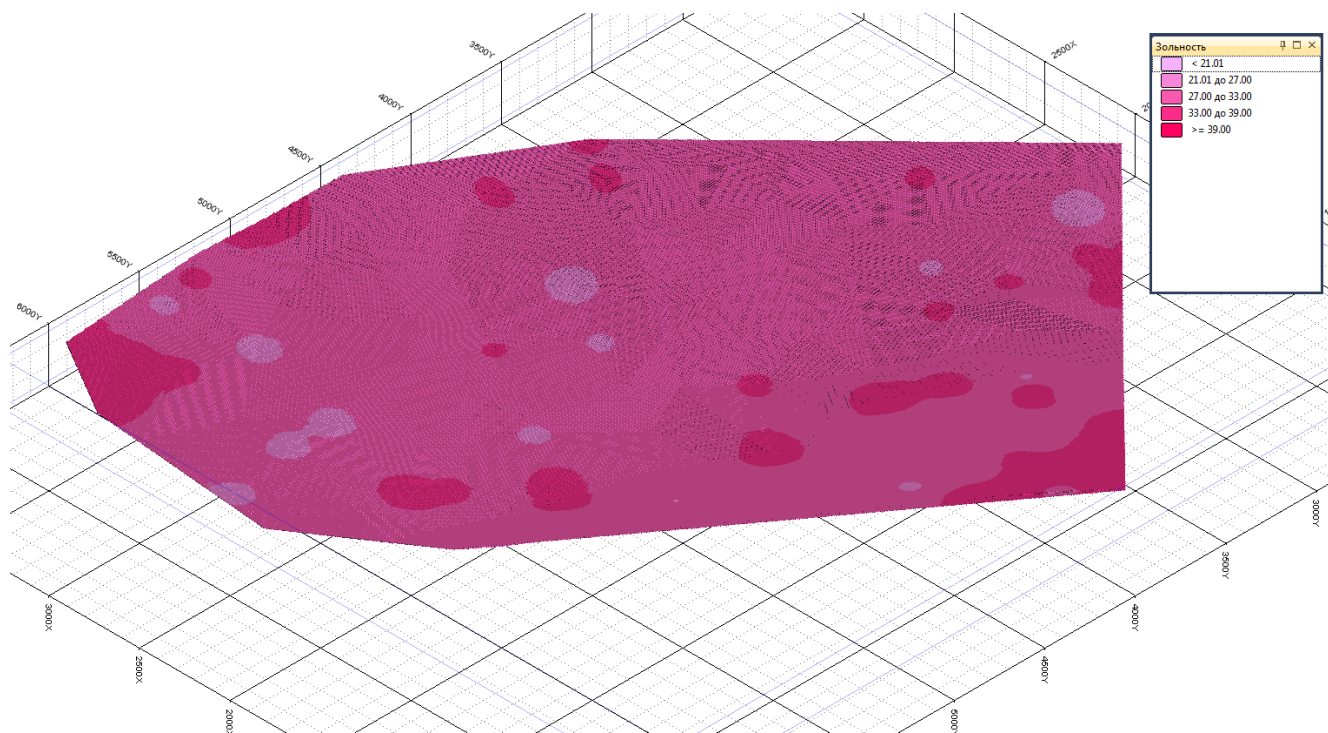


Рисунок 52 - Отображение изменения зольности угля пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

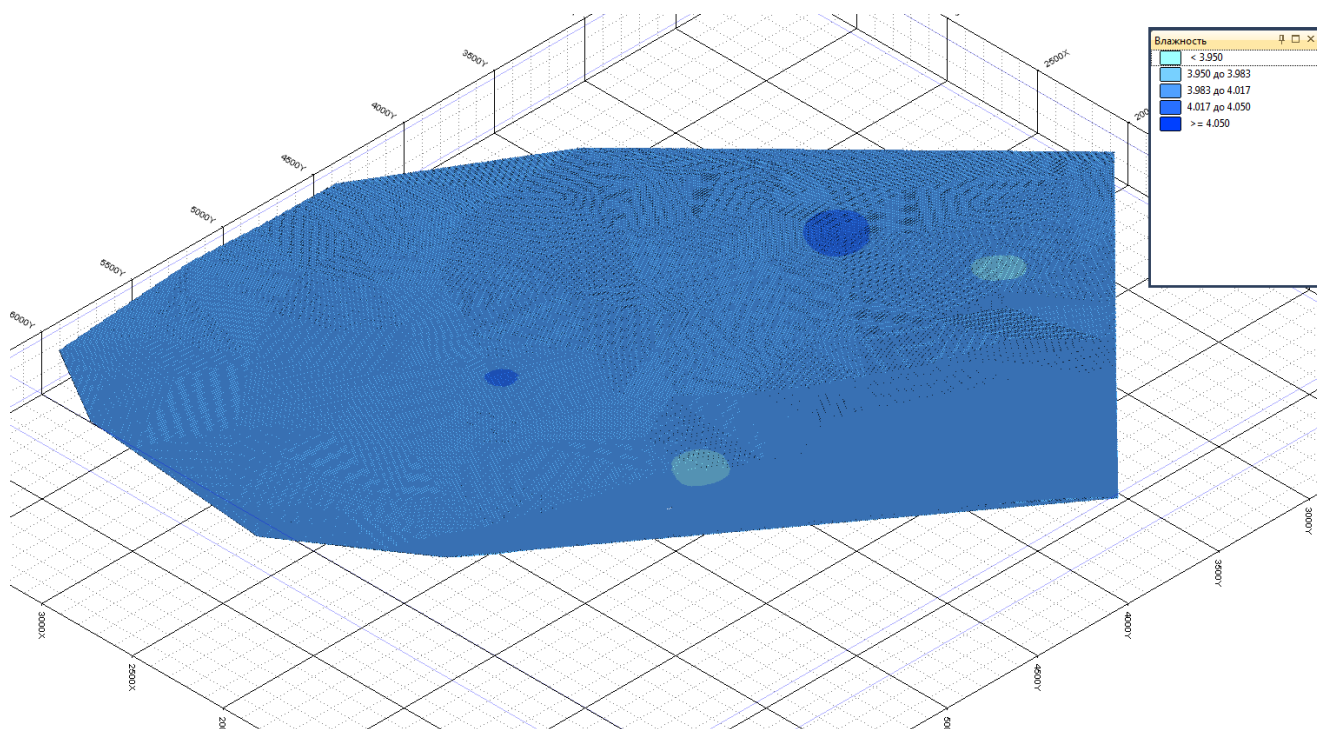


Рисунок 53 - Отображение изменения влажности пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

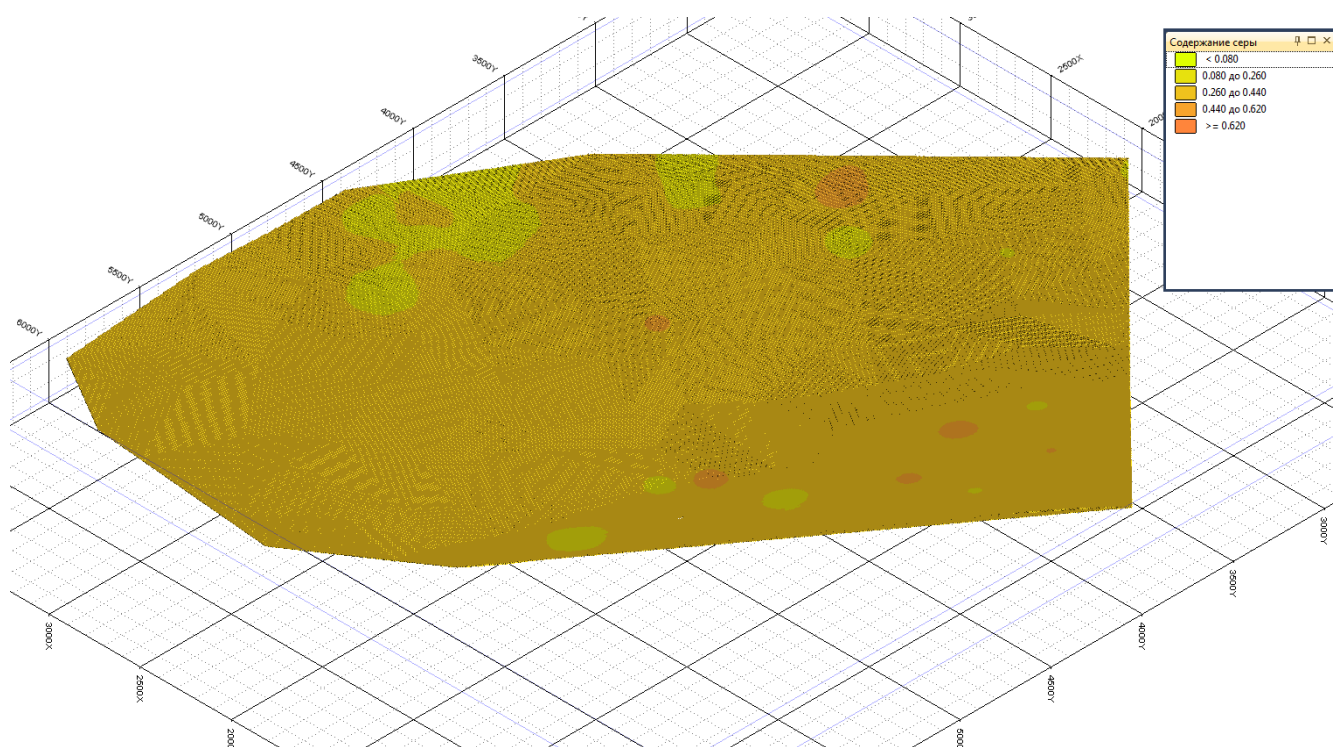


Рисунок 54 - Отображение изменения содержания серы пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

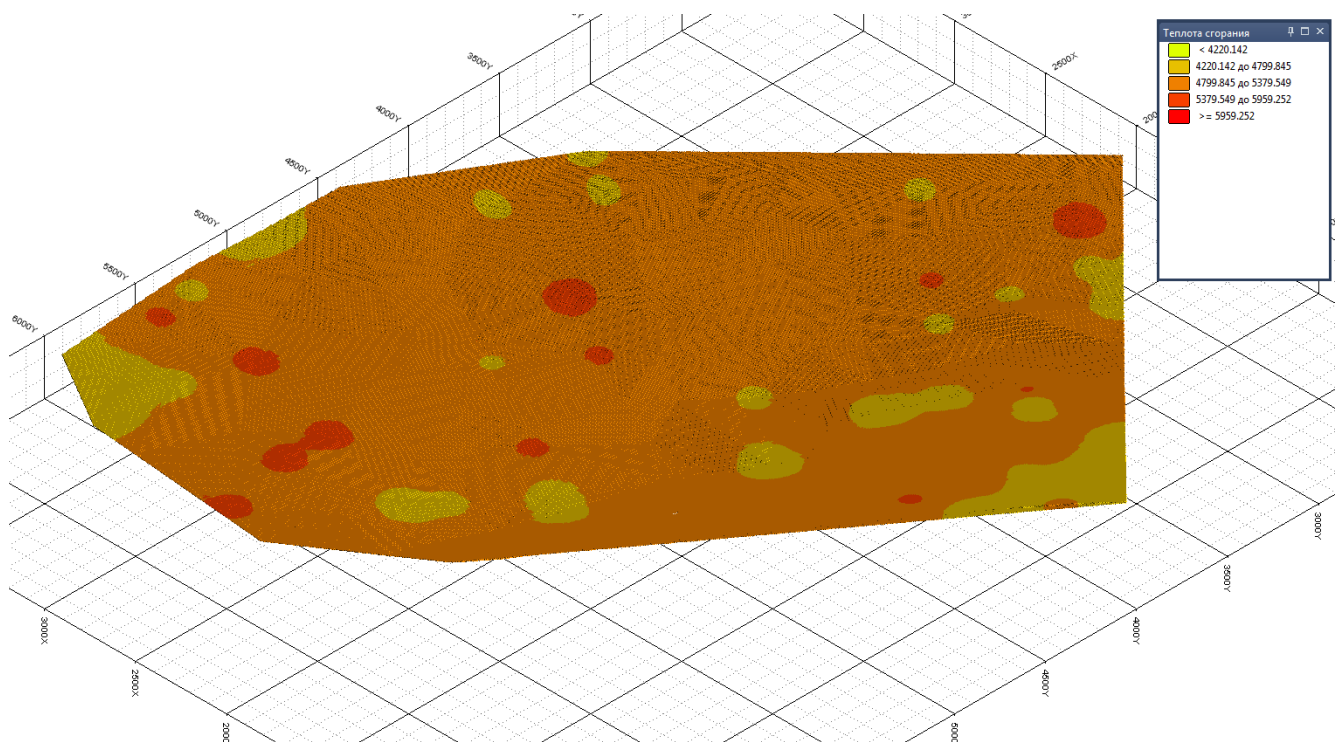


Рисунок 55 - Отображение изменения теплоты сгорания угля пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

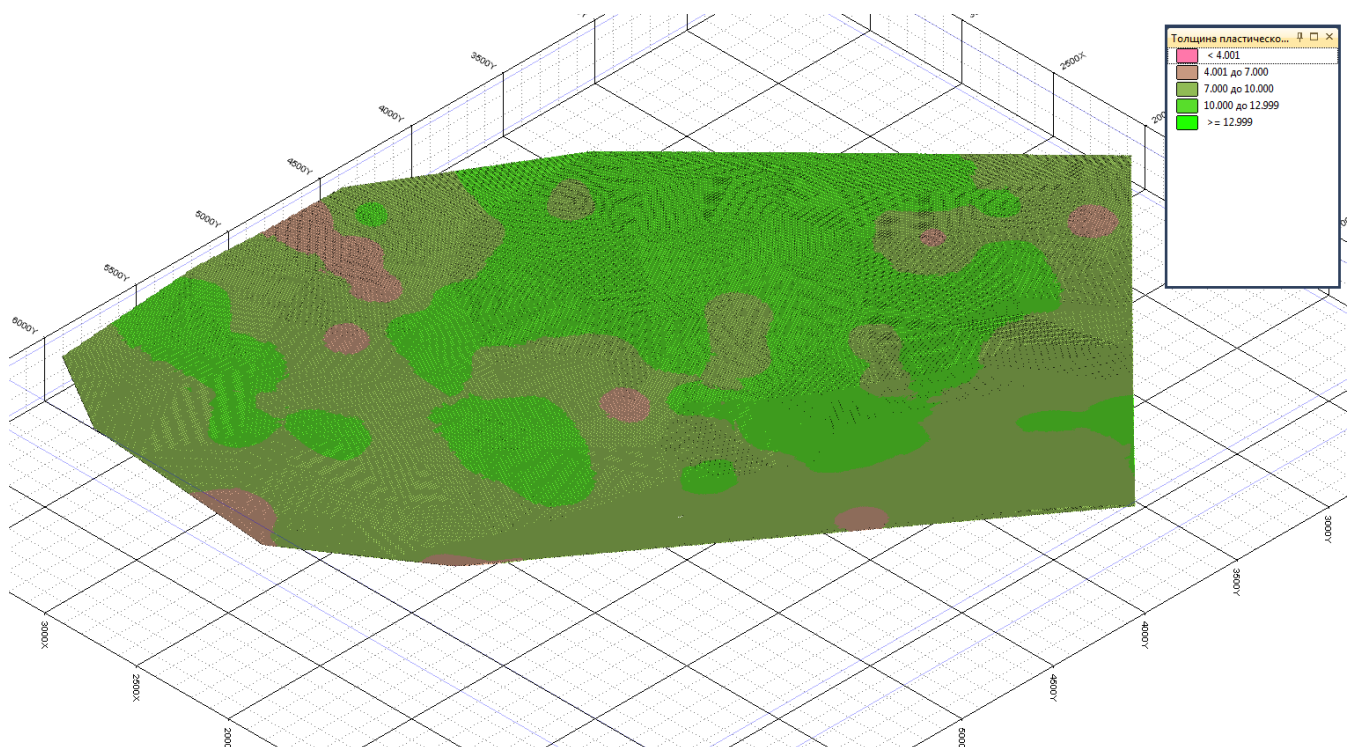


Рисунок 56 - Отображение изменения толщины пластического слоя угля пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

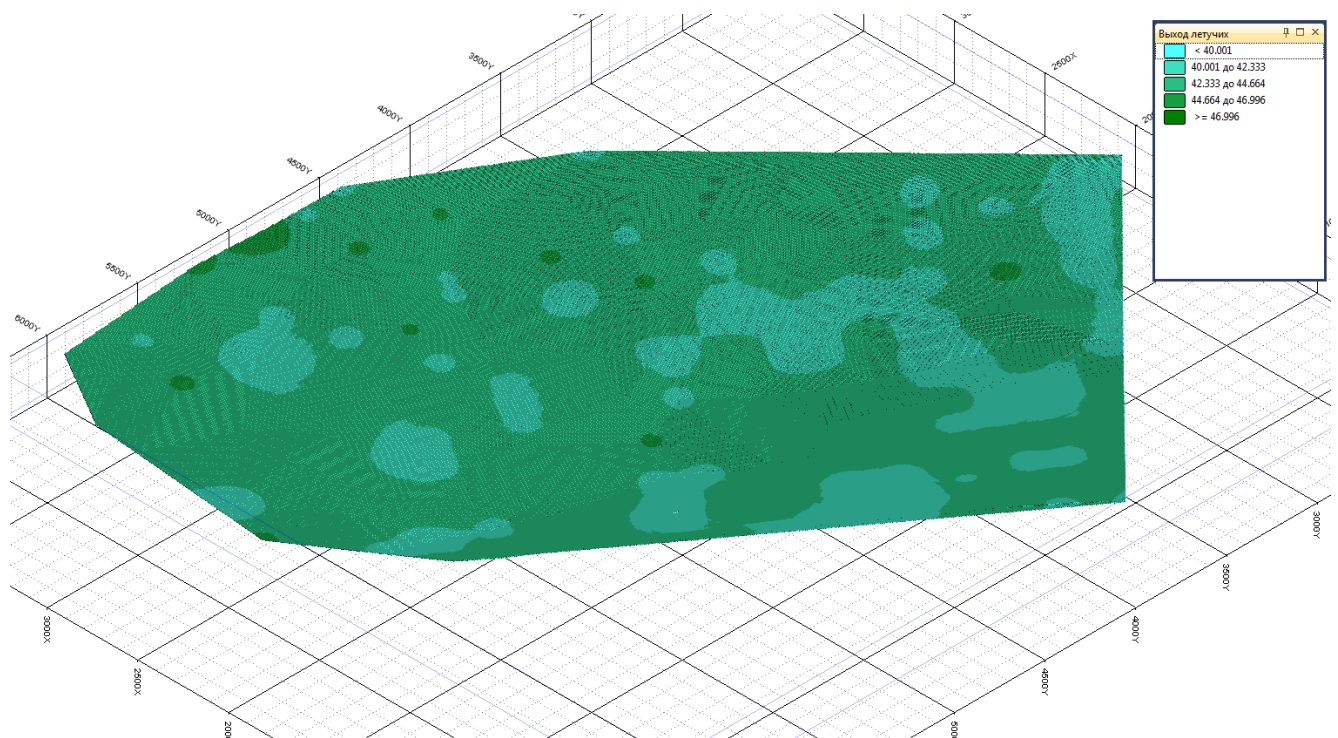


Рисунок 57 - Отображение изменения значения выхода летучих веществ угля пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

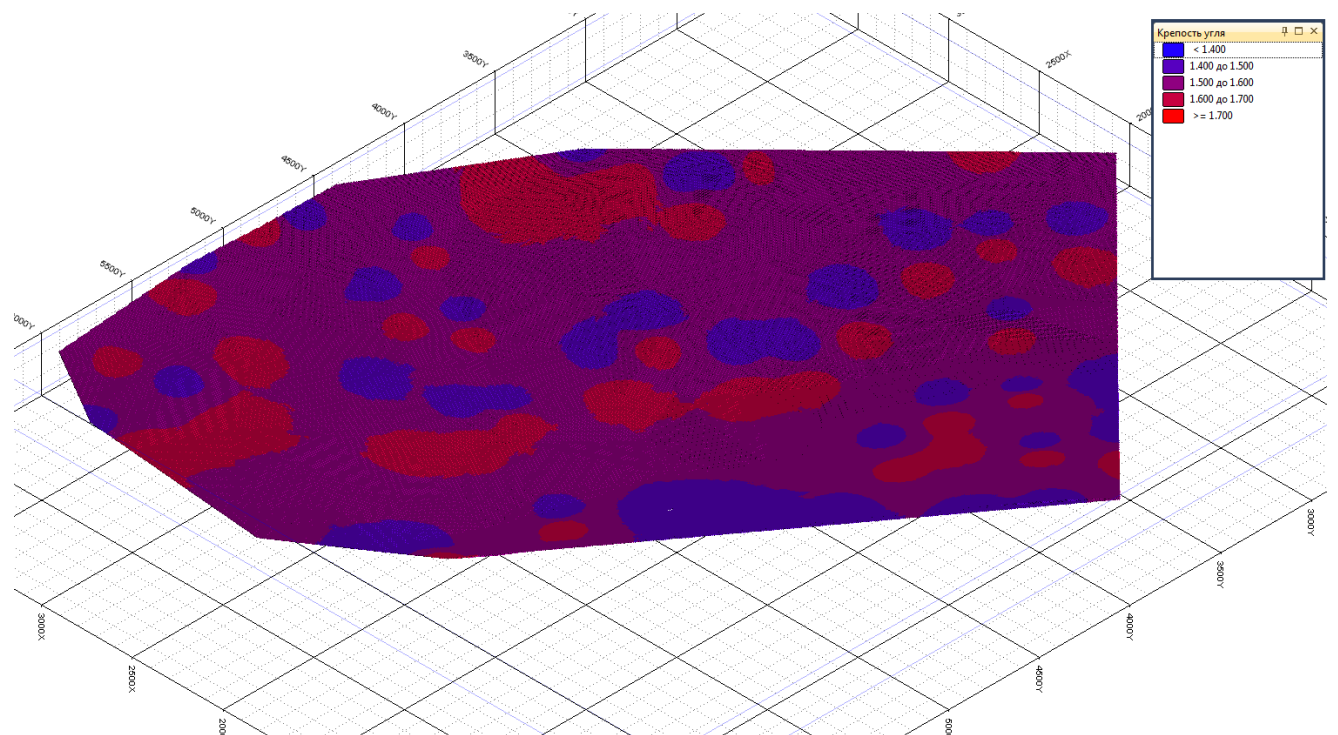


Рисунок 58 - Отображение изменения крепости угля пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

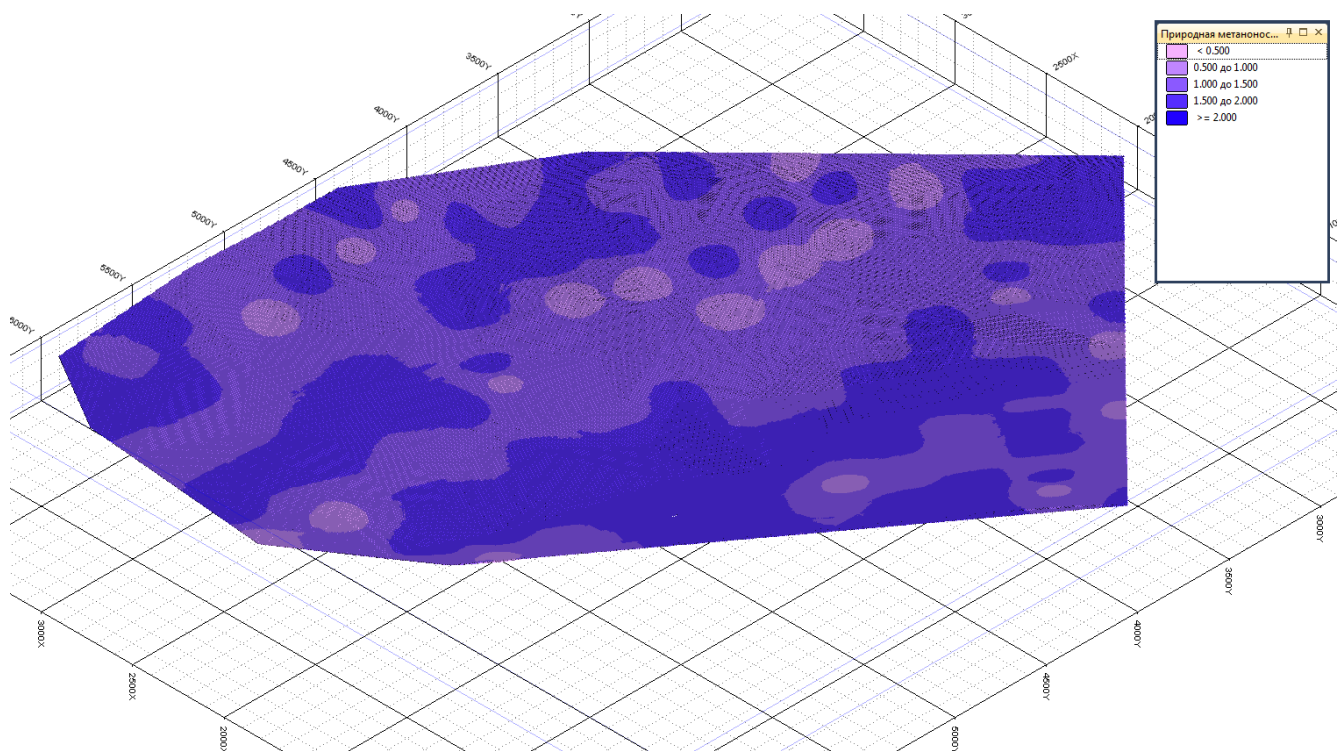


Рисунок 59 - Отображение изменения природной метаносности угля пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

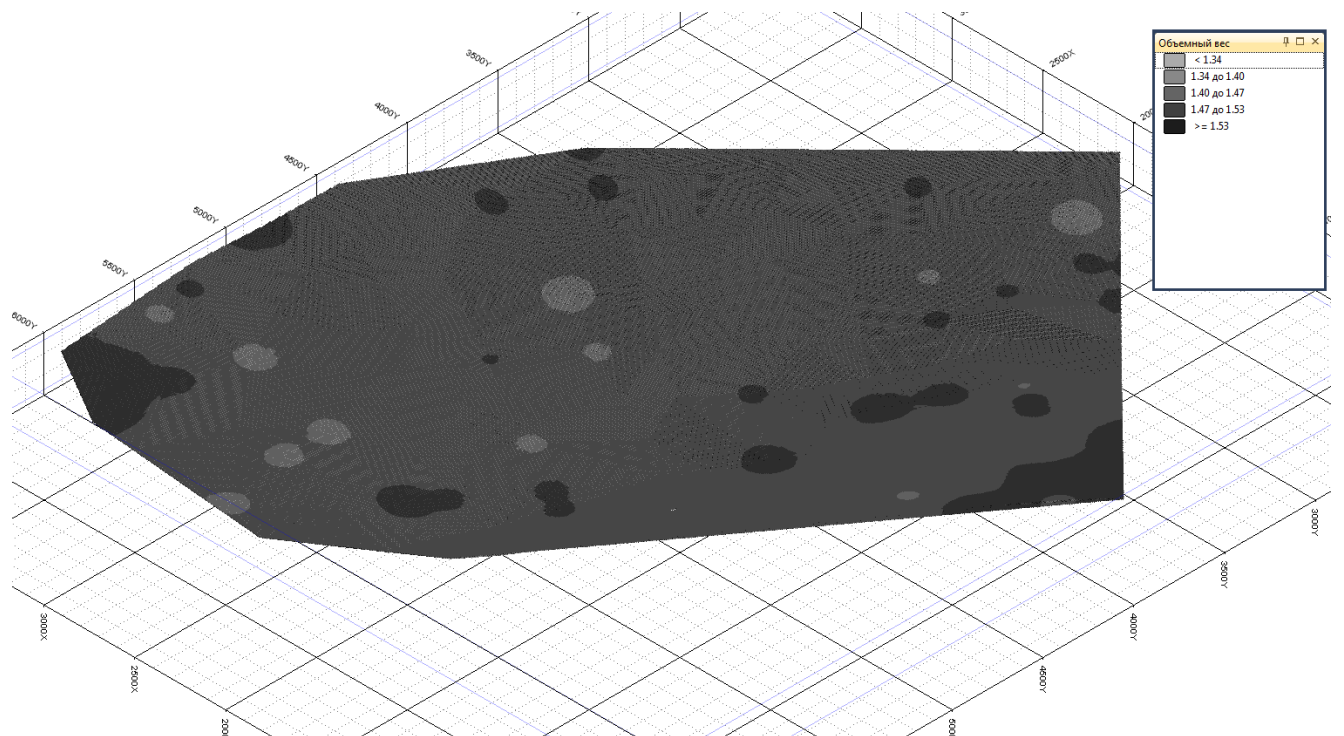
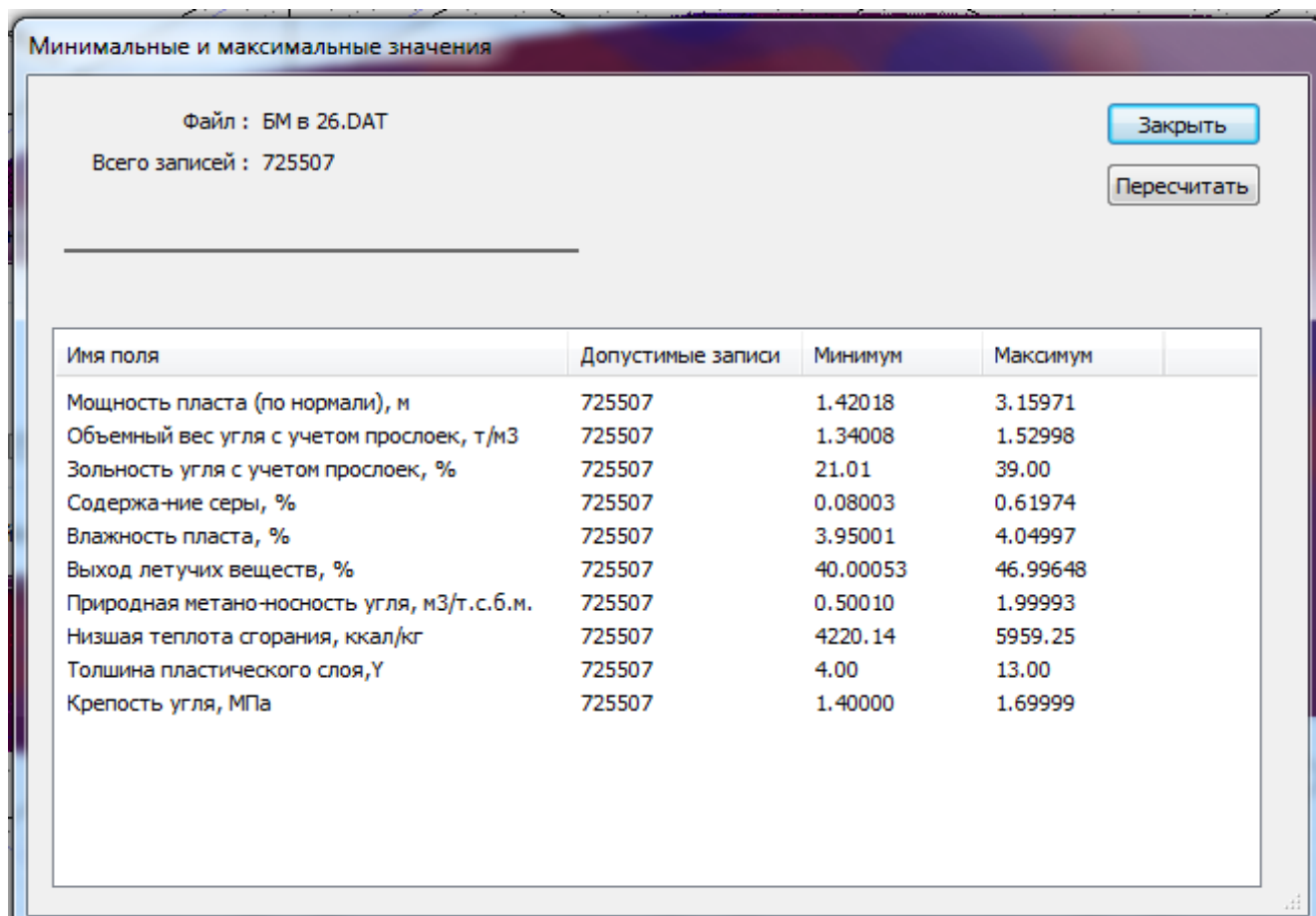


Рисунок 60 - Отображение изменения объемного веса угля пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

Числовой анализ блочной модели, показывающий минимальные и максимальные значения параметров модели, представлен на Рисунке 61.

Сформированная в ГГИС 3D-модель служит агрегирующим компонентом при моделировании горнотехнических систем горных предприятий, в том числе



Имя поля	Допустимые записи	Минимум	Максимум
Мощность пласта (по нормали), м	725507	1.42018	3.15971
Объемный вес угля с учетом прослоек, т/м3	725507	1.34008	1.52998
Зольность угля с учетом прослоек, %	725507	21.01	39.00
Содержание серы, %	725507	0.08003	0.61974
Влажность пласта, %	725507	3.95001	4.04997
Выход летучих веществ, %	725507	40.00053	46.99648
Природная метано-носность угля, м3/т.с.б.м.	725507	0.50010	1.99993
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	725507	4220.14	5959.25
Толщина пластического слоя, Y	725507	4.00	13.00
Крепость угля, МПа	725507	1.40000	1.69999

Рисунок 61 - Диапазоны значений горно-геологических характеристик блочной модели пласта В-26 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

в автоматизированном режиме. Модель такого вида позволяет принимать проектные решения на основании как отдельных характеристик условий залегания угольных пластов, так и их комплекса.

Следует также отметить, что данная технология моделирования пластовых месторождений в ГГИС является универсальной, и была использована автором для формирования всех 3D-моделей, необходимых для апробации научно-методических результатов диссертации.

К тому же следует отметить, что в мае 2013 года в ГГИС Micromine

появился новый модуль — «Стратиграфическое моделирование», который был разработан для более эффективной и удобной работы с блочной моделью пластовых месторождений. Эта модель отличается от обычной тем, что размер блоков по высоте является переменной величиной. Таким образом, каждый слой модели соответствует отдельному геологическому пластовому телу. Простота построения таких блочных моделей уже обеспечила широкое распространение этого метода моделирования среди пользователей ГГИС Micromine.

5.2. Рекомендации по формированию виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных месторождений

С появлением новых поколений компьютеров, отличающихся высокой производительностью, продуктивность исследований, основанных на применении методов вычислительного эксперимента, безусловно, будет возрастать.

Виртуальное пространство единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов необходимо формировать на базе существующих и вновь разрабатываемых информационно-вычислительных сетей, банков данных, баз знаний и других программных компонентов, что обеспечит коллективный доступ ученых, специалистов различных организаций, учреждений и предприятий, их структурных подразделений к прогрессивным техническим и программным ресурсам, а также оперативный обмен между ними информацией, выход во внешние сети, включая мировой уровень. Информационно-вычислительные территориально распределенные центры обработки информации представляют собой мощное средство междисциплинарного общения ученых и экспертов в области горного дела [43, 271–274].

При этом необходимым условием является создание единой методологии и

компьютерной технологии построения информационных систем автоматизированного визуального интерактивного 3D-проектирования в горнодобывающей отрасли, ориентированных на различных пользователей: исследователей, руководителей отраслевого уровня и предприятий, геологов, маркшейдеров, экспертов. Возможность создания такой методологии предопределяется информационным подобием решения многих задач, возникающих на разных стадиях изучения и эксплуатации месторождений, оценки полноты освоения недр.

Необходимо вести работы по решению задач комплексной автоматизации инженерного труда на уровне всей горнодобывающей отрасли. Одним из направлений является создание автоматизированных проектно-конструкторских бюро. В их функции входит выполнение всего объема работ от автоматизированной разработки эталонных горнотехнических моделей до непосредственной адаптации их к горно-геологическим условиям, а также формирования технологических карт горнотехнических систем в формате управляющих комплексов для безлюдных технологий освоения запасов угольных месторождений и роботизированной техники. Создаваемые в таких бюро документы могут быть выпущены как в виде традиционных чертежей, так и на магнитных носителях, но наиболее предпочтительным вариантом является размещение документации в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных месторождений.

Чрезвычайно важным условием создания виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов является продуктивное использование современных геоинформационных (ГИС) и горно-геологических информационных систем (ГГИС), позволяющих создавать сложные многофункциональные комплексы программного обеспечения, например, для планирования горных работ и прогнозирования горно-геологических условий при подземной добыче угля, для экологической экспертизы на уровне горнопромышленного региона, создания

банка данных цифровой картографической информации по планам развития работ на горных предприятиях России.

В настоящее время при проектировании угольных шахт достаточно серьезное внимание уделяется реализации методологии нечеткого вывода, а также формированию экспертных систем, что позволяет в автоматизированном режиме осуществлять выбор (поиск) перспективных вариантов проектных решений по отработке запасов выемочных единиц с последующей объективной поддержкой и корректировкой в соответствии с выявляемыми изменениями горно-геологических и горнотехнических условий.

Разработка совокупного программного комплекса экспертной системы - процесс длительный, не только трудоемкий, но и капиталоемкий. Обычно разработкой таких систем занимается целый коллектив разработчиков, в котором обязательно присутствуют инженер по знаниям, специалист в предметной области (эксперт), программист и пользователь. Реально коллектив разработчиков, как правило, намного большего формата, в нем могут задействоваться целые группы экспертов и программистов. Кроме этого, многие экспертные системы используют свои, созданные разработчиками, языки программирования, базы данных, логические структуры, модели представления знаний, адаптированные к конкретной предметной области.

На начальной стадии разработки экспертной системы всегда создается прототип. Прототипная версия представляет собой усеченную версию промышленной системы и используется для проверки правильности кодирования связей, стратегий и рассуждений эксперта. Как правило, объем прототипа не превышает нескольких десятков правил.

Для разработки прототипа достаточно эффективно могут использоваться оболочки экспертных систем. Данный класс программ представляет собой фактически готовую экспертную систему, имеющую свой решатель, свою базу данных, базу знаний и интерфейс. Задачей разработчиков в большинстве случаев является лишь заполнение базы знаний правилами и фактами из соответствующей предметной области.

В настоящее время на рынке экспертных систем следует отметить несколько оболочек. В частности, платформа G2, разрабатываемая и поддерживаемая компанией Gensym. G2 - это объектно-ориентированная среда для разработки и сопровождения экспертных приложений реального времени. По заявлению разработчиков G2 может использоваться для разработки приложений автоматизации принятия решений в области телекоммуникаций, финансов, промышленности, коммунальных услуг и транспорта. В данной платформе для создания правил, моделей, процедур используется структурированный естественный язык. Также компания на основе данной платформы разработала ряд других продуктов, позволяющих пользователям, в том числе, создавать нейросетевые прикладные программы [275].

Оболочка для создания экспертных систем Exsys Corvid Expert System Development Tool разработана компанией Exsys Inc. По заявлениям разработчиков данная оболочка ориентирована на специалистов в предметной области и инженеров по знаниям, которые совместно будут разрабатывать экспертную систему. Для создания и тестирования экспертной системы или ее прототипа разработчик не обязательно должен обладать знаниями программиста. Среда позволяет реализовать продукционное представление знаний. При этом в правила могут быть внесены коэффициенты уверенности, определяющие вероятность срабатывания правила. Коэффициенты уверенности задаются разработчиком при создании базы знаний. Кроме этого, в системе реализован механизм обратного вывода, включены элементы работы с нечеткими множествами, методы линейного программирования, нейронные сети [276].

Оболочка HUGIN – разработка Датской компании HUGIN Expert. Она представляет собой пакет программ, позволяющих конструировать модели, основанные на системах экспертных оценок в областях, характеризующихся существенной неопределенностью исходной информации. Программное обеспечение HUGIN основано на технологии байесовских сетей и диаграмм влияния - передовом методе искусственного интеллекта, широко используемом для поддержки принятия решений в условиях неопределенности. Программы

HUGIN содержат дедуктивную систему вывода, которую можно применить к сетям со сложными причинно-следственными связями между объектами (вершинами графа) [277].

Гибридная экспертная система Flex поддерживает как продукционное, так и фреймовое представление знаний. Кроме этого, возможно осуществлять создание классических процедурных моделей (процедурное программирование). Оболочка разработана британской компанией Logic Programming Associates (LPA). Программа Flex написана на языке Prolog, в ней реализованы методы прямого и обратного поиска, автоматическая система вопросов-ответов. С сайта разработчика можно бесплатно получить средства языка Prolog и компиляторы [278].

Следует отметить, что все охарактеризованные выше оболочки являются коммерческими продуктами. Стоимость их может изменяться в значительных пределах и существенно зависит от типа предоставляемой лицензии. Стоимость лицензии для исследований (Research License) варьируется в пределах 3 000 USD, коммерческие лицензии стоят дороже.

Кроме коммерческих продуктов существует ряд оболочек, распространяемых разработчиками бесплатно в рамках свободной лицензии. Как правило, такие продукты обладают крайне ограниченным функционалом, позволяют создавать небольшие базы знаний. Среди таких продуктов следует выделить два наиболее распространенных. Так, «Малая экспертная система 2.0» разработана группой российских программистов в конце 1990-х - начале 2000-х годов. Это программа с открытым кодом, предоставляемая в рамках лицензии Massachusetts Institute of Technology (MIT-лицензии). Программа представляет собой простую оболочку, использующую байесовский механизм логического вывода. Поддерживается как прямой, так и обратный вывод. К недостатку данной программы можно отнести, тот факт, что она создавалась под Windows 95/98 и, соответственно, устойчивость работы в новых версиях Windows не может быть гарантирована.

Программа Expert Developer Pro создана по идеологии

«многодокументальный интерфейс пользователя», что позволяет осуществлять одновременно различные виды деятельности с несколькими шаблонами. Программа позволяет создавать простые производственные модели и проводить диалог с пользователем в рамках концепции вопрос-ответ. Недостаток такой системы в том, что ответ на вопрос является односложным: либо «да», либо «нет». Программа также имеет открытый исходный код.

Необходимо отметить, что в обзоре представлены далеко не все оболочки для создания экспертных систем, приведены наиболее доступные и стабильные программные продукты.

Однако число готовых программных продуктов для разработки экспертных систем ограничено. С одной стороны, любые новые разработки в области искусственного интеллекта и интеллектуальных систем засекречиваются компаниями-разработчиками. С другой стороны, экспертные системы разрабатываются для решения конкретных задач в конкретной предметной области, поэтому создание универсальной оболочки представляется крайне затруднительным, в особенности учитывая тот факт, что в настоящее время не существует четкой классификации тех задач, которые решаются с помощью экспертных систем. Большинство существующих в настоящее время оболочек направлено на решение достаточно узкого круга задач. Разработка программного обеспечения осуществляется исходя из специфики решаемых задач в условиях, когда разработчиками (эксперт и инженер по знаниям) уже определена архитектура программы: выбран язык представления знаний, определена структура баз знаний и наиболее удобный алгоритм работы решателя. Значительное влияние на рынок оказывает также то обстоятельство, что разработка подобных оболочек сопряжена с необходимостью затрачивать значительные финансовые, материальные и людские ресурсы для их создания при условии, что оценить возможную прибыль крайне затруднительно.

5.3. Рекомендации по практической реализации методологии разработки и использования эталонных горнотехнических моделей

Синтез эталонных горнотехнических моделей является одной из самых ресурсоемких задач при формировании виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов, что актуализирует необходимость выполнения целого ряда условий при реализации данного процесса.

Так, с учетом необходимости выполнения условия целостности, эталонные горнотехнические модели должны разрабатываться как совокупность взаимосвязанных (в том числе иерархически) элементов, обладающих существенными связями.

Модель должна быть масштабируемой, обеспечивая предсказуемость позитивных изменений своих параметров при выявлении дополнительных ресурсов, например, числа разрабатываемых пластов, увеличения ресурса работоспособности горнодобывающего оборудования, общей производительности труда в отрасли и т.д.

Модель должна иметь возможность адаптироваться к специфике горно-геологических условий и «вписываться» в существующие ограничения технологий освоения георесурсов, причем в автоматизированном режиме.

Модель должна отличаться возможностью экспорта-импорта различных форматов данных для интеграции с программным обеспечением 3D-моделирования месторождений полезных ископаемых и др.

При изменении параметров одного компонента эталонной горнотехнической модели должны соответствующим образом измениться параметры связанных с ней элементов, что позволяет модели реализовывать эффект ассоциативности.

Каталогизируемость определяет возможность поиска и оценки применимости модели специалистом при ведении проектных работ.

Способность модели функционировать во времени, обеспечивая возможность «проиграть» различные варианты развития при изменении входных данных, определяет, таким образом, ее прогнозность (динамичность).

Способность модели учитывать повреждения при воздействии внешних и (или) внутренних факторов определяет ее свойство уязвимости.

Наличие цели функционирования модели и обратной связи с представляемой горнотехнической системой (подсистемой) является обязательным условием.

Гибкость является важным свойством модели изменять ее целевое назначение в зависимости от условий функционирования или состояния элементов.

Надежность определяет свойство модели сохранять структуру представляемой горнотехнической системы (подсистемы) и обеспечивать реализацию заданных функций в течение определенного периода времени с заданными характеристиками качества, несмотря на гибель отдельных ее элементов. Достижение подобной характеристики обеспечивается с помощью моделирования замены или дублирования поврежденных элементов, а также активное подавление вредных качеств внешней и внутренней среды функционирования горнотехнической системы.

Способность модели не наносить недопустимые воздействия техническим объектам, персоналу, окружающей среде при своем функционировании определяет ее безопасность.

Отдельно необходимо обратить внимание на характеристику прогностических возможностей эталонных горнотехнических моделей, которые возможно реализовать только с помощью системного прогнозирования особенностей функционирования горного предприятия.

Эффективность функционирования современной угольной шахты как сложной технико-экономической производственной системы характеризуется рядом выходных показателей, формирующихся под воздействием комплекса природных, горнотехнических, организационных, социально-экономических и

других факторов. Причем качественные и количественные характеристики формирующего воздействия факторов отличаются значительной динамичностью, постоянно меняясь во времени.

На каждом шаге управления горнотехнической системой, естественно, необходимо знание динамики взаимодействия выходных показателей деятельности предприятия и входных параметров на базе анализа сложившихся тенденций и закономерностей, которые определяют их уровень в будущем. Одномерное прогнозирование характеристик производственной деятельности далеко не всегда позволяет получить достаточно объективные значения их на заданной глубине упреждения, поскольку вариация параметров и показателей в перспективе будет иметь место в «стесненных» обстоятельствах. Для целей же системной увязки параметров и показателей эффективности функционирования угольных шахт необходимо осуществление многомерного (многофакторного) прогнозирования.

В рамках горнотехнической модели разработка прогнозов должна осуществляться непрерывно (системно), причем каждый последующий шаг прогнозирования должен быть осуществлен с учетом прогнозов, выполненных на предыдущем шаге. Естественно, что функционал прогнозирования как составной элемент горнотехнической модели должен формироваться при наличии системного подхода к анализу и использованию результатов прогнозирования для целей оперативного, текущего и перспективного планирования, а также управления производством. Таким образом, глубина прогнозирования должна соотнобразовываться с периодом планирования или периодом актуализации управляющих воздействий.

Качество получаемых прогнозов, прежде всего, определяется качеством базовой (исходной) информации и глубиной предсказания, однако достоверность результатов прогнозирования может быть повышена путем более корректного и обоснованного использования того или иного метода, причем алгоритм структуры системы прогнозирования должен предусматривать выбор метода в автоматизированном режиме, с учетом соответствующих критериев.

Необходимость системного подхода к прогнозированию параметров и показателей заключается в возможностях обоснованной формализации процессов планирования и управления. Как уже отмечалось, однопараметрический прогноз представляет собой траекторию движения параметра в предположении неизменности условий, формирующих уровни взаимодействия его с другими параметрами и качества управления. Всякий отход от этой неизменности приводит к изменению прогнозных траекторий. Причины и характер подобных изменений можно оценить лишь при комплексном учете степени и качества взаимодействия определяющих параметров и показателей функционирования объекта на перспективе.

Таким образом, очевидна необходимость разработки эталонных горнотехнических моделей, включающих в свой состав функционал прогнозирования технико-экономических характеристик горнодобывающих предприятий, и реализация данного компонента в автоматизированном режиме с помощью современных вычислительных комплексов.

5.4. Методические рекомендации по внедрению технологических карт в практику проектирования и управления горнотехническими системами

В соответствии с вышеизложенными научно-методическими принципами развития автоматизированного проектирования горнотехнических систем становится очевидной необходимость разработки инструментария виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт на базе применения информационного моделирования как для разработки формальных проектных документов, так и для совершенствования процесса повторного использования моделей на последующих стадиях функционирования горнодобывающих предприятий (оперативного управления технологическими процессами, оптимизации, технического перевооружения, консервации).

Технологическая карта представляет собой результат информационного моделирования, используемый для проектирования и эксплуатации горнотехнической системы. Цель ее разработки должна отражать требуемые свойства проектируемой горнотехнической системы. Разработка проектной и рабочей документации не должна быть единственной целью формирования технологических карт.

Качественное формирование технологических карт достижимо только при условии тесного взаимодействия всех участников не только проектно-конструкторского процесса, но и процесса эксплуатации горнотехнической системы, что требует разработки концепции интегрированного проектного процесса (integrated design process или IDP), в некоторых источниках называемого непрерывным проектированием.

Интегрированный проектный процесс можно определить как подход к реализации проекта горнотехнической системы, обеспечивающий достижение заданных показателей производственной деятельности шахты: уровня энергетической эффективности функционирования, соответствия требованиям технического задания на проектирование, исполнения графика ввода в эксплуатацию, соблюдения бюджета и др. Подход опирается на сотрудничество мультидисциплинарной управляющей команды, члены которой принимают решения совместно, основываясь на целостном восприятии проекта и разностороннем видении проблем. В состав управляющей команды могут входить представители недропользователя, конструкторы горного оборудования и технологических систем, управленческий персонал, эксперты, руководители технических звеньев, региональные или государственные представители.

Интегрированный проектный процесс базируется на взаимодействии членов управляющей команды на протяжении всего жизненного цикла горнотехнической системы. Осуществляется учет стоимости жизненного цикла, в том числе стоимости разработки, эксплуатации, технического обслуживания, социальные и экологические выгоды, стоимость консервации. Реализуется целостное рассмотрение горнотехнической системы и ее подсистем. Важным

аспектом интегрированного проектного процесса является поиск оптимальных проектных решений с учетом взаимозависимости технологических процессов и горно-геологических условий эксплуатации горнотехнической системы. Интегрированный проектный процесс должен ориентироваться на интерактивность – предусматриваются постоянные изменения, коррекция проекта, основанные на обратной связи за счет непрерывного мониторинга и совместного принятия решений.

Реализовать эту концепцию на практике позволяет применение технологий информационного моделирования. Информационное моделирование необходимо осуществлять для оптимизации процессов проектирования и эксплуатации на основе использования единой модели горнотехнической системы, представленной в технологической карте, осуществляя обмен информацией по любой подсистеме между участниками проекта на протяжении всего жизненного цикла – от разработки проекта до консервации горного предприятия. Инструментарий виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсного потенциала угольных шахт должен разрабатываться на основе технологий информационного моделирования и призван исключить избыточность, повторный ввод и потерю данных, ошибки при их передаче и преобразовании. Основным отличием использования виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсного потенциала угольных шахт по сравнению с системами автоматизированного проектирования и горно-геологическими информационными системами является поддержка распределенного пользования, что позволяет использовать данную технологию в целях реализации IDP [103, 181].

Применение виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов позволяет повысить достоверность исходных горно-геологических данных. Это способствует сокращению сроков проектирования, обеспечению его

многовариантности и интегрированности (непрерывности). Кроме того, имеют место снижение расходов на реализацию проекта и повышение производительности работы благодаря простоте получения информации, повышение уровня согласованности и качества проектной документации, возможность автоматизированного управления роботизированным горным оборудованием, повышение безопасности горных работ.

Однако необходимо быть готовым к дополнительным материальным и интеллектуальным затратам на формирование виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов в связи с разработкой общего плана взаимодействия при формировании и внедрении технологических карт; интеграцией информационных технологий проектирования и технологий оперативного управления горнотехническими системами, в том числе обеспечением совместимости программного обеспечения и форматов данных, разработкой соответствующих стандартов и др.; поиском квалифицированных специалистов с соответствующим опытом информационного моделирования, а также повышением квалификации существующих специалистов, изменением образовательных программ высших учебных заведений (ВУЗ-ов), а также организационно-структурными изменениями в штате горных компаний и проектно-конструкторских организаций.

В то же время опыт зарубежных фирм показывает, что привнесенные в этом направлении затраты окупятся ростом производительности и качества работы, а в итоге и ростом прибыли.

Отдельно необходимо остановиться на реализации обучения персонала, призванного работать в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсного потенциала угольных шахт. Необходимо регулярно проводить тестирование и обучение работающих специалистов принципам информационного моделирования, применению функциональных возможностей современных систем автоматизированного проектирования (Computer Aided Design или CAD),

инженерного анализа (Computer Aided Engineering или CAE) и изготовления изделий (Computer Aided Manufacturing или CAM), а также горно-геологических информационных систем. Кроме этого необходимо наличие у специалистов глубоких знаний в предметной области, чтобы при обучении работе с расчетным пакетом не приходилось разъяснять инженерному персоналу методики расчетов.

Отсутствие квалифицированных кадров может оказаться серьезной проблемой на пути внедрения единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт. В данной ситуации успешно зарекомендовала себя практика «шефства над ВУЗ-ами», когда предприятие приглашает на практику студентов, участвует в формировании учебных программ. Необходимо развивать институт наставничества, стимулировать опытных сотрудников обучать молодежь.

Для практической реализации методологии информационного моделирования горнотехнических систем от специалистов горного профиля требуется широкий научный кругозор, включающий компетенции в областях системного моделирования, прогнозирования, использования методов и средств искусственного интеллекта, технологий виртуальной реальности, новых геотехнологий и др.

В этой связи автором диссертации предлагается использовать индивидуальные траектории обучения специалистов горного профиля для формирования необходимых компетенций. Разработанный программный комплекс «Единая информационная система высшего учебного заведения» (ПК «ЕИС ВУЗ») [184] позволяет выполнить эту задачу путем определения дисциплин, изучаемых студентами в процессе обучения (Рисунок 62). ПК «ЕИС ВУЗ» был внедрен в эксплуатацию с 2005 г, и работает в настоящее время на заочной форме обучения Горного института НИТУ «МИСиС».

Кроме того, при использовании ПК «ЕИС ВУЗ» имеется возможность предоставлять работодателям доступ к результатам обучения и участию в формировании индивидуальных траекторий обучения студентов (Рисунок 62).

1С:Предприятие - Единая информационная система высшего учебного заведения

Файл Правка Операции Справочники Документы Администрирование Дипломирование Отчеты Обработки Прочие Администрирование Сервис Окна Справка

Распоряжение о распределении контингента дисциплин по выбору: Проведен

Номер: В3044 Учебный год: 2013/2014
 Дата: 02.06.2016 10:41 Подразделение ВУЗа: В30
 Форма обучения: заочная

Автор создания: Администратор
 Автор проведения:
 Заполнить по старым документам Заполнить
 Заполнить семестры

Распределение контингента Дисциплины по выбору

КОНТИНГЕНТ

Чтобы выделить сразу нескольких студентов, кликайте по требуемому студенту, удерживая нажатой клавишу "Shift" (от...до) или "Ctrl" (по одному).

Изменить дисциплину выбранным студентам

N	Студент	Группа	Семестр	Группа дисциплин по выбору	Дисциплина	Кафедра
11	Роман Николаевич	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
12	Марина Юрьевна	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
13	Ольга Михайловна	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
14	Ирина Юрьевна	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
15	Максим Сергеевич	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
16	Ильёс Шарафидинович	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
17	Лариса Валерьевна	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
18	Вадим Юрьевич	ТПУ-10-Пз	7	7	1 Компьютерное моделирование	ПРПМ
19	Александр Олегович	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
20	Алексей Олегович	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
21	Елена Анатольевна	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
22	Николай Александрович	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
23	Анна Сергеевна	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
24	Андрей Николаевич	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
25	Виталий Викторович	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
26	Геннадий Александрович	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
27	Юрий Яковлевич	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ
28	Александр Юрьевич	ТПУ-10-Пз	8	8	1 Биотехнология горных работ	ПРПМ

Примечание:

Печать Записать Провести Распространить Закрыть

Документы Распоряжение... Распоряжение о... Проведен

Рисунок 62 - Формирование индивидуальных траекторий обучения студентов горных специальностей на базе ПК «ЕИС ВУЗ»

Для оценки эффективности совершенствования организации проектных работ путем внедрения технологий информационного моделирования рекомендуется использовать показатель возврата инвестиций. Возврат инвестиций (Return On Investment или ROI) – отношение доходов от вложения к расходам на них. Для расчета возврата инвестиций в течение первого года используют стандартную формулу (41):

$$ROI = \frac{(B - \frac{B}{1+E})(12-C)}{A+BCD}, \quad (47)$$

где В – затраты на рабочую силу в месяц, усл. ед.;

Е – рост производительности после обучения, %;

С – длительность обучения, мес.;

А – стоимость оборудования и программного обеспечения, усл. ед.;

В – снижение производительности во время обучения, %.

Внедрение единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов на уровне горнодобывающего

предприятия требует создания соответствующей системы организации работ, так как только в этом случае может быть обеспечено эффективное использование сложного и высокопроизводительного инструментария виртуального пространства.

В организационной структуре инженерных подразделений горных предприятий (или их объединений) необходимо выделить специальную службу, призванную заниматься автоматизацией проектно-конструкторских и технологических работ. В этой службе должны быть задействованы конструкторы и технологи-постановщики задач, математики-программисты, соответствующий технический персонал. Служба призвана обеспечить необходимые условия для создания, эксплуатации и развития виртуального пространства на соответствующем уровне единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов. При этом необходимо учитывать потребности в аппаратном и программном обеспечении.

На каждом предприятии, внедряющем виртуальное пространство единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов, рекомендуется разработать положения, регламентирующие организационную структуру подразделений и систему связей между ними в процессе подготовки и использования технологической карты горнотехнической системы, а также инструкции, определяющие функции, обязанности и права всех исполнителей работ.

Многоплановость функций проектирования и управления горнотехническими системами требует четкого планирования и координации деятельности всех участвующих служб и отделов горнодобывающего предприятия.

При формировании технологических карт горнотехнических систем необходимо участие геологической службы, отдела главного технолога, энергомеханической службы, руководителей производственных участков, центра обработки цифровых данных, а также представителей соответствующих служб,

ответственных за формирование виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов на государственном или региональном уровне.

В целях обеспечения согласованности действий служб и инженерно-технических работников шахты в процессе разработки технологических карт ответственность за их составление возлагается на технический отдел шахты. Им же осуществляется контроль за исполнением технологических карт, актуализация карт, их ретроспективный анализ, что позволяет повысить объективность и эффективность использования карт, разрабатываемых на освоение новых и смежных участков месторождений.

Работники технического отдела регулярно просматривают журналы функционирования горнотехнической системы, анализируют качество «работы» моделей в составе технологической карты и выполнение предусмотренных в ней мероприятий технологического и ремонтно-профилактического (технического) характера, соответствие плановых и фактических параметров горных работ, в случае необходимости осуществляют корректировку технологических карт. Кроме того, отделом главного технолога контролируются технико-экономические показатели эффективности работы горнотехнической системы, например, уровень снижения нагрузки на очистной забой при его работе в «зонах геологических осложнений» и другие данные. Эти данные служат основой для анализа и прогнозирования уровня расчетной нагрузки на очистной забой, а также для уточнения системы прогнозирования горнотехнических моделей, который включены в состав технологической карты.

Работниками геологической службы выполняются работы по актуализации цифровых 3D-моделей месторождений полезных ископаемых, выявляются зоны геологических осложнений, определяются их тип и параметры, в том числе с использованием автоматизированного интеллектуального анализа данных.

Энергомеханическая служба шахты «заносят» в технологическую карту места замен функциональных элементов оборудования (по прогнозируемым срокам истощения ресурса работоспособности).

Технологическая карта горнотехнической системы утверждается техническим директором шахты и используется руководителем производственного участка, осуществляющим оперативное управление производством, планирование реализации инженерных решений, своевременное выполнение мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

Для осуществления контроля и анализа достоверности, а также качества прогнозирования и эффективности разработанных технологических карт у главного технолога шахты проводятся рабочие совещания.

Следует отметить, что степень интеграции инструментария виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт в практику работы предприятия во многом предопределяется технологическим уровнем производственных процессов его подразделений, а также наукоемкостью и техническим потенциалом направления или отрасли в целом. С внедрением подобных технологий проектно-конструкторская деятельность будет базироваться на основе иной идеологии и должна быть ориентирована на использование иных методов, так как по-настоящему эффективен лишь комплексный подход к внедрению; частичные и локальные решения лишь для одного из ее элементов не могут привести к положительному эффекту на остальных уровнях. Внедрение виртуального пространства представляет собой динамичный процесс. Прекратившая развиваться система довольно быстро становится инструментом, не приносящим никакой пользы. Немалая продолжительность крупных проектов внедрения уже сама по себе предполагает перманентные изменения в процессе развертывания системы, причем как за счет ее расширения, так и на уровне совершенствования отдельных элементов. Кроме того, регулярный выход на рынок новых версий программных продуктов предопределяет необходимость постоянного обновления программного обеспечения, не говоря уже о доработке и адаптации имеющегося программного обеспечения.

Переход на использование единой отраслевой системы

автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов угольных шахт, организация коллективной работы в виртуальном пространстве — отнюдь не самоцель и не дань моде, а насущная необходимость прогрессивной и эффективной организации проектно-конструкторской деятельности горного предприятия в современных условиях ведения бизнеса.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны методические рекомендации по формированию в горно-геологических информационных системах 3D-моделей пластовых месторождений полезных ископаемых на примере поля шахты «Северная» АО «Ургалуголь», которые служат агрегирующим компонентом для информационного моделирования горнотехнических систем горных предприятий, в том числе, в автоматизированном режиме. Модель данного вида позволяет принимать проектные решения на основании как отдельных характеристик особенности залегания угольных пластов, так и их комплекса.

2. Сформированы методические рекомендации по практической реализации виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов в современных программных комплексах.

3. Определен комплекс требований к эталонным горнотехническим моделям, которые должны включать функционал прогнозирования технико-экономических характеристик горнодобывающих предприятий и реализацию данного компонента в автоматизированном режиме с помощью современных вычислительных комплексов.

4. Практическая реализация технологической карты на основе современных информационных и интеллектуальных технологий обработки данных связана с подключением механизмов хранения, обработки знаний, а также механизма обратной связи, который позволит обеспечить эффективность управления горнотехнической системой в соответствии с проектом и его оценку.

5. Сформированы методические рекомендации по внедрению единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов на уровне горнодобывающего предприятия, что требует создания соответствующей системы организации работ, так как только в этом случае может быть обеспечено эффективное использование сложного и высокопроизводительного инструментария виртуального пространства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании выполненных автором исследований осуществлено решение научной проблемы разработки научно-методической базы автоматизированного проектирования освоения георесурсного потенциала угольных шахт, что вносит существенный вклад в развитие научно-технического прогресса в угольной промышленности России.

Основные научные и практические результаты работы, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Осуществлен анализ результатов научных исследований и тенденций совершенствования теории и практики проектирования горных предприятий в направлении внедрения инновационных проектных решений по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений, по результатам которого разработана структура единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов.
2. Разработана теоретическая база моделирования горнотехнических систем с применением методов и средств искусственного интеллекта для объективной оценки георесурсного потенциала угольных месторождений и обеспечения адекватного прогнозирования технико-экономических показателей эффективности функционирования горных предприятий.
3. Доказано, что для повышения качества проектирования необходимо разрабатывать эталонные горнотехнические модели, обеспечивающие в автоматизированном режиме выбор и обоснование прогрессивных технологических и пространственно-планировочных решений в условиях неопределенности и нечеткости геологической и горнотехнической информации.
4. Разработаны методические рекомендации по использованию результатов исследований в практике синтеза горнотехнических моделей и 3D-моделей угольных месторождений при автоматизированном проектировании и управлении горнотехническими системами угольных шахт, в том числе при использовании роботизированного горного оборудования.

5. Обоснована необходимость создания отраслевого банка эталонных горнотехнических моделей при участии ведущих экспертов в области горного дела, что позволит перейти к визуальному интерактивному 3D-моделированию при проектировании инновационных решений по освоению георесурсного потенциала угольных месторождений.
6. Разработаны рекомендации по формированию виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов на базе использования передовых цифровых технологий, что позволит в режиме онлайн предоставить проектным организациям современное методическое обеспечение проектных работ в электронном виде, а также создаст возможность автоматизации проведения государственной экспертизы проектов разработки угольных месторождений и повысит уровень профессионально ориентированного обучения специалистов горного профиля.
7. Разработана структура упорядоченных связей горнотехнических моделей, содержащих прогрессивные технологические решения и обладающих функционалом прогнозирования эффективности производственных процессов в различных условиях функционирования горных предприятий, а также цифровых 3D-моделей угольных месторождений, сформированных в горно-геологических информационных системах, для которых агрегирующим компонентом в виртуальном пространстве выступают технологические карты горнотехнических систем.
8. Осуществлено научное обоснование комплексной оценки качества проектов угольных шахт с учетом необходимости обеспечения технологичности и безопасности отработки запасов угля при корректном использовании системного моделирования и современного арсенала информационных технологий.
9. Дальнейшее развитие темы исследования должно быть ориентировано в направлении создания банка эталонных горнотехнических моделей, который необходимо формировать в соответствии с разработанными в диссертации научно-методическими рекомендациями. Перспективным направлением дальнейшего развития темы исследования является также создание технологических карт горнотехнических систем в формате аппаратно-программных комплексов для автономного управления роботизированными технологическими системами угольных шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамкин, Н.И. Обоснование технологий комплексного освоения бурогоугольных месторождений: дисс. ... д-ра техн. наук: 25.00.22 / Абрамкин Николай Иванович. – М., 2008. – 300 с.
2. Абрамов, Ф.А. Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников / Ф.А. Абрамов, Р.Б. Тянь, В.Я. Потемкин. – М.: Недра, 1978. – 231 с.
3. Абрамова, О.В. Методы и модели оптимизации технологических схем подготовки и отработки выемочных полей пологих пластов Кузбасса: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Абрамова Ольга Витальевна. – М., 1991. – 160 с.
4. Абрамова, Т.В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации / Т.В. Абрамова, Е.В. Ваганова, С.В. Горбачев, В.И. Сырямкин, М.В. Сырямкин. – Томск: ТГУ, 2014. – 510 с.
5. Агафонов, В.В. Разработка научно-методического обеспечения формирования стратегии устойчивого развития горнотехнических систем угольных шахт: дисс. ... д-ра техн. наук: 25.00.21 / Агафонов Валерий Владимирович. – М., 2008. – 330 с.
6. Алотин, Л.М. Моделирование и расчет транспортных систем горных предприятий / Л.М. Алотин, П.Б. Степанов. – Алма-Ата: Наука, Казах. ССР, 1979. – 214 с.
7. Аренс, В.Ж. Муки и радость творчества в науке: учеб. пособие / В.Ж. Аренс. – Чита: Забайкальский гос. ун-т, 2015. – 381 с.
8. Архипов, Г.И. Основы недропользования / Г.И. Архипов. – Хабаровск: Изд-во «РИОТИП» краевой типографии, 2008. – 356 с.
9. Астахов, А.С. Экономика горной промышленности: учеб. для вузов / А.С. Астахов. – М.: Недра, 1982. – 408 с.
10. Атрушкевич, В.А. Разработка интенсивной технологии подземной гидромеханизированной добычи угля из открытых горных выработок: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.02 / Атрушкевич Виктор Аркадьевич. – М., 1997. – 28 с.

11. Бабак, Г.А. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания / Г.А. Бабак, К.П. Бочаров, А.Т. Волохов. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
12. Бахвалов, Л.А. Синтез алгоритмов адаптивного управления проветриванием метанообильных угольных шахт: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.07 / Бахвалов Лев Алексеевич. – М., 1989. – 26 с.
13. Беккер, М. Интеллектуальные системы автоматизации лавы с прямым выходом на шахтную диспетчерскую: новая технология для международной угольной промышленности / М. Беккер, М. Филипп, Ю. Мартин // Майнинг Репорт Глюкауф на Русском языке. – 2015. – Т. 4. – С. 10–15.
14. Бобер, Е.А. Основы горного дела: учеб. для вузов / Е.А. Бобер, П.В. Егоров, Е.А. Косьминов, Н.Н. Красюк, Ю.Н. Кузнецов, С.Е. Решетов. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2000. – 408 с.
15. Бойко, В.В. Проектирование баз данных информационных систем / В.В. Бойко, В.М. Савинков. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 350 с.
16. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
17. Болотин, В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 446 с.
18. Борисов, Д.Ф. На статью А.С. Бурчакова, Б.М. Воробьева, И.В. Бишеле «Надежность шахты как технологической системы» / Д.Ф. Борисов // Уголь. – 1968. – № 12.
19. Боярский, Э.Ф. Цифровое моделирование угольных пластов / Э.Ф. Боярский, В.В. Рогозов. – М.: Недра, 1992. – 127 с.
20. Букринский, В.А. Геометрия недр / В.А. Букринский. – М.: Недра, 1985. – 526 с.
21. Бурчаков, А.С. Рудничная аэрология: учеб. для вузов / А.С. Бурчаков, П.И. Мустель, К.З. Ушаков. – М.: Недра, 1971. – 373 с.
22. Бурчаков, А.С. Выбор технологических схем угольных шахт / А.С. Бурчаков, В.А. Харченко, Л.А. Кафорин. – М.: Недра, 1975. – 272 с.
23. Бурчаков, А.С. Технология подземной разработки пластовых месторождений

полезных ископаемых / А.С. Бурчаков, Н.К. Гринько, А.Б. Ковальчук; под ред. лауреата гос. премии СССР проф. д-ра техн. наук А.С. Бурчакова. – 2-е изд. – М.: Недра, 1978. – 536 с.

24. Бурчаков, А.С. Структура, математическая постановка и реализация прогнозных разработок при проектировании угольных шахт / А.С. Бурчаков, Ю.Н. Кузнецов // Применение ЭВМ и математических методов в горном деле. Труды 17-го Международного симпозиума. – 1982. – Т. 1. – С. 97–102.

25. Бурчаков, А.С. Проектирование шахт: учеб. для вузов / А.С. Бурчаков, А.С. Малкин, М.И. Устинов. – 3-е изд. – М.: Недра, 1985. – 399 с.

26. Бурчаков, А.С. Технология и механизация подземной разработки пластовых месторождений: учеб. по спец. «Подзем. разраб. месторождений полез. ископаемых» / А.С. Бурчаков, Ю.А. Жежелевский, С.А. Ярунин и др. – М.: Недра, 1989. – 430 с.

27. Бурчаков, А.С. Проектирование предприятий с подземным способом добычи полезных ископаемых. Справочник / А.С. Бурчаков, А.С. Малкин, В.М. Еремеев и др. – М.: Недра, 1991. – 399 с.

28. Васильев, А.А. Маркшейдерские работы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие / А.А. Васильев. – М.: Изд-во МГОУ, 2009. – 123 с.

29. Васильев, П.В. Развитие горно-геологических информационных систем / П.В. Васильев // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1999. – № 2(19). – С. 32–33.

30. Васючков, Ю.Ф. Биотехнология горных работ / Ю.Ф. Васючков. – М.: Горная книга, 2011. – 352 с.

31. Вилесов, Г.И. Методика геометризации месторождений / Г.И. Вилесов, А.Н. Ивченко, И.М. Диденко. – М.: Недра, 1973. – 176 с.

32. Виткалов, В.Г. Обоснование параметров очистных работ и механизированной крепи при высоких скоростях подвигания: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Виткалов Виктор Григорьевич. – М., 1982. – 205 с.

33. Воробьев, Б.М. Надежность технологических схем и процессов угольных шахт

- / Б.М. Воробьев, А.С. Бурчаков, Е.В. Шибяев. – М.: Недра, 1975. – 237 с.
34. Воробьев, Б.М. Уголь мира: монография в 3 т / Б.М. Воробьев; под ред. Л.А. Пучкова. – М.: Горная книга, изд-во МГГУ, 2007. – 750 с.
35. Вылегжанин, В.Н. Физические и геомеханические основы оптимизации угольных шахт / В.Н. Вылегжанин; под ред. Г.И. Грицко. – Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1981. – 209 с.
36. Вылегжанин, В.Н. Адаптивное управление подземной технологией добычи угля / В.Н. Вылегжанин, Э.И. Витковский, В.П. Потапов, Г.И. Грицко. – Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1987. – 232 с.
37. Гаврилова, Т.А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т.А. Гаврилова, К.Р. Червинская. – М.: Изд-во М.: Радио и связь, 1992. – 200 с.
38. Гвишиани, Д.М. Прогностика / Д.М. Гвишиани, В.А. Лисичкин; под ред. Г.И. Флиорента. – М.: Знание, 1968. – 95 с.
39. Георгиевский, В.В. Оптимальное планирование развития горных работ на шахтах / В.В. Георгиевский. – М.: Недра, 1979. – 248 с.
40. Гимельштейн, Л.Я. Техническое обслуживание и ремонт подземного оборудования / Л.Я. Гимельштейн. – М.: Недра, 1984. – 221 с.
41. Гинкель, В.К. Повышение уровня прогрессивности проектов выемочных участков шахт на основе ситуационного моделирования отработки запасов угля: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Гинкель Виталий Константинович. – М., 2012. – 119 с.
42. Гойзман, Э.И. Моделирование производственных процессов на шахтах / Э.И. Гойзман. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
43. Голицын, А.М. Геология и геохимия горючих ископаемых: учебник. Ч. 2. Твердые горючие ископаемые / А.М. Голицын, Е.Ю. Макарова, М.В. Голицын, Н.В. Пронина, А.Х. Богомоллов. – М.: КДУ, 2013. – 235 с.
44. Голицын, М.В. Методика поисков и разведки угольных месторождений: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 020300–«Геология» и по специальности 020305–«Геология и геохимия горючих ископаемых» /

- М.В. Голицын, Е.Ю. Макарова, Н.В. Пронина. – М.: КДУ, 2009. – 132 с.
45. Грахов, В.П. Совершенствование организации проектных работ путем внедрения технологий информационного моделирования зданий // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18202> (дата обращения: 26.02.2017).
46. Грошенкова, О.В. Изучение технологической схемы угольной шахты как объекта проектирования: лабораторный практикум / О.В. Грошенкова, С.Е. Решетов, Я.С. Осыка. – М.: МГГУ, 2006. – 107 с.
47. Гудков, В.М. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого / В.М. Гудков, А.А. Васильев, К.П. Николаев. – М.: Недра, 1976. – 191 с.
48. Гудков, В.М. Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений: учеб. по спец. «Маркшейд. дело» / В.М. Гудков, А.В. Хлебников. – М.: Недра, 1990. – 334 с.
49. Джонс, Д.К. Методы проектирования: пер. с англ / Д.К. Джонс. – 2-е изд. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
50. Добров, Г.М. Прогнозирование науки и техники / Г.М. Добров. – М.: Наука, 1969. – 208 с.
51. Дремуха, А.С. Системный анализ и математические методы обработки геолого-маркшейдерской информации: учеб. пособие для слушателей спец. фак. / А.С. Дремуха, В.В. Ершов. – М.: Моск. горн. ин-т, 1989. – 71 с.
52. Дунаев, В.А. Модель и алгоритмы управления параметрами репликации в распределенной базе данных предприятия горнопромышленного комплекса: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Дунаев Валерий Александрович. – Орел, 2014. – 142 с.
53. Евтушенко, А.Е. Основы оптимизации технологических систем производственно-территориальных комплексов в условиях перехода к рыночным отношениям / А.Е. Евтушенко. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 1995. – 420 с.
54. Еремеев, В.М. Автоматизированное проектирование угольных шахт / В.М. Еремеев, Е.Я. Диколенко; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Липецк: Липецкое издательство, 1997. – 192 с.

55. Еремин, Н.А. Моделирование месторождений углеводородов методами нечеткой логики / Н.А. Еремин. – М.: Наука, 1994. – 462 с.
56. Ершов, В.В. Горно-геологические факторы освоения месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие / В.В. Ершов. – М.: Моск. горн. ин-т, 1980. – 67 с.
57. Ершов, В.В. Основы горнопромышленной геологии: учеб. для горн. спец. вузов / В.В. Ершов. – М.: Недра, 1988. – 326 с.
58. Ершов, В.В. Геолого-маркшейдерское управление качеством и запасами минерального сырья: учеб. пособие для слушателей спец. фак / В.В. Ершов, В.А. Ермолов. – М.: Моск. горн. ин-т, 1989. – 80 с.
59. Ершов, В.В. Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ: производственно-практическое издание / В.В. Ершов, А.С. Дремуха, В.М. Трость. – М.: Недра, 1990. – 347 с.
60. Ершов, В.В. Основы геологии: учеб. для вузов по направлению «Геология» и горн. спец / В.В. Ершов, Г.Б. Попова, А.А. Новиков. – 2-е изд. – М.: Недра, 1994. – 355 с.
61. Жданов, А.А. Автономный искусственный интеллект / А.А. Жданов. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 359 с.
62. Железнова, Н.Г. Запасы углей стран мира / Н.Г. Железнова, Ю.Я. Кузнецов, А.К. Матвеев, В.Ф. Череповский. – М.: Недра, 1983. – 167 с.
63. Заволокин, Д.В. Обоснование рациональных проектных решений по отработке запасов геоструктур угольных месторождений: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Заволокин Дмитрий Викторович. – М., 2009. – 116 с.
64. Звягин, П.З. Проектирование и расчеты элементов разработки пластовых месторождений: утв. ГУУЗом НКТП в качестве учебника для горных втузов / П.З. Звягин; под ред. Н.В. Грачева. – Ленинград; Москва: Онти. Глав. ред. горно-топливной лит-ры, 1935. – 444 с.
65. Зыков, В.М. Оценка и прогнозирование экологических последствий горного производства: учеб. пособие / В.М. Зыков, А.В. Таскаев. – М.: МГИ, 1988. – 55 с.
66. Казанин, О.И. О проектировании технологических схем подготовки и отработки выемочных участков угольных пластов / О.И. Казанин, В.В. Козулин,

- М.В. Барабаш, Е.П. Ютяев // Уголь. – 2010. – № 6. – С. 24–28.
67. Калинин, В.М. Математическое моделирование и прогноз показателей месторождений / В.М. Калинин. – М.: Недра, 1993. – 319 с.
68. Капралов, Е.Г. Основы геоинформатики: в 2 кн.: учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.Б. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Академия, 2004. – кн.1 – 352 с.; кн. 2 – 480 с.
69. Капустин, Н.Г. Основы проектирования угольных шахт: учеб. пособие для вузов / Н.Г. Капустин, С.С.-Г. Квон. – М.: Недра, 1964. – 267 с.
70. Капутин, Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – СПб: Недра, 2002. – 424 с.
71. Капутин, Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров) / Ю.Е. Капутин. – СПб: Недра, 2004. – 424 с.
72. Капутин, Ю.Е. Моделирование месторождений и оценка минеральных ресурсов (с использованием СТУДИИ 3): учеб. курс / Ю.Е. Капутин. – СПб: Горный Институт, 2007. – 188 с.
73. Кафорин, Л.А. Исследования и выбор рациональных схем и способов вскрытия и подготовки пологих пластов средней мощности: дисс. ... канд. техн. наук: 11.00.11 / Кафорин Леонард Алексеевич. – М., 1971.
74. Килячков, А.П. Технология горного производства / А.П. Килячков. – 2-е изд. – М.: Недра, 1979. – 304 с.
75. Кириченко, Ю.В. Основы проектирования бестраншейных переходов / Ю.В. Кириченко, Д.А. Стадник, А.С. Каширский // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). – 2013. – № 12. – С. 31–35.
76. Клебанов, Ф.С. Аэродинамическое управление газовым режимом в шахтных вентиляционных сетях / Ф.С. Клебанов. – М.: Наука, 1974. – 136 с.
77. Клебанов, Ф.С. Воздух в шахте: Трактат о проветривании угольных шахт / Ф.С. Клебанов. – М.: Изд. дом «Имидж», 1995. – 574 с.
78. Клейнберг, Д. Алгоритмы: разработка и применение / Д. Клейнберг, Е. Тардос. – СПб: Питер, 2016. – 800 с.

79. Клюкин, Б.Д. Горные отношения в странах Западной Европы и Америки: (Англия, Канада, США, Франция, ФРГ) / Б.Д. Клюкин. – М.: Городец, 2000. – 442 с.
80. Козловский, Е.А. Минерально-сырьевые проблемы России накануне XXI века: состояние и прогноз / Е.А. Козловский. – М.: Рус. биограф. ин-т при участии Изд-ва Моск. гос. горного ун-та, 1999. – 405 с.
81. Козовой, Г.И. Гибкие технологические системы высокопроизводительных угольных шахт / Г.И. Козовой, Ю.Н. Кузнецов, А.М. Рыжов; под ред. Л.А. Пучкова. – М.: ООО «Международная академия связи», 2003. – 501 с.
82. Козовой, Г.И. Организационно-технологическое обеспечение инновационной деятельности угледобывающего предприятия / Г.И. Козовой. – М.: Изд-во ОО «Междунар. акад. связи», 2004. – 262 с.
83. Козовой, Г.И. Интенсивные технологии монтажа-демонтажа высокопроизводительных комплексов очистного оборудования / Г.И. Козовой, А.М. Рыжов, И.И. Волков; под ред. Ю.Н.Кузнецова. – М.: Изд-во ОО «Междунар. акад. связи», 2005. – 164 с.
84. Кохонен, Т. Самоорганизующиеся карты [Электронный ресурс]. Пер. 3-го англ. изд / Т. Кохонен. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 655 с.
85. Красников, Ю.Д. Научно-технический прогресс при подземной добыче угля. Критерии, направления, реализация / Ю.Д. Красников, А.А. Топорков. – М.: Изд-во Всесоюз. заоч. политех. ин-та, 1991. – 139 с.
86. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.
87. Кубрин, С.С. Теория анализа и синтеза информационно- аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей и месторождений: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 / Кубрин Сергей Сергеевич. – М., 2002. – 297 с.
88. Кузнецов, К.К. Эффективность освоения проектных показателей угольных шахт / К.К. Кузнецов, В.М. Еремеев. – М.: Недра, 1985. – 247 с.
89. Кузнецов, Ю.Н. Разработка и реализация прогнозов качественных и

количественных характеристик прогрессивной технологии подземной добычи угля: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук в форме науч. докл.: 05.15.02 / Кузнецов Юрий Николаевич. – М., 1987. – 36 с.

90. Кузнецов, Ю.Н. Технологическое картографирование отработки запасов выемочных участков: учеб. пособие для студ. вузов / Ю.Н. Кузнецов, В.В. Некрасов, В.И. Постников. – М.: МГГУ, 1993. – 61 с.

91. Кузнецов, Ю.Н. Структура системы технологического картографирования отработки запасов выемочных участков угольных шахт / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 233–238.

92. Кузнецов, Ю.Н. Концепция проектирования и управления отработкой запасов выемочных участков на базе информационных технологий / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – С. 279–285.

93. Кузнецов, Ю.Н. Повышение качества 3D моделирования угольных месторождений на основе использования теории сплайнов / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник // Горная промышленность. – 2010. – № 6(94). – С. 60–61.

94. Кузнецов, Ю.Н. Методические принципы прогнозирования развития горных работ на угольных шахтах на базе нечеткого моделирования / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, А.С. Оганесян // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 1). – 2011. – № 12. – С. 3–12.

95. Кузнецов, Ю.Н. К вопросу совершенствования методологии проектирования высокопроизводительной отработки запасов выемочных участков угольных шахт / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, В.К. Гинкель // Горная промышленность. – 2012. – № 3(103). – С. 70–75.

96. Кузнецов, Ю.Н. Разработка методической базы реализации ситуационного моделирования отработки запасов выемочных участков угольных шахт / Ю.Н. Кузнецов, В.И. Постников, Д.А. Стадник, В.К. Гинкель, Н.М. Стадник //

Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 2). – 2012. – № 11. – С. 3–23.

97. Кузнецов, Ю.Н. Проектирование отработки запасов выемочных участков на базе технологического картографирования: учеб. пособие для студ. вузов / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, А.В. Федаш. – М.: Горная книга, 2012. – 181 с.

98. Кузнецов, Ю.Н. Методические принципы кластеризации запасов угольных пластов, проектируемых к отработке / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 2). – 2012. – № 11. – С. 24–30.

99. Кузнецов, Ю.Н. Прогнозирование горно-геологических условий проектируемых шахт на базе цифровых трехмерных моделей угольных месторождений / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник, Н.М. Какорина // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). – 2013. – № 12. – С. 3–9.

100. Кузнецов, Ю.Н. Методические принципы интеллектуального анализа горно-геологических данных на основе кластеризации при проектировании шахт / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник, А.С. Каширский // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). – 2013. – № 12. – С. 10–20.

101. Кузнецов, Ю.Н. Научно-методические основы синтеза адаптивных технологических систем высокопроизводительных угольных шахт / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). – 2013. – № 12. – С. 21–30.

102. Кузнецов, Ю.Н. Методические принципы автоматизированного проектирования раскройки рабочих ступеней шахтных полей / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник // Библиотека горного инженера. Пути повышения эффективного и

безопасного освоения пластовых месторождений полезных ископаемых подземным способом: сб. науч. трудов (вып. 2). Сиб. угол. энергет. компания (СУЭК); под ред. В.Б. Артемьева и др. – М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2014. – С. 155–158.

103. Кузнецов, Ю.Н. Основные этапы и направления развития информационного обеспечения САПР отработки запасов угольных месторождений / Ю.Н. Кузнецов, А.Е. Петров, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник // Уголь. – 2014. – № 12(1065). – С. 82–85.

104. Кузнецов, Ю.Н. Основные принципы разработки и практической реализации алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров угольных месторождений / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник, Н.М. Какорина, В.Н. Чижов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 12. – С. 108–114.

105. Кузнецов, Ю.Н. Автоматизированное распознавание геоструктур пластовых месторождений / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник, Б.В. Курцев // Горный журнал. – 2016. – № 2. – С. 86–91.

106. Кузнецов, Ю.Н. Теоретические основы формирования и реализации адресно-ориентированной информационной базы для автоматизированного проектирования технологической системы шахты / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник, Ю.В. Волкова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 1. – С. 77–87.

107. Кузнецов, Ю.Н. Повышение качества прогнозной геологической информации при автоматизированном проектировании отработки запасов пластовых месторождений / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник, Н.М. Какорина, С.С. Волков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 3. – С. 164–171.

108. Кузнецов, Ю.Н. Научные основы формирования геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений: монография / Ю.Н. Кузнецов, Б.В. Курцев, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник. – М.: Издательство «Горная книга», 2017. – 126 с.

109. Кузнецов, Ю.Н. Основные научно-методические принципы формирования дерева решений в рамках системы автоматизированного проектирования угольных шахт / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.Н. Монастырев // Горная промышленность. – 2017. – № 6 (136). – С. 84–85.
110. Куприянов, В.В. Интеллектуализация технологий автоматизированных систем / В.В. Куприянов, О.Е. Фомичева. – М.: МГГУ, 1994. – 101 с.
111. Куприянов, В.В. Оценка остаточного ресурса горно-шахтного оборудования – одна из важнейших задач при управлении выемочным участком угольной шахты / В.В. Куприянов, Д.А. Стадник, Б.И. Компаниец // Горный информационно-аналитический бюллетень. Информатизация и управление-1. Сб. статей (отд. вып.). – 2008. – № ОВ10. – С. 329–336.
112. Курносов, А.М. Методы оптимального проектирования угольных шахт / А.М. Курносов, М.И. Устинов, И.П. Набродов и др.; под ред. А.М. Курносова. – М.: Недра, 1974. – 368 с.
113. Кюрджиева, Т.Ф. Обоснование параметров эффективной отработки запасов выемочных участков при составлении технологических карт: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Кюрджиева Татьяна Федоровна. – М., 1986. – 205 с.
114. Ларин, Е.Ю. Информационная технология безопасного управления угледобывающим комплексом на основе модели нейросетевого прогнозирования / Е.Ю. Ларин, Е.Е. Федоров, Е.Ю. Ларина и др. // Уголь Украины. – 2015. – № 3–4. – С. 63–71.
115. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
116. Лидин, Г.Д. Горное дело: терминологический словарь / Г.Д. Лидин, Л.Д. Воронина, Д.Р. Каплунов и др. – 4-е изд. – М.: Недра, 1990. – 694 с.
117. Ликальтер, Л.А. Выбор параметров шахт для месторождений с изменчивыми горногеологическими условиями / Л.А. Ликальтер, М.М. Смиренский, В.П. Федоров, Н.Б. Рожкова. – М.: ЦНИЭИУголь, 1981. – 49 с.
118. Макаров, В.Н. Процессы подземных горных работ: учеб. пособие для студ. вузов / В.Н. Макаров, Г.И. Трофимов. – Ростов н/Д: Пегас, 1996. – 432 с.

119. Малкин, А.С. Разработка методов поэтапного проектирования, оптимизации параметров и интегральной оценки проектов угольных шахт: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 25.00.21 / Малкин Анатолий Степанович. – М., 1972. – 38 с.
120. Малкин, А.С. Моделирование технологических схем шахт: сб. инженерные проблемы разработки недр / А.С. Малкин, А.Г. Саламатин. – М.: Нива России, 1996.
121. Малкин, А.С. Оценка шахтного фонда и повышение полноты использования ресурсов / А.С. Малкин, А.Г. Саламатин. – М.: МГГУ, 1996. – 95 с.
122. Малкин, А.С. Проектирование шахт: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Технол. и техника разведки полез. ископаемых», «Подзем. разраб. месторождений полез. ископаемых» / А.С. Малкин, Л.А. Пучков, А.Г. Саламатин, В.М. Еремеев; под ред. Л.А. Пучкова. – 4-е изд. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 374 с.
123. Малышев, Ю.Н. Разработка интенсивных технологий и процессов добычи угля на шахтах с пологими средней мощности и мощными пластами: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук в форме науч. докл.: 05.15.02 / Малышев Юрий Николаевич. – М., 1987. – 35 с.
124. Медведев, В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин; под ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
125. Мельник, В.В. Организационно-технологическое и научно-методическое обеспечение проектирования угледобывающих предприятий / В.В. Мельник, В.В. Агафонов, С.С. Гребенкин и др. – Донецк: «ВИК», 2015. – 380 с.
126. Мельников, Н.В. Развитие горной науки в области открытой разработки месторождений в СССР / Н.В. Мельников. – 2-е изд. – М.: Углетехиздат, 1961. – 182 с.
127. Местер, И.М. Расчет вентиляции шахт на персональных компьютерах методом самонастраиваемых обратных операторов / И.М. Местер // Изв. вузов. Горный журнал. – 1989. – № 3. – С. 56–62.
128. Миронов, К.В. Геологические основы разведки угольных месторождений / К.В. Миронов. – М.: Недра, 1973. – 316 с.

129. Миронов, К.В. Разведка и геолого-промышленная оценка угольных месторождений / К.В. Миронов. – М.: Недра, 1977. – 253 с.
130. Миронов, К.В. Справочник геолога-угольщика / К.В. Миронов. – 2-е изд. – М.: Недра, 1991. – 363 с.
131. Михеев, О.В. Методы инженерного проектирования: учеб. пособие / О.В. Михеев, Ю.А. Жежелевский. – М.: МГИ, 1985. – 68 с.
132. Мухитдинов, Н.Б. Горное право Республики Казахстан. Избранные труды: в 9-ти т / Н.Б. Мухитдинов. – 2-е изд. – Алматы: , 2011. – 300 с.
133. Нейлор, К. Как построить свою экспертную систему / К. Нейлор. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 288 с.
134. Никитов, В.А. Информационное обеспечение государственного управления / В.А. Никитов, Е.И. Орлов, А.В. Старовойтов, Г.И. Савин; под ред. Ю.В. Гуляева. – М.: Славянский диалог, 2000. – 415 с.
135. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации (пер. с польского И.Д.Рудинского) / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
136. Перчик, А.И. Горное право: учеб. для вузов / А.И. Перчик. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «ФИЛОЛОГИЯ ТРИ», 2002. – 525 с.
137. Петровская, А.С. Краткий обзор современного состояния программного обеспечения для горных предприятий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ad.cctpu.edu.ru/Personal/Alex/Zhtml/OBZOR/POgor.htm> (дата обращения: 27.03.2016).
138. Плаkitкина, Л.С. Современные направления инновационного развития в угольной отрасли России / Л.С. Плаkitкина. – М.: ИНЭИ РАН, 2015. – 225 с.
139. Подколзин, А.С. Компьютерное моделирование логических процессов / А.С. Подколзин. – М.: Физматлит, 2008. – 1022 с.
140. Попов, В.Н. Геодезия: учеб. для вузов / В.Н. Попов, С.И. Чекалин. – М.: Горная книга, 2007. – 728 с.
141. Попов, В.Н. Комментарии и инструкции по производству маркшейдерских работ / В.Н. Попов, В.Н. Сученко, С.В. Бойко. – М.: Горная книга, 2011. – 271 с.
142. Попов, Э.В. Статические и динамические экспертные системы: учеб. пособие

- для студ. вузов / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.В. Кисель, М.Д. Шапот. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 211 с.
143. Поспелов, Г.С. Искусственный интеллект - основа новой информационной технологии / Г.С. Поспелов. – М.: Наука, 1988. – 278 с.
144. Приемышев, А.В. Компьютерная графика в САПР / А.В. Приемышев, В.Н. Крутов, В.А. Треяль, О.А. Коршакова. – СПб: Изд-во: «Лань», 2017. – 196 с.
145. Присяжнюк, С.П. Межведомственная геоинформационная система / С.П. Присяжнюк // Совзонд. – 2013. – С. 55–59.
146. Пучков, Л.А. Методы и алгоритмы автоматического управления проветриванием угольных шахт / Л.А. Пучков, Л.А. Бахвалов. – М.: Недра, 1992. – 398 с.
147. Пучков, Л.А. Синергетика горнотехнологических процессов / Л.А. Пучков, В.Д. Аюров. – М.: МГГУ, 1997. – 263 с.
148. Пучков, Л.А. Системный анализ технологий подземной добычи угля / Л.А. Пучков, О.В. Михеев, В.В. Сенкус, В.А. Атрушкевич. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 148 с.
149. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – М.: Изд. дом Вильямс, 2006. – 1408 с.
150. Резниченко, С.С. Математическое моделирование в горной промышленности: учеб. пособие для студентов горн. специальностей вузов / С.С. Резниченко. – М.: Недра, 1981. – 216 с.
151. Ржевский, В.В. Проблемы горной промышленности и комплекса горных наук / В.В. Ржевский. – М.: Изд-во Моск. горн. ин-та, 1991. – 241 с.
152. Роганов, В.Р. Проектирование систем виртуальной реальности с позиции системного подхода // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16299> (дата обращения: 26.10.2017).
153. Рогов, Е.И. Системный анализ в горном деле / Е.И. Рогов. – Алма-Ата: Наука, Казах. ССР, 1976. – 207 с.
154. Рогов, Е.И. Математические модели адаптации процессов и подсистем

- угольной шахты / Е.И. Рогов, Г.И. Грицко, В.Н. Вылегжанин. – Алма-Ата: Наука, Казах. ССР, 1979. – 240 с.
155. Романов, В.К. К выбору надежности величины технико-экономических показателей, определяемых на стадии проектирования. Сб. науч. тр. Вып.6 / В.К. Романов. – М.: МГИ, 1974.
156. Русаков, Н.Г. Повышение точности инженерных расчетов при проектировании угольных предприятий / Н.Г. Русаков. – М.: ЦНИЭИУголь, 1976.
157. Рыжков, В.А. Совершенствование самоорганизующихся нейронных сетей Кохонена для систем поддержки принятия решений: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Рыжков Владимир Александрович. – М., 2010. – 151 с.
158. Рыжов, П.А. Геометрия недр / П.А. Рыжов. – М.: Углетехиздат, 1952. – 604 с.
159. Рыжов, П.А. Горная геометрия / П.А. Рыжов, В.А. Букринский. – М.: Углетехиздат, 1958. – 324 с.
160. Сагинов, А.С. Методы анализа и оптимизации технологических схем угольных шахт / А.С. Сагинов, С.С.-Г. Квон, К.Н. Адилов. – М.: Недра, 1974. – 295 с.
161. Саламатин, А.Г. Подземная разработка мощных пологих угольных пластов / А.Г. Саламатин. – М.: Недра, 1997. – 407 с.
162. Салиева, Р.Н. Государственное управление в сфере недропользования в Российской Федерации / Р.Н. Салиева // Georesources. – 2014. – № 1 (56). – С. 43–48.
163. Салли, В.И. Поддержание мощности угольных шахт при ограниченных объемах нового строительства / В.И. Салли, В.И. Малов, В.И. Бычков. – М.: Недра, 1994. – 272 с.
164. Самойлов, А.В. Моделирование строения угольных месторождений с целью обоснования технологии их разработки / А.В. Самойлов // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 1. – С. 63–64.
165. Святный, В.А. Моделирование аэрогазодинамических процессов и разработка систем управления проветриванием угольных шахт: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.07 / Святный Владимир Андреевич. – Донецк, 1985. – 408 с.

166. Сидоров, А.Н. Решение дифференциальных уравнений в частных производных методами сплайн-аппроксимации / А.Н. Сидоров, А.Г. Плавник // Труды Международной конференции по вычислительной математике МКВМ-2004. – 2004. – Т. 2. – С. 648–652.
167. Ситникова, О.Д. Разработка и исследование некоторых методов решения задач целочисленного линейного программирования общего и специального видов: дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 01.01.09 / Ситникова Ольга Дмитриевна. – Донецк, 1984. – 127 с.
168. Слепых, В.Ф. Конструирование вентиляционных сетей / В.Ф. Слепых. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 204 с.
169. Смирнов, Б.В. Теоретические основы и методы прогнозирования горно-геологических условий добычи полезных ископаемых по геологоразведочным данным / Б.В. Смирнов. – М.: Недра, 1976. – 115 с.
170. Смирнов, В.С. Эффективность работы комплексов нового технического уровня в сложных горно-геологических условиях шахты «Распадская» / В.С. Смирнов, Ю.Ю. Самолетов, Г.П. Мирошников // Горные машины и автоматика. – 2005. – № 2. – С. 43–46.
171. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 5-е изд. – М.: Высш. шк., 2007. – 343 с.
172. Соколов, Б.С. Очерки становления венда / Б.С. Соколов. – М.: KMK Sci. Press Ltd., 1997. – 156 с.
173. Соколов, Б.С. Очерки о науке и ученых. Научная публицистика / Б.С. Соколов. – М.: Наука; Новосибирск: Гео, 2006. – 312 с.
174. Солод, В.И. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: учеб. для вузов / В.И. Солод, В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек. – М.: Недра, 1982. – 350 с.
175. Стадник, Д.А. Прогнозирование и управление электропотреблением угольных шахт / Д.А. Стадник // Сб. науч. трудов студентов магистратуры МГГУ (вып. 4). – 2004. – С. 221–225.
176. Стадник, Д.А. Компьютерное моделирование оптимального

воздухораспределения на угольных шахтах с использованием нейросетевых технологий: дисс. ... маг. техники и технологии: 55.28.18 / Стадник Денис Анатольевич. – М., 2004. – 132 с.

177. Стадник, Д.А. Подземное электроснабжение и электрооборудование / Д.А. Стадник // Шундулиди И.А., Федаш А.В. Проектирование отработки запасов по камерно-столбовой системе с применением оборудования фирмы «JOY»: учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2005. – С. 177–178.

178. Стадник, Д.А. Экономическая оценка эффективности инвестиций / Д.А. Стадник // Шундулиди И.А., Федаш А.В. Проектирование отработки запасов по камерно-столбовой системе с применением оборудования фирмы «JOY»: учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2005. – С. 186–222.

179. Стадник, Д.А. Повышение результативности технологического картографирования отработки запасов выемочных участков в условиях неопределенности информации. Деп. в изд-ве МГГУ 24.05.2007, N 591/08-07 / Д.А. Стадник. – М.: Горный информационно-аналитический бюллетень. № 8, 2007. – 15 с.

180. Стадник, Д.А. Разработка методики технологического картографирования высокопроизводительной отработки запасов выемочного участка угольной шахты: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Стадник Денис Анатольевич. – М., 2008. – 212 с.

181. Стадник, Д.А. САПР WEB-портала в управлении бизнес-процессами организации, предоставляющей ИТ-услуги / Д.А. Стадник, Н.М. Какорина // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rypravlenie.ru/?p=674>. – 2010. – № 2(7). – Т. 6. – С. 41–47.

182. Стадник, Д.А. К вопросу учета системы ограничений в рамках принятия проектных решений по отработке запасов в зонах геологических нарушений угольных пластов / Д.А. Стадник, А.М. Киселев // Горная промышленность. – 2012. – № 5(105). – С. 68–69.

183. Стадник, Д.А. Основные принципы повышения качества проектов

выемочных участков угольных шахт с использованием ситуационного моделирования рабочих процессов / Д.А. Стадник, В.К. Гинкель // Горная промышленность. – 2012. – № 5(105). – С. 87–89.

184. Стадник, Д.А. Программный комплекс «Единая информационная система высшего учебного заведения» (ПК «ЕИС ВУЗ») / Д.А. Стадник, В.К. Гинкель, Е.В. Евсеев, Б.И. Компаниец, В.В. Волков, Р.С. Егоров, В.Н. Чижов, Н.М. Стадник. – Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014611347, 2014.

185. Стадник, Д.А. Разработка структуры единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт / Д.А. Стадник // Горная промышленность. – 2017. – № 4 (134). – С. 65–66.

186. Стадник, Д.А. Основные методические принципы синтеза прогнозных моделей горнотехнических систем при реализации единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт. Открытые горные работы в XXI веке-2. Отдельные статьи (вып. 38) / Д.А. Стадник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 12. – С. 222–228.

187. Стадник, Д.А. Обоснование функциональных подсистем единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт / Д.А. Стадник // Уголь. – 2017. – № 10(1099). – С. 52–56.

188. Стадник, Н.М. Разработка научно-методического обеспечения геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.35 / Стадник Нино Мамукаевна. – М., 2016. – 150 с.

189. Стадник, Н.М. Основные методические принципы формирования интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений / Н.М. Стадник // Горная промышленность. – 2016. – № 3(127). – С. 73–76.

190. Станченко, И.К. Проектирование угольных шахт / И.К. Станченко, Е.В. Петренко, Ю.И. Свирский и др. – М.: Недра, 1976. – 400 с.

191. Стариков, А.В. Научные основы оптимизации развития горных работ на

угольных шахтах / А.В. Стариков. – М.: ИПКОН АН СССР, 1978.

192. Стариков, А.В. Планирование концентрации и развития горных работ на угольных шахтах / А.В. Стариков. – М.: ИПКОН АН СССР, 1982. – 123 с.

193. Степанов, П.Б. Основы функционально-структурного анализа и синтеза системы выемочных и транспортных машин: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.05.06 / Степанов Павел Борисович. – Караганда, 1982. – 483 с.

194. Страшун, Ю.П. Современное состояние разработок систем автоматизации и управления / Ю.П. Страшун // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 350–356.

195. Темкин, И.О. Разработка статистических моделей и алгоритмов системы автоматического управления проветриванием угольной шахты: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Темкин Игорь Олегович. – М., 1986. – 164 с.

196. Темкин, И.О. Разработка теории и методов построения интеллектуальных нейросетевых систем управления аэрогазодинамическими процессами в шахтах: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Темкин Игорь Олегович. – М., 1996. – 260 с.

197. Тихонова, Л.В. Разработка технологических карт отработки запасов выемочных участков угольных шахт: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Тихонова Людмила Вячеславовна. – М., 1986. – 212 с.

198. Трофимов, А.А. Основы горной геометрии / А.А. Трофимов. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 224 с.

199. Тучков, Е.Н. Оценка качества проектов и технического уровня шахт / Е.Н. Тучков, Р.Т. Колесникова, М.И. Устинов, А.С. Малкин, Е.В. Петренко. – М.: Недра, 1977. – 138 с.

200. Уотермен, Д. Руководство по экспертным системам: пер. с англ. / Д. Уотермен; под ред. В.Л. Стефанюк. – М.: Изд-во «Мир», 1989. – 388 с.

201. Устинов, М.И. Проблемы вскрытия и подготовки запасов шахтных полей угольных месторождений / М.И. Устинов; под ред. Ю.Л. Худина, вступ. ст. Федорова В. П. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та культуры, 1996. – 327 с.

202. Ушаков, В.К. Математическое моделирование надежности и эффективности шахтных вентиляционных систем: учеб. пособие для вузов / В.К. Ушаков. – М.:

Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 1999. – 182 с.

203. Ушаков, И.Н. Горная геометрия: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности Маркшейдерское дело / И.Н. Ушаков. – 4-е изд. – М.: Недра, 1979. – 440 с.

204. Федоров, В.П. Исследование надежности основных параметров шахт в целях ее учета при поэтапном проектировании: дисс. ... канд.техн.наук: 05.15.02 / Федоров Владимир Петрович. – М., 1973.

205. Федунец, Н.И. Новый подход к решению задачи оптимального управления воздухораспределением угольной шахты на базе нейронных сетей / Н.И. Федунец, Д.А. Стадник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 11. – С. 137–140.

206. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления (в 3 томах) / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Физматлит, 2001. – 616 + 610 + 662 с.

207. Францкий, И.В. Математическая статистика и геометризация месторождений / И.В. Францкий, Г.А. Базанов. – Иркутск: Восточно-Сибирская правда, 1975. – 250 с.

208. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд. – М.: Изд. дом Вильямс, 2008. – 1103 с.

209. Харченко, В.А. Научные основы создания и выбора высокопроизводительных схем угольных шахт для условий пологих пластов средней мощности: дисс. ... д-ра техн. наук: 25.00.01 / Харченко Виктор Алексеевич. – М., 1972.

210. Худин, Ю.Л. Некоторые результаты применения на шахтах России технологических схем высокопроизводительной отработки угольных пластов / Ю.Л. Худин, Е.Ф. Козловчунас, В.Д. Носенко, А.Н. Яковлев // Уголь. – 2004. – № 10. – С. 9–15.

211. Цветков, Н.С. Методы и модели управления валютными рисками на базе кластерных и нейросетевых технологий: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Цветков Николай Сергеевич. – М., 2003. – 230 с.

212. Цой, С. Основы теории вентиляционных сетей / С. Цой, Е.И. Рогов. – Алма-

Ата: Наука, 1965. – 283 с.

213. Цой, С. Принцип минимума и оптимальная политика управления вентиляционными и гидравлическими сетями / С. Цой, Г.К. Рязанцев. – Алма-Ата: Наука, 1968. – 258 с.

214. Цой, С. Синтез оптимальных систем горных выработок / С. Цой, Г.П. Данилина. – Алма-Ата: Наука, 1969. – 212 с.

215. Частиков, А. П.; Гаврилова, Т. А.; Белов, Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS / Д.Л. Частиков, А. П.; Гаврилова, Т. А.; Белов. – СПб: Изд-во БХВ-Петербург, 2003. – 389 с.

216. Черемисина, Е.Н. Информатика: учеб. пособие / Е.Н. Черемисина, Т.Б. Прогулова. – М.: Тип. ВНИИгеосистем, 2006. – 175 с.

217. Четвериков, Л.И. Теретические основы разведки недр / Л.И. Четвериков. – М.: Недра, 1984. – 160 с.

218. Шаклеин, С.В. Разработка количественных методов оценки запасов угля на основе геометризации для АСУ шахт и разрезов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.01 / Шаклеин Сергей Васильевич. – Кемерово, 1983. – 170 с.

219. Шаклеин, С.В. Разработка геоинформационных моделей достоверности запасов угольных месторождений: дисс. ... д-ра техн. наук: 25.00.35 / Шаклеин Сергей Васильевич. – Кемерово, 2002. – 326 с.

220. Шевяков, Л.Д. Основы теории проектирования угольных шахт / Л.Д. Шевяков. – М.: Углетехиздат, 1950. – 324 с.

221. Шек, В.М. Открытые программные системы с применением геоинформационных технологий в горной промышленности / В.М. Шек, Е.А. Конкин // Программные продукты и системы. Международный журнал. – 2007. – Т. №1. – С. 18–21.

222. Штеле, В.И. Имитационное моделирование развития подземных горных работ / В.И. Штеле; под ред. Ю.К. Пинигина. – Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1984. – 186 с.

223. Шундулиди, И.А. Технология и механизация эффективной разработки мощных пологих и наклонных угольных пластов / И.А. Шундулиди,

- Г.И. Козовой. – М.: Изд-во «Испин», 2001. – 204 с.
224. Методика анализа технико-экономических показателей угольных шахт. – М.: ЦНИЭИУголь, 1973.
225. Каталог экономико-математических моделей проектирования угольных шахт. – М.: Центргипрошахт, 1974.
226. Методика разработки нормативов расхода запасных частей к горношахтному оборудованию. – М.: Гипроуглемаш, 1974. – 149 с.
227. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: утв. министерством угольной промышленности СССР 10.04.1974; под ред. А.С. Бурчакова. – М.: Недра, 1975. – 238 с.
228. Алгоритмы оптимизации проектных решений; под ред. А.И. Половинкина. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.
229. Методы поиска новых технических решений. Под ред. доктора техн. наук, проф. А.И. Половинкина. – Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. – 191 с.
230. Методические указания по прогнозированию горно-геологических условий на участках высокопроизводительных лав. – Гуково: Гуковуголь, 1977.
231. Методическое руководство по совершенствованию производства на шахтах отрасли на основе разработки и внедрения технологических картограмм и карт организации труда. – М.: ЦНИЭИУголь, 1977. – 28 с.
232. Методика анализа технико-экономических показателей производственного объединения по добыче угля (открытым способом). М-во угольной пром-сти СССР, Упр. вычисл. техники и орг. структур, План.-экон. упр., ЦНИИ экономики и НТИ угольной пром-сти. – М.: ЦНИЭИУголь, 1979. – 93 с.
233. Методические указания по прогнозированию горно-геологических условий на выемочных участках шахт объединения «Кузбассуголь». – Кемерово: Кузбассуголь, 1980.
234. Временные нормативы для технического обслуживания и ремонта основного подземного оборудования угольных шахт Минуглепрома СССР. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1980. – 31 с.

235. Методика комплексного сравнительного анализа работы угольных шахт. – М.: ЦНИЭИУголь, 1982.
236. Нормативы нагрузки на очистные забои действующих угольных шахт при различных горно-геологических условиях и средствах механизации выемки: утв. министерством угольной промышленности СССР 31.03.1982. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1982. – 71 с.
237. Горная энциклопедия. Том 1. Аа-лава - Геосистема; под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 560 с.
238. Горная энциклопедия. Том 2. Геосферы - Кенай; под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – 575 с.
239. Горная энциклопедия. Том 3. Кенган - Орт; под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1987. – 592 с.
240. Горная энциклопедия. Том 4. Ортин - Социосфера; под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 623 с.
241. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы. Справочник; под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
242. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы. Справочник; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
243. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 3. Программные и аппаратные средства. Справочник; под ред. В.Н. Захарова, В.Ф. Хорошевского. – М.: Радио и связь, 1990. – 363 с.
244. Горная энциклопедия. Том 5. СССР – Яшма; под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – 541 с.
245. Интеллектуальные информационные системы; под ред. В.В. Деева и др. – М.: Воениздат, 1991.
246. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; под ред. К.Н. Трубецкого. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.
247. Эталоны ТЭО строительства предприятий по добыче и обогащению угля. В 2 т. / Под научным руководством Г.Л. Краснянского, В.М. Еремеева. Т. II. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1998. – 271 с.

248. Типовые схемы вскрытия, подготовки и отработки угольных пластов для шахт Российской Федерации - альбом / редкол.: А.Д. Рубан и др. (Библиотека горного инженера. Подземные горные работы; Т. 3; Кн. 4). – М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2011. – 230 с.
249. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» - альбом / редкол.: О.И. Казанин и др. (Библиотека горного инженера. Т.3. «Подземные горные работы», кн. 12). – 2-е изд. – М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2014. – 256 с.
250. Сайт Минэнерго РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 23.02.2017).
251. Интернет журнал по угольной промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.worldcoal.org> (дата обращения: 25.03.2016).
252. Официальный каталог стандартов и нормативно-правовых актов, действующих на территории РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gostbaza.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
253. Эталоны ТЭО строительства предприятий по добыче и обогащению угля. В 2 т. / Под научным руководством Г.Л. Краснянского, В.М. Еремеева. Т. I. — Техэксперт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200106900> (дата обращения: 03.03.2017).
254. Сайт Минприроды России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/> (дата обращения: 05.03.2017).
255. Географическая информационная система ESRI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esri-cis.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
256. Справочная система Arcgis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pro.arcgis.com/ru/pro-app> (дата обращения: 25.03.2016).
257. Электронные методические руководства САПР Autodesk AutoCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autodesk.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
258. Горно-геологическая информационная система Micromine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.micromine.com> (дата обращения: 25.03.2016).

259. Горно-геологическая информационная система Geovia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.geovia.com> (дата обращения: 25.03.2016).
260. Горно-геологическая информационная система Datamine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dataminesoftware.com> (дата обращения: 06.03.2017).
261. Горно-геологическая информационная система Vulcan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maptek.com> (дата обращения: 06.03.2017).
262. Горно-геологическая информационная система TECHBASE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.techbase.com> (дата обращения: 07.03.2017).
263. Портал InfoMine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infomine.com> (дата обращения: 06.03.2017).
264. Портал Mining software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.miningsoftware.org> (дата обращения: 06.03.2017).
265. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/> (дата обращения: 25.03.2016).
266. Геоинформационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dataplus.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
267. Сайт публикаций сведений о разработках и использовании геоинформационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gistechinik.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
268. Технологии анализа данных BaseGroup Labs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basegroup.ru/> (дата обращения: 14.04.2016).
269. Аналитическая платформа для бизнес-решений Deductor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://deductor.com.ua/> (дата обращения: 14.04.2016).
270. Математическое программное обеспечение MATLAB и Simulink компании Mathworks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.ru/> (дата обращения: 14.04.2016).
271. Бесплатный некоммерческий справочно-образовательный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geokniga.org> (дата обращения: 25.03.2016).

272. Российский геологический портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rosgeoportal.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
273. Портал «Геология». Проект «Электронная Земля» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earth.jscc.ru/russia> (дата обращения: 25.03.2016).
274. Геологическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://enc-dic.com/enc_geolog (дата обращения: 25.03.2016).
275. Платформа разработки экспертных систем реального времени Gensym [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gensym.com> (дата обращения: 26.02.2017).
276. Технология экспертной системы автоматизации знаний Exsys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.exsys.com> (дата обращения: 26.02.2017).
277. Программное обеспечение для поддержки принятия решений Hugin expert [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hugin.com> (дата обращения: 26.02.2017).
278. Инструменты поддержки принятия решений на основе знаний и экспертных систем Logic programming associates [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lpa.co.uk> (дата обращения: 26.02.2017).
279. Временные нормы технологического проектирования угольных и сланцевых шахт. — Техэксперт // Утв. Комитетом угольной промышленности протоколом от 08.12.92 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200047535> (дата обращения: 25.03.2016).
280. Модельный кодекс «О недрах и недропользовании для государств - участников СНГ». — Техэксперт // Принят на двадцатом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств - участников СНГ (постановление N 20-8 от 7 декабря 2002 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865105> (дата обращения: 24.02.2017).
281. Классификации запасов твердых полезных ископаемых. — Техэксперт // Утв. приказом Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) от 11 декабря 2006 года №278 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902021575> (дата обращения: 25.03.2016).

282. Федеральная информационная адресная система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fias.nalog.ru/> (дата обращения: 15.04.2016).
283. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». — Гарант // Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 декабря 2013 г. N 605 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70628432/> (дата обращения: 24.03.2016).
284. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». — Гарант // Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2013 г. № 550 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70465028/> (дата обращения: 24.03.2016).
285. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». — Гарант // Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2013 г. N 599 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70691622/> (дата обращения: 24.03.2016).
286. Программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. — Российская газета // Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2014 г. N 1099-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rg.ru/2014/06/27/ugol-site-dok.html> (дата обращения: 22.03.2016).
287. Интеллектуальная ГИС «Данные наук о Земле по территории России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis.gcras.ru/geoportal/> (дата обращения: 03.04.2016).
288. Портал American Coal Foundation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teachcoal.org> (дата обращения: 23.05.2017).
289. Сайт ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru> (дата обращения: 25.05.2017).

290. Bahri Najafi, A. Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining / A. Bahri Najafi, G.R. Saeedi, M.A. Ebrahimi Farsangi // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2014. – Т. 70. – P. 115–122.
291. Fisher, B.S. Autonomous and Remote Operation Technologies in the Mining Industry Benefits and Costs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.baeconomics.com.au/wp-content/uploads/2010/01/Mining-innovation-5Feb12.pdf> (дата обращения: 22.08.2017).
292. Groshong, R.H. 3-D structural geology: A practical guide to quantitative surface and subsurface map interpretation / R.H. Groshong. – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – 400 p.
293. Jamieson, G.A. Model-Based approaches to Human-Automation Systems Design // Proceedings of 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (asme Esda 2012) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.forskningsdatabasen.dk/en/catalog/2282406415> (дата обращения: 22.08.2017).
294. Li, L. AutoCAD-based prediction of 3D dynamic ground movement for underground coal mining / L. Li, K. Wu, D.-W. Zhou // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2014. – Т. 71. – P. 194–203.
295. Wang, G. 3D geological modeling for prediction of subsurface Mo targets in the Luanchuan district, China / G. Wang, R. Li, E.J.M. Carranza, S. Zhang, C. Yan, Y. Zhu, J. Qu, D. Hong, Y. Song, J. Han, Z. Ma, H. Zhang, F. Yang // Ore Geology Reviews. – 2015. – Т. 71. – P. 592–610.
296. Wang, Y. Coal mine safety production forewarning based on improved BP neural network / Y. Wang, C. Lu, C. Zuo // International Journal of Mining Science and Technology. – 2015. – № 2. – Т. 25. – P. 319–324.
297. Wang, Y.J. Characteristics of multiple-fan ventilation networks / Y.J. Wang // International Journal of Mining Engineering. – 1984. – № 3. – Т. 2. – P. 229–243.
298. Xiucan Guo Application of GIS technology in coal mine graphic information management system / Xiucan Guo, Qiannan Zhang. // International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering. – IEEE, 2010.

– P. 456–459.

299. Zhou, K. Virtual reality simulation system for underground mining project / K. Zhou, M. Guo // *Virtual Reality*. – 2011. – P. 615–633.

300. Zhou, Y. Application of extension neural network to safety status pattern recognition of coal mines / Y. Zhou, W. Pedrycz, X. Qian // *Journal of Central South University of Technology (English Edition)*. – 2011. – № 3. – T. 18. – P. 633–641.