

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»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»).

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
КУЗНЕЦОВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Официальные оппоненты: **ДЖИГРИН АНАТОЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**,
доктор технических наук, генеральный директор
общества с ограниченной ответственностью
«Геотехнология-Взрывозащита» (г. Москва);

ШАКЛЕИН СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ,
доктор технических наук, доцент, ведущий научный
сотрудник лаборатории геоинформационного
моделирования Кемеровского филиала
федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Институт вычислительных
технологий» сибирского отделения Российской
академии наук (г. Кемерово);

ЧЕРЕМИСИНА ЕВГЕНИЯ НАУМОВНА,
доктор технических наук, профессор, заведующая
отделением «Геоинформатики» «ВНИИГеосистем»
Федерального государственного бюджетного
учреждения «Всероссийский научно-
исследовательский геологический нефтяной
институт» (г. Москва)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет» (г. Тула)

Защита диссертации состоится «04» июля 2018 года в 13⁰⁰ часов на
заседании диссертационного совета Д 212.132.14 при НИТУ «МИСиС» по адресу:
119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6, стр. 2, ауд. А-305.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке
НИТУ «МИСиС» (http://misis.ru/files/9448/Stadnik_dis.pdf).

Автореферат разослан «___» _____ 2018 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.132.14
доктор технических наук, профессор
АГАФОНОВ ВАЛЕРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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 перечня нормативных требований и показателей оценки качества каждого проекта освоения георесурсов негативно сказывается на развитии техники и технологии в горной отрасли промышленности. В настоящее время наблюдается определенный разрыв между ростом технического уровня производства и темпами совершенствования методов проектирования, что приводит к снижению уровня прогрессивности принимаемых в угольной отрасли проектных решений.

Методическая база проектирования угольных шахт, сформированная еще при централизованной плановой экономике, в силу своей консервативности не в состоянии адекватно реагировать на непрерывно изменяющиеся требования к освоению георесурсов, особенно с учетом сложности мировой политической и экономической ситуаций. Современный уровень развития научно-технического прогресса горнодобывающей отрасли, характеризующийся применением высокопроизводительной техники, интенсификацией производственных процессов, а также комплексным использованием недр и охраной природной среды, обуславливает необходимость многовекторного и объективного информационного обеспечения инженерных решений и реализации мероприятий по эффективному изучению, оценке и промышленному освоению георесурсного потенциала месторождений. Ко всему прочему, современное состояние и

тенденции развития минерально-сырьевой базы угольной промышленности предполагают вступление отрасли в новую стадию промышленного освоения недр, которая характеризуется переходом от поисков и разведки запасов полезных ископаемых под заданные технологии их извлечения к синтезу адаптивных технологий добычи полезного ископаемого, обеспечивающих эффективную и безопасную отработку подтвержденных запасов.

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., Кошкарев 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.

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.

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. 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.

В диссертации установлено, что при разработке научно-методической базы автоматизированного проектирования освоения георесурсного потенциала угольных шахт имеет место целый ряд сложностей. В частности, это относится к отсутствию 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 рамках 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.

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 по освоению георесурсов, результат которого характеризует разработанный в диссертации вариант структуры единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов (Рисунок 1).

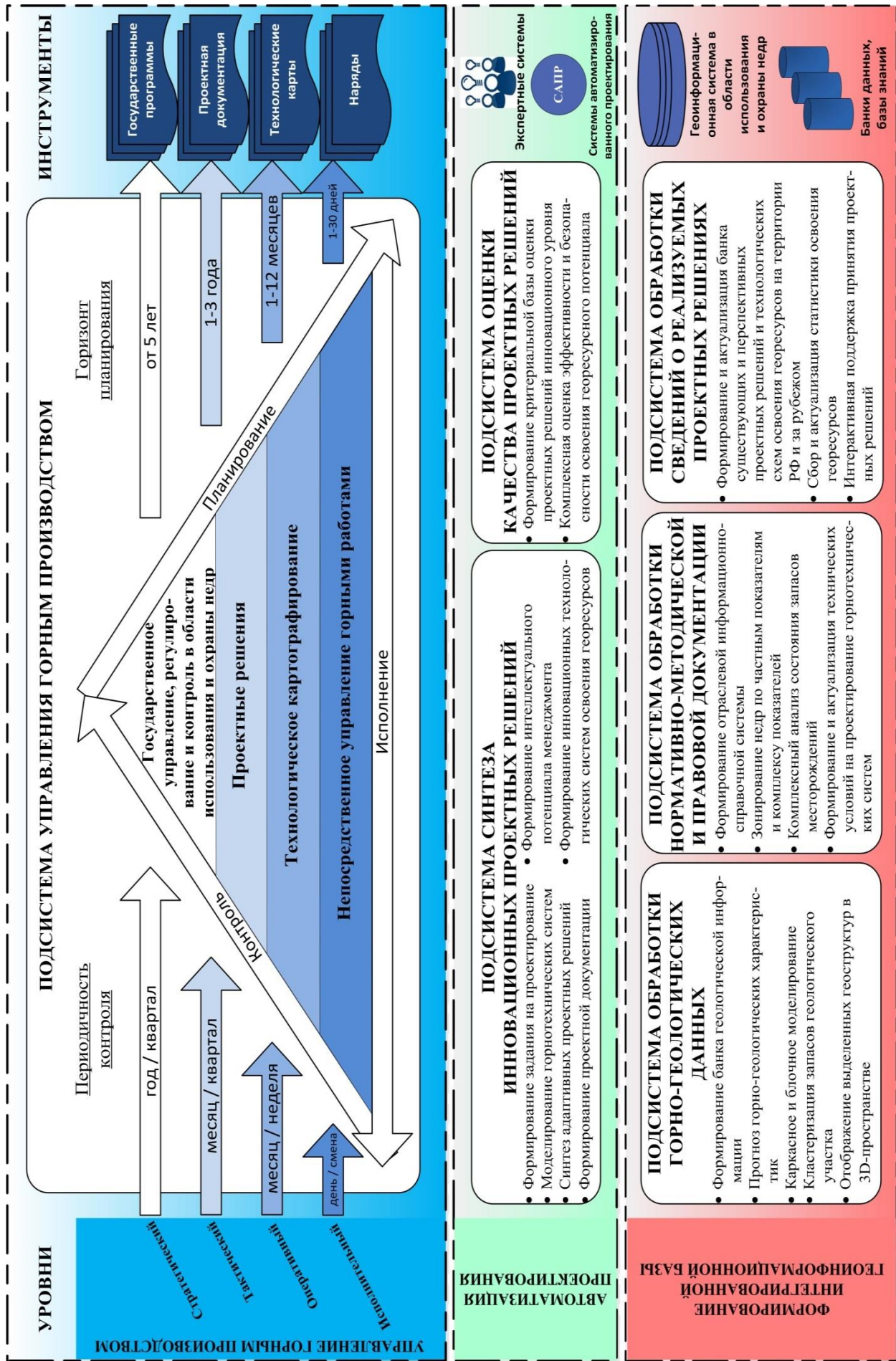


Рисунок 1 - Структура единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

В структуре единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов выделяются три основные уровня: уровень управления горным производством, включающий одноименную подсистему, уровень автоматизации проектирования, включающий подсистемы синтеза и оценки качества проектных решений, а также уровень формирования интегрированной геоинформационной базы, включающий подсистемы обработки горно-геологических данных, нормативно-методической и правовой документации, сведений о реализуемых проектных решениях.

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.

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.

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.

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. 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.

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.

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 шахтного поля, а также в целом по отрасли базируется на интуитивном подходе. Однако имеется 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 подготовительных выработок, современный уровень схем проветривания выемочных участков, однотипность участкового и магистрального транспорта, уровень нагрузки на очистной забой, технический уровень средств комплексной механизации горных 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.

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. 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 требуемом уровне безопасности работ.

Подсистема управления горным производством предусмотрена для комплексной инфраструктурной поддержки централизованного управления недропользованием в масштабах государства. 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 стратегическом подуровне реализуются государственное управление, регулирование и контроль 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 рекомендуется разрабатывать и внедрять системы автономного адаптивного управления технологическими процессами горного производства, что позволит перейти к использованию многофункционального роботизированного горного оборудования.

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.

Для практической реализации сформулированных автором научно-методических основ формирования единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов предлагается создание виртуального пространства, структура которого представлена на Рисунке 2. 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.

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 другие.

С целью совершенствования методологической базы проектирования горнотехнических систем 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,

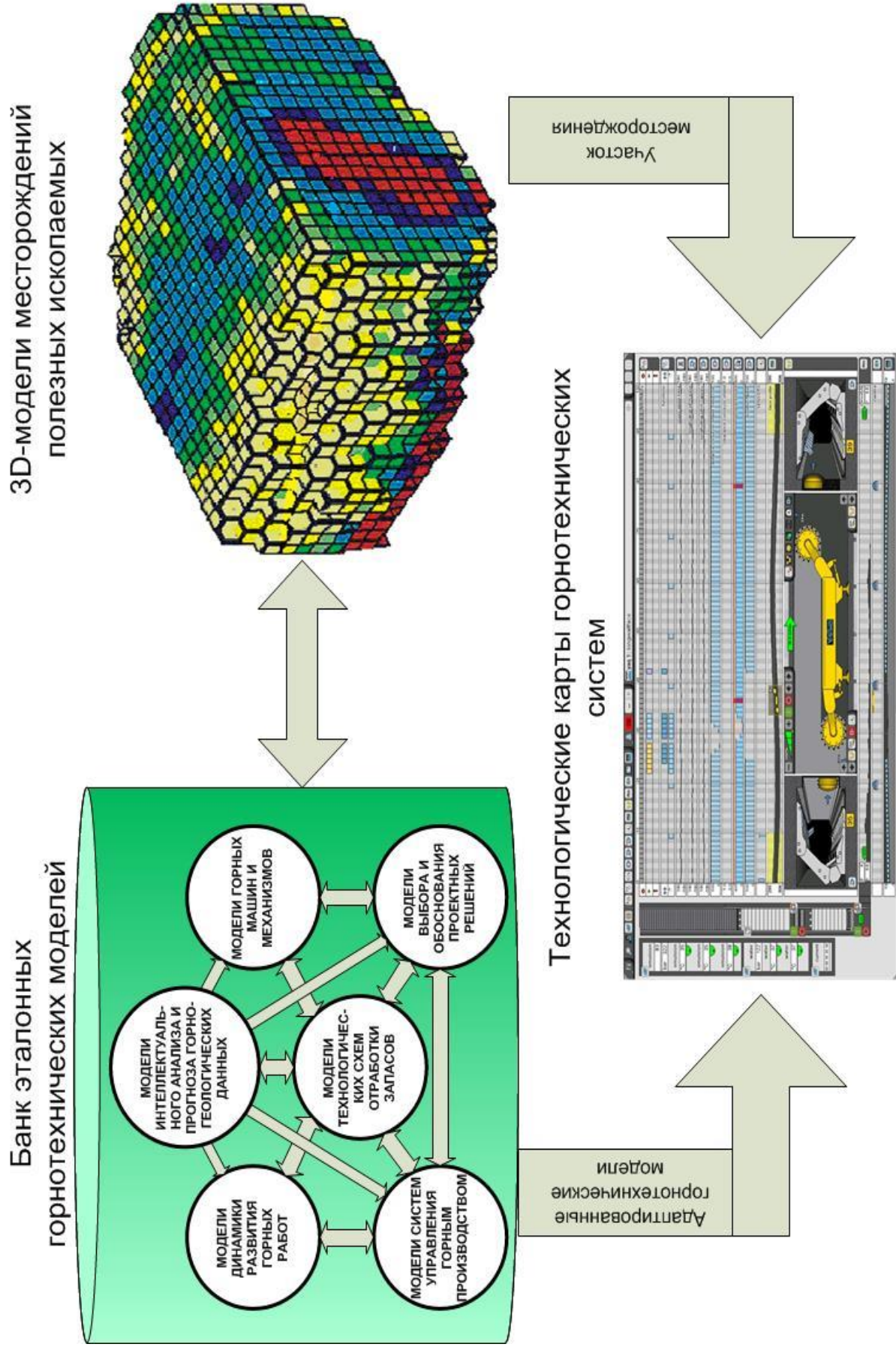


Рисунок 2 - Структура виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

модели горных машин и механизмов, модели выбора и обоснования проектных решений, модели динамики развития горных работ, модели систем управления горным производством, а также модели технологических схем отработки запасов.

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 на осуществление синтеза новых горнотехнических систем, так как проектировщикам будет достаточно всего лишь адаптировать обоснованные эталонные модели к конкретным 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.

В связи с переходом к безлюдному освоению запасов угольных шахт серьезную актуальность приобретает вопрос разработки научно-методического обеспечения автоматизированного управления роботизированной технологией в целях повышения безопасности, эффективности и ритмичности отработки запасов выемочных единиц. Для этого автором рекомендуется специальный руководящий электронный документ - технологическая карта горнотехнической системы, содержащий все особенности геологической среды и характеристики функционирования автоматизированных средств управления роботизированной технологией.

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.

Технологические карты выступают в виртуальном пространстве единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов в роли агрегирующего компонента для горнотехнических моделей и принятых к отработке участков месторождений полезных ископаемых, представленных цифровыми 3D-моделями (Рисунок 2).

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 роботизированных технологий горных работ.

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

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 3). 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



Рисунок 3 - Процедура синтеза эталонных горнотехнических моделей при формировании виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов

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 выявлять 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.

В блоках №5 и №6 производится 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 алгоритмы реализации эталонных горнотехнических моделей могут применяться в отдельных подсистемах и функциональных элементах единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов.

Предложенный в работе алгоритм моделирования горно-геологических характеристик пластовых месторождений на базе сплайн-функций Грина (Рисунок 4) позволяет получить вполне реальное решение при малом количестве заданных значений. Процесс поиска решения сводится к построению аппроксимационного сплайна, обладающего свойством минимальной нормы производной. В 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 использования.

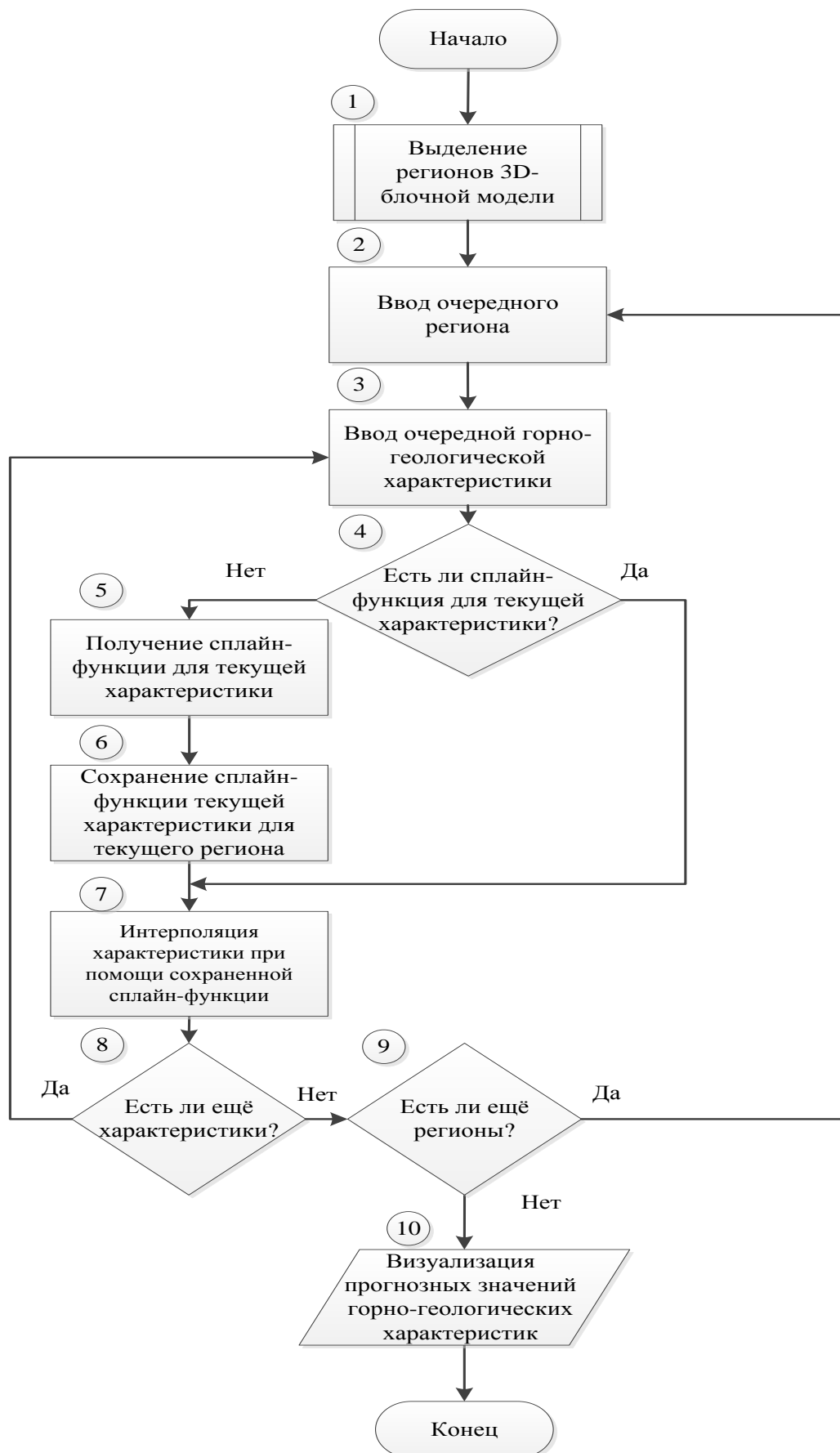


Рисунок 4 - Блок-схема алгоритма моделирования горно-геологических характеристик пластовых месторождений на базе сплайн-функций Грина

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 предложенного 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.

Для автоматизированной кластеризации запасов угольных месторождений автором рекомендуется алгоритм моделирования геоструктур на основе нейронных сетей Кохонена (Рисунок 5).

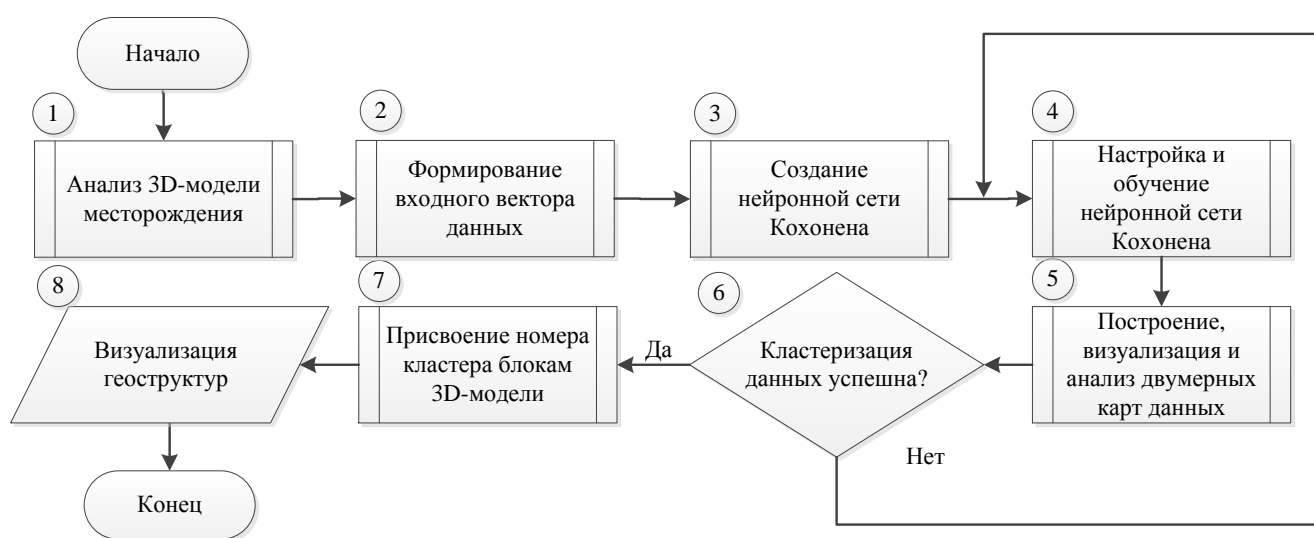


Рисунок 5 - Блок-схема алгоритма моделирования геоструктур угольного месторождения на основе нейронных сетей Кохонена

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.

Одним из основных вопросов, решаемых в рамках теории проектирования шахт, является обоснование их качественных и количественных характеристик, которые в совокупности отражают степень соответствия технологических систем 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 другие, не имеют размерности, их выбор часто неоднозначен и носит альтернативный характер, при этом они могут существенно отличаться по эффективности их практической реализации.

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 тому подобное, однако, по мнению автора, вполне возможно создать информационную

систему, которая упрощала бы решаемую проектировщиком задачу и определяла приоритетные для анализа и рассмотрения варианты.

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 и разработан соответствующий алгоритм рассуждений, формализованный «деревом решений», фрагмент которого представлен на Рисунке 6.

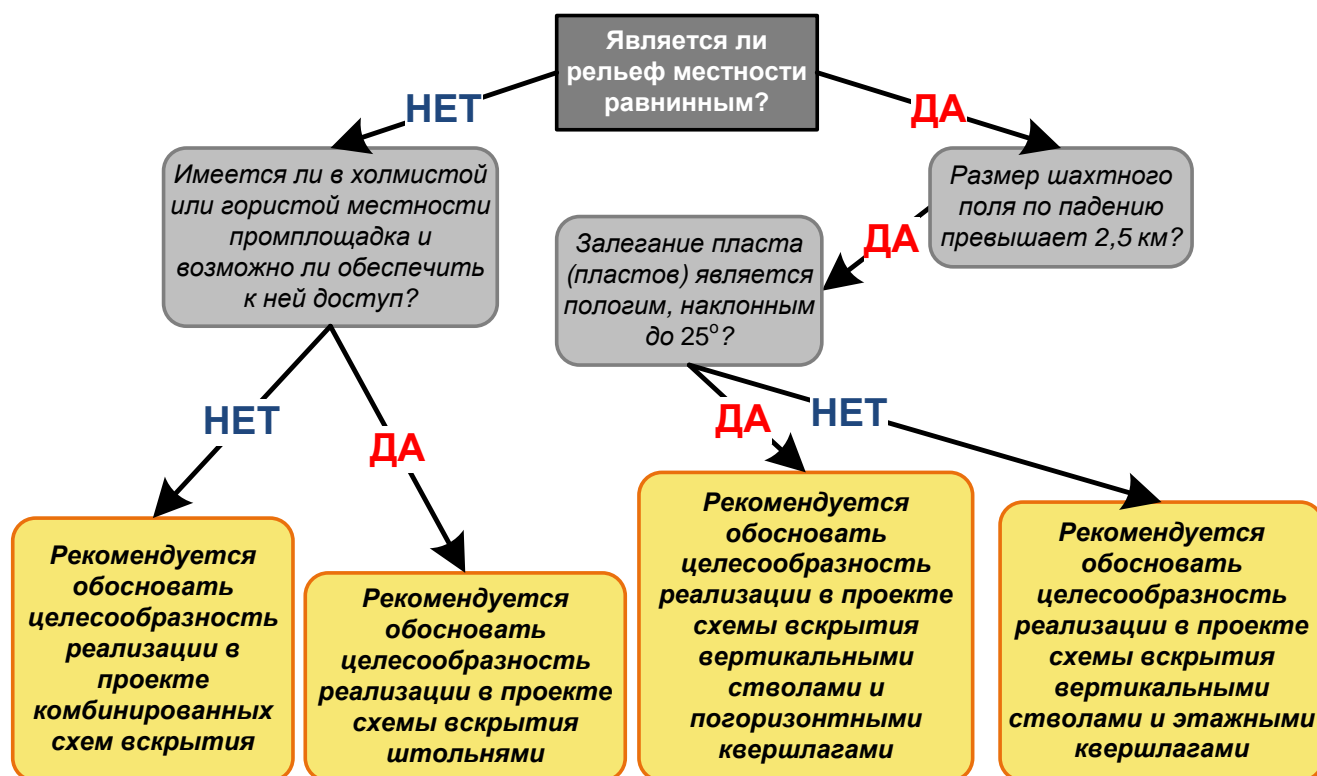


Рисунок 6 - Фрагмент «дерева решений» при обосновании рациональной схемы вскрытия запасов угольных месторождений

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

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

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 основной 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 есть возможность 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.

Автором осуществлен системный анализ управления технологическими процессами освоения георесурсов, по результатам которого предлагается алгоритм моделирования динамики развития горных работ на базе нечеткой логики (Рисунок 7).

Фаззификация входных лингвистических переменных выполняется в блоке №1, в котором устанавливается соответствие между численным значением входной переменной модели динамики развития горных работ и значением терма 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».

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».

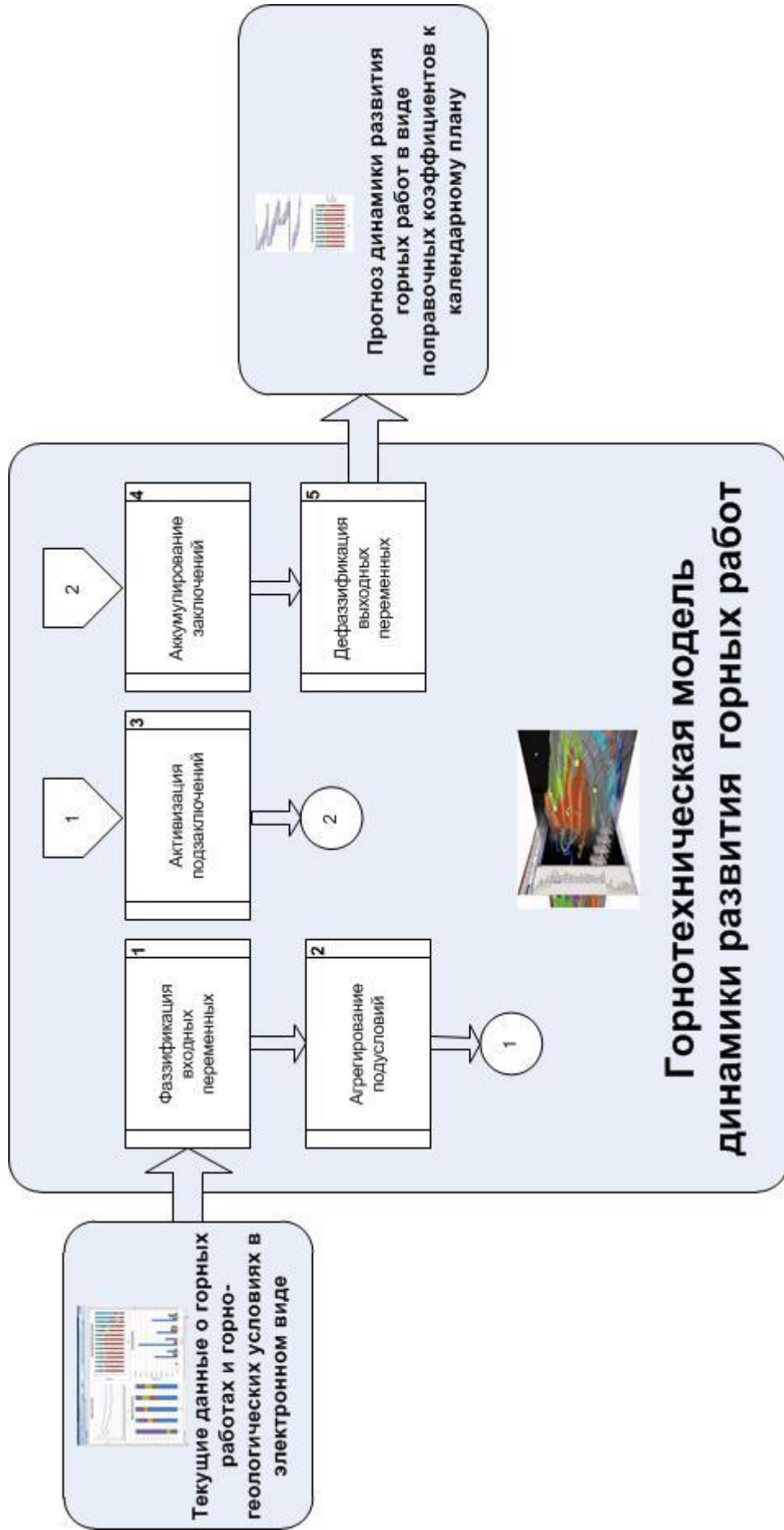


Рисунок 7 - Блок-схема алгоритма моделирования динамики развития горных работ на базе нечеткой логики

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 подзаклучения, 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.

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 других факторов, а также осуществляет текущий и прогнозный контроль функционирования горнотехнической системы в условиях изменяющейся производственной ситуации.

Для создания горнотехнических моделей управления воздухораспределением в диссертации предлагается использовать нейронные сети (Рисунок 8).

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.

Модель управления воздухораспределением в работе 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:

$$\overline{G} = F(q_1, q_2, \dots, q_k), \quad (1)$$

где \overline{G} - вектор положений воздухорегулирующих устройств и подач вентиля-

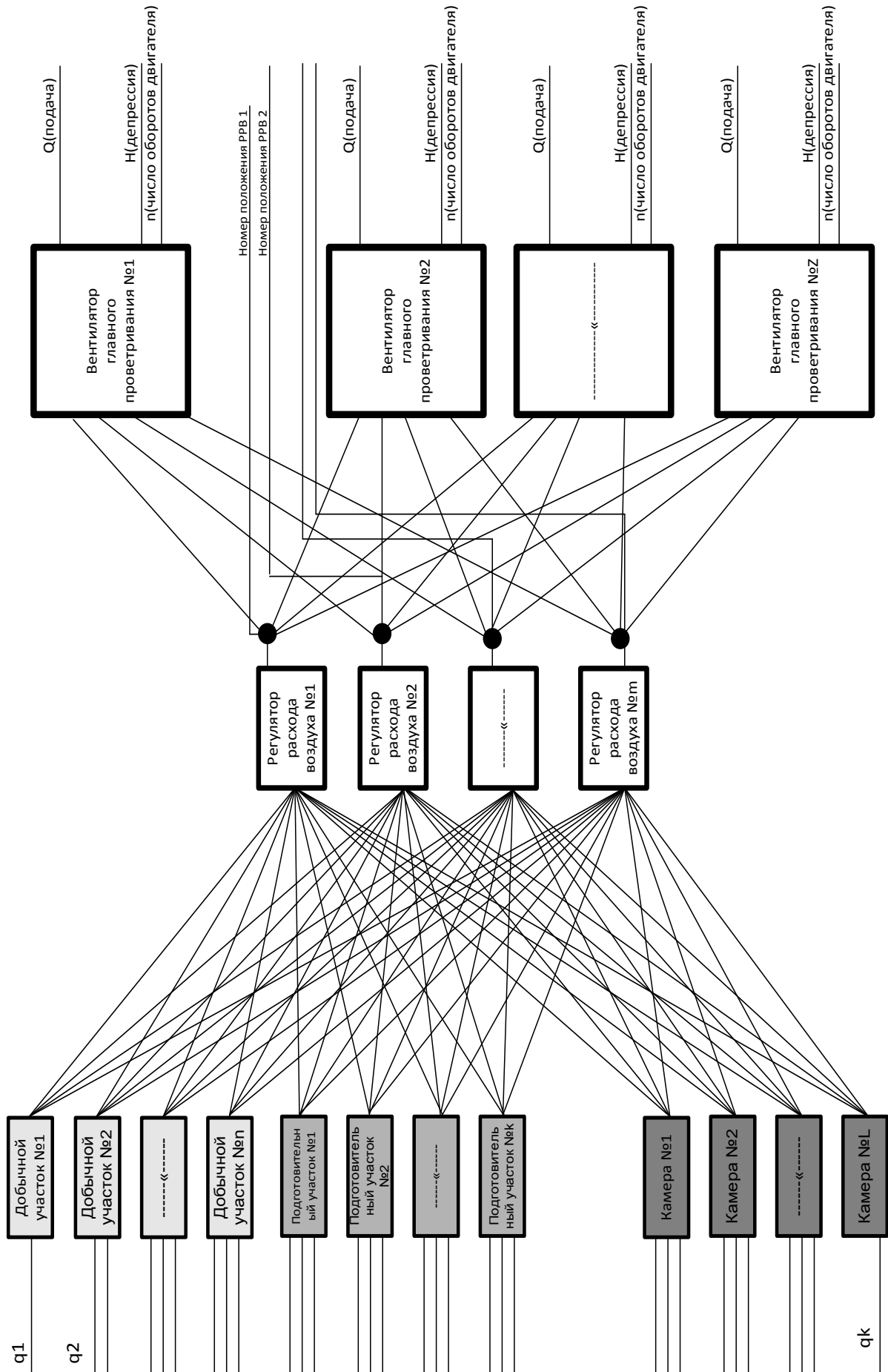


Рисунок 8 - Фрагмент структуры нейронной сети при управлении воздушораспределением угольной шахты

торов 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:

$$H(r_1, r_2, \dots, r_m, q_1, q_2, \dots, q_k, Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = \min \sum_{i=1}^m r_i (|q_i|)^3, \quad (2)$$

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.

Кроме того, вводятся следующие ограничения:

$$q_j^{\min} \leq q_j \leq q_j^{\max}, j \in V_q; \quad (3)$$

$$r_i^{\min} \leq r_i \leq r_i^{\max}, i \in V_r; \quad (4)$$

$$h_j^{\min} \leq h_j \leq h_j^{\max}, j \in V_h; \quad (5)$$

Ограничения (3) обычно предопределяются руководящими документами, причем во множество индексов V_q обычно входят лишь номера ветвей (участков, выемочных единиц), в границах которых ведутся работы. Ограничения (4) соотносятся с технической реализацией регуляторов расхода воздуха или перемычек, кроссингов и так далее. Ограничения (5) обусловлены экономическими режимами работы вентиляторов главного проветривания и ограниченностью диапазонов их регулирования.

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, в том числе мирового уровня. Информационно-вычислительные территориально распределенные центры обработки информации представляют собой мощное средство междисциплинарного общения ученых и экспертов в области горного дела.

При этом необходимым условием является создание единой методологической базы и компьютерных технологий 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 методологической базы предопределяется информационным подобием постановок целого ряда решаемых задач, возникающих на разных стадиях изучения и эксплуатации месторождений, оценки полноты освоения недр.

Автором обоснована необходимость решения задач комплексной автоматизации инженерного труда на уровне всей горнодобывающей отрасли. Одним из направлений является создание автоматизированных проектно-конструкторских бюро. В их функции должно входить 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. Разрабатываемые в таких бюро документы могут быть представлены 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 и горно-геологических информационных систем, позволяющих создавать сложные многофункциональные комплексы программного обеспечения, например, для планирования горных работ и прогнозирования горно-геологических условий отработки запасов угля, для экологической экспертизы на уровне горнопромышленного региона, создания банка данных цифровой картографической информации по планам развития работ на горных предприятиях России и многих других задач.

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 так далее.

Модель должна иметь возможность адаптироваться к специфике горно-геологических условий и «вписываться» в существующие ограничения технологий освоения георесурсов, причем в автоматизированном режиме.

Она должна отличаться возможностью экспорта-импорта различных форматов данных для интеграции с программным обеспечением 3D-моделирования месторождений полезных ископаемых и другими.

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 выполнении 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. 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, в диссертации доказана 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.

Для практической реализации разработанной автором научно-методической базы автоматизированного проектирования освоения георесурсного потенциала угольных шахт в диссертации осуществлено формирование прототипа виртуального пространства единой отраслевой системы автоматизированного проектирования технологий освоения георесурсов на базе синтеза в современных программных комплексах и апробации в условиях горного производства пяти горнотехнических моделей: распознавания геоструктур угольного пласта, прогнозирования метаноносности угольных месторождений, обоснования схем вскрытия запасов угольных месторождений, прогнозирования эффективности функционирования комплексов очистного оборудования, оптимального управления проветриванием угольных шахт. Положительный итог апробации результатов исследования автора явился основанием для принятия к использованию разработанных рекомендаций в ООО «Сибирский Институт Горного Дела» в составе холдинга «СДС-Уголь» и на шахтах АО «СУЭК».

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.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора.

В изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России:

1. 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.
2. 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.

3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Стадник, Д.А. Разработка структуры единой отраслевой системы

автоматизированного проектирования угольных шахт / Д.А. Стадник // Горная промышленность. – 2017. – № 4 (134). – С. 65–66.

22. 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.

23. Стадник, Д.А. Обоснование функциональных подсистем единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт / Д.А. Стадник // Уголь. – 2017. – № 10(1099). – С. 52–56.

24. 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.

В авторском свидетельстве:

25. 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.

В монографии:

26. 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.

В прочих изданиях:

27. Стадник, Д.А. Прогнозирование и управление электропотреблением угольных шахт / Д.А. Стадник // Сб. науч. трудов студентов магистратуры МГГУ (вып. 4). – 2004. – С. 221–225.

28. 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.

29. 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.