

На правах рукописи



КОЗЛОВ ВАЛЕРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКИХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ, ПОВЫШАЮЩИХ ПОЛНОТУ
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАПАСОВ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Специальность 25.00.21 – «Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем»

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология – подземная, открытая и
строительная»

Москва 2018

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Научный консультант: **Мельник Владимир Васильевич**,
доктор технических наук, профессор


Официальные оппоненты: **Федорин Валерий Александрович**
доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией эффективных технологий разработки угольных месторождений, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН»,
Сарычев Владимир Иванович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Геотехнологий и Строительства подземных сооружений», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,
Сенкус Витаутас Валентинович,
доктор технических наук, профессор,
заместитель управляющего филиала общества с ограниченной ответственностью «Сибирский научно-исследовательский институт углеобогащения»

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2018г. в __ часов на заседании диссертационного совета Д-212.132.14 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (ФГАОУ ВО 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» и на сайте по адресу: <http://misis.ru/science/dissertation>

Автореферат разослан «__» _____ 2018г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д-212.132.14
доктор технических наук, профессор  **В.В. Агафонов**

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований и степень ее проработанности

Анализ работы шахтного фонда Российской Федерации показал, что в последние годы сформировалась устойчивая тенденция ухудшения горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольных месторождений. Отмечается увеличение длин лав и выемочных участков, что приводит к многократным изменениям условий разработки отдельных участков выемочных столбов относительно друг друга. Особенно рельефно такая изменчивость проявляется на месторождениях с отчетливо выраженными дизъюнктивными и пликативными формами нарушений.

Многообразие горно-геологических условий, требующих в свою очередь, многообразия технологических схем и режимов отработки запасов, подготовило появление концепции формирования гибкого подхода к технологии. Именно диалектика их постоянного обновления и усложнения явилась основой для формирования принципа гибкости применительно к технологии угледобычи. Данная концепция берет свои истоки в идеях вождения механизированных комплексов по криволинейной траектории в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. При этом гибкая технология базируется на принципах иерархичности и модульности отдельных технологических решений. Задачи бездемонтажного перевода механизированного комплекса в смежный выемочный столб, перехода и обхода геологических нарушений, решаемые в рамках гибкого подхода, базируются на технологии маневрирования механизированной лавой в плоскости пласта или как в последнее время называют этот вид технологии - на развороте очистного забоя.

Основополагающие экспериментальные исследования технологии отработки выемочных столбов с разворотом механизированных комплексов выполнены Ковачевичем П.М., Дворецким Н.М., Глазовым Д.Д., Птициным В.П. Дальнейший существенный вклад в развитие технологии очистных работ с разворотом комплексов внесли Бурчаков А.С, Килячков А.П., Малышев Ю.Н., Михеев О.В. и другие.

Анализ работ в данной области показал, что до настоящего времени не выполнены в достаточном объеме исследования по синтезу рациональных технологических схем разворота, обоснования их параметров и изучению напряженного состояния горных пород и угольного пласта, взаимодействия крепи с породами по длине лавы при различных углах поворота, не разработаны технологические схемы отработки выемочных полей с разворотом с минимальными потерями угля на концевых участках.

В этой связи возникает актуальная проблема изыскания новых способов и средств интенсификации подземной добычи угля с повышением полноты извлечения запасов на основе использования технологий с разворотом лав с разработкой соответствующего научно-методического обеспечения по созданию автоматизированных систем проектирования технологических схем ведения очистных работ.

Цель работы - повышение полноты извлечения запасов выемочных участков угольных шахт на основе технологии, предусматривающей адаптацию технологического оборудования к изменяющимся горнотехническим условиям.

Идея работы: повышение полноты извлечения запасов угольных шахт достигается путем исключения промежуточных демонтажей механизированных комплексов до полной отработки выемочных участков.

Задачи исследований:

- анализ современного состояния и основных направлений развития процессов решения технологических задач горного производства;
- обзор аналитических подходов к формированию гибкой технологии отработки запасов угольных месторождений;
- выбор презентативной технологической задачи для реализации ее в рамках принятых методов моделирования с целью проведения комплекса исследований;
- разработка теоретических положений обоснования и классификации технологических схем с разворотом механизированных комплексов при очистной выемке запасов эксплуатационных блоков;
- разработка концепции и методических положений обоснования проектных решений гибких технологических схем ведения очистных работ на базе ситуационно-семиотического модульного моделирования;
- обобщение результатов исследований и разработка методических и практических рекомендаций по созданию автоматизированных систем решения технологических задач горного производства;
- геомеханическое обоснование технологических схем ведения очистных работ с движением забоя по криволинейной траектории, обеспечивающих повышение времени использования технических средств, надежности процессов, уменьшение трудоемкости работ, увеличения производительности труда
- разработка рекомендаций по выбору рациональных параметров технологических схем ведения очистных работ при движении забоя по криволинейной траектории;

– оценка экономической эффективности внедрения результатов исследований.

Методы исследований. В работе задействован комплексный метод исследований, включающий анализ и научное обобщение литературных источников и производственной документации, статистический анализ, семиотическое моделирование, компьютерное моделирование, методы экспертных оценок, метод конечных элементов, корреляционно-регрессионный анализ, экономико-математическое моделирование, технико-экономическая оценка и др.

Основные защищаемые научные положения:

1. Повышение полноты извлечения запасов угольных шахт может быть обеспечено проектным выбором параметров гибкой технологии их отработки, адаптированной к изменениям горнотехнических условий на протяжении всего времени отработки выемочных участков.

2. Гибкость технологии и ее адаптация к изменяющимся условиям достигается за счет проектного выбора технологической схемы движения механизированного комплекса по криволинейной траектории до полных разворотов на границах выемочных участков без демонтажа оборудования.

3. Технология разворота механизированного комплекса обеспечивается путем реализации разработанного алгоритма экспертной системы «Разворот механизированного комплекса» и обоснованных технологических решений с использованием семиотического моделирования.

4. Обеспечение благоприятных условий взаимодействия крепи механизированного комплекса с боковыми породами, а также значительное сокращение потерь угля в угловых частях выемочных участков достигается с проектированием центра разворота, величина смещения которого принимается равной одной трети длины лавы.

5. Гибкая технология с рациональными параметрами разворотов механизированных комплексов обеспечивает стабильное геомеханическое состояние окружающего массива, - при этом секции крепи испытывают нагрузки на 10-15% ниже, чем на прямолинейных участках.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций подтверждаются достаточно представительным объемом статистических и экспериментальных данных, опытно-промышленной апробацией технических и технологических решений, использованием современного методологического, методического и программно-аналитического аппарата проведения исследований и обработки статистических данных.

Научная новизна: разработаны методологические основы проектирования гибких технологических схем, повышающих полноту извлечения запасов выемочных участков угольных шахт с учетом закономерностей изменения геомеханического состояния горного массива при движении механизированного комплекса по криволинейной траектории на основе семиотического моделирования.

Научное значение работы заключается в разработке методологических основ проектирования гибких технологических схем с разворотом механизированных комплексов, обеспечивающих повышение полноты извлечения запасов угольных шахт.

Практическое значение работы заключается в разработке рекомендаций по рациональному выбору технологических схем и режимов отработки запасов выемочных участков угольных шахт с изменяющейся траекторией передвижения комплексов очистного оборудования, обеспечивающих повышение полноты извлечения запасов и безопасности выполнения рабочих процессов и операций на концевых участках на основе исключения необходимости постоянного перемонтажа очистного оборудования.

Реализация результатов работы. Методическое руководство «Автоматизированное принятие решений по маневрированию и развороту механизированного комплекса» рекомендовано к использованию на шахтах АО «СУЭК». Основные научные результаты диссертации используются в учебном процессе НИТУ МИСиС при подготовке специалистов по направлению 130400 «Горное дело».

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на Международном научном симпозиуме в рамках «Неделя горняка – (Москва, 2010-2018), научно-практических семинарах кафедр: «Организации и управления в горной промышленности» (Москва, 2013-2014), «Подземной разработки пластовых месторождений» (Москва, 2016), «Горные машины и комплексы» и «Геотехнологии освоения недр» Горного института НИТУ «МИСиС» (Москва, 2018).

Публикации. Основные результаты исследований отражены в 34 научных трудах, включая 28 статей, опубликованных в научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения; содержит 61 рисунок, 32 таблицы и список литературы из 185 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

С ростом глубины разработки усугубляются последствия проявления напряженного состояния массива, растет газоносность угольных пластов и вмещающих пород, увеличивается число шахтопластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа и горным ударам, проявляется выбросоопасность некоторых песчаников, значительно увеличивается число геологических нарушений, как дизъюнктивных, так и пликативных. В различные годы были реализованы целенаправленные исследования по приложению методологии гибкого подхода к отработке нарушенных месторождений, в ходе которых подтвердилась целесообразность выработки гибких решений.

Развороты в гибкой технологии решают следующие задачи: перевод механизированного комплекса в новый выемочный участок; доворот, обусловленный схемой подготовки эксплуатационного блока или формой границ шахтного поля; изменения положения лавы по отношению к переходимому нарушению. В некоторых работах развороты рассматриваются как возможность уменьшения первичных осадков кровли в первом выемочном участке и исключения их в последующих. Очевидно, что технология разворота очистного забоя имеет большое значение и занимает важное место в рамках гибкого подхода к принятию технологических решений. Сами принципы формирования гибкой технологии позволяют рассматривать ее как непрерывную, позволяющую формировать выемочные столбы протяженностью, соответствующей ресурсу металлоконструкций крепи, при этом непрерывность реализации гибкой технологии реализуется за счет разворотов лав. В результате эти идеи прижились и получили свое независимое развитие.

Как отмечалось выше, основополагающие экспериментальные исследования технологии отработки выемочных столбов с разворотом механизированных комплексов выполнены Ковачевичем П.М., Дворецким Н.М., Глазовым Д.Д., Птициным В.П. Дальнейший существенный вклад в развитие технологии очистных работ с разворотом комплексов внесли Бурчаков А.С, Килячков А.П., Малышев Ю.Н., Михеев О.В. и другие.

Стоит отметить, что до сих пор отсутствуют требования к комплексам с учетом их разворота, не определена область эффективного применения различных вариантов технологических схем с разворотом комплексов.

Маневрирование лавой в плоскости пласта подразделяется на компенсационное (периодическое) и технологическое (эпизодическое). Компенсационное маневрирование осуществляется для того, чтобы обеспечить заданное положение машин комплекса относительно оси конвейерного штрека,

т. е. для компенсации периодических отклонений от заданного положения. Технологическое маневрирование осуществляется с целью решения эпизодически возникающих технологических задач, каковыми являются изменение конфигурации выемочного участка, переход различного рода критических зон, в которых изменяется морфология пласта, формируется максимальное горное давление, ухудшаются условия взаимодействия крепи с вмещающими пласт породами и др. Маневренность комплекса определяется его управляемостью, вписываемостью крепи и комбайна в предельный искусственный контур.

В связи с этим маневрирование комплексом в плоскости пласта может осуществляться несколькими способами: согласованный разворот всех секций крепи при задании хода гидродомкратов передвижки; разворот базовой балки конвейерного става при его передвижке волной; разворот комплекса с изменением ориентированности фронта очистного забоя.

Общим для всех способов маневрирования механизированными комплексами является то, что оно практически всегда сводится к маневрированию гидрофицированной крепью и ориентирующим базовым устройством. Осуществляется маневрирование путем одностороннего закрытия регламентируемых зазоров, зазоров размерных погрешностей, упругого деформирования звеньев и связей между отдельными секциями крепи, группами секций и ориентирующей конструктивной базой. При этом изменяется первоначальная ориентированность секций или группы секций (исходная). Затем на завершающих фазах при замыкании секций в конечных положениях на них передается управляющее воздействие по всему ставу механизированного комплекса.

При совместном маневрировании всеми машинами полный угол разворота комплекса на заданный угол определяется по углам разворота в циклах. Число последних устанавливается по углу разворота в цикле в зависимости от маневренности конструктивной базы или по машине, имеющей минимальную маневренность.

Третий способ маневрирования лавой имеет два варианта: выемка стружки переменной ширины от 0 до ширины захвата комбайна по всей длине лавы - циклический способ разворота; выемка стружки переменной ширины на участке одной ступени. В первом случае работы по развороту лавы производятся таким образом, что комбайн работает по длине лавы с переменным захватом. При этом став забойного конвейера у центра разворота не додвигается до угольного забоя на определенную величину. Секции крепи передвигаются вслед за проходом комбайна. В обратном направлении

происходит зачистка машинной дороги. На этом работы по выемке цикла заканчиваются.

Ступенчато-циклический способ разворота лавы осуществляется следующим образом. Забой лавы разделяют на определенное число ступеней. Полученные расчетом длина и число ступеней взаимно корректируются с учетом ширины секций крепи и зазоров между ними, а также количества секций. При ступенчато-циклическом способе разворота косая стружка снимается только лишь на длине одной ступени.

Возможны два варианта выемки стружек по всей длине лавы: уменьшающейся длины; нарастающей длины. Различие между этими двумя вариантами состоит в следующем. В первом случае выемка стружек начинается со стороны центра разворота, во втором случае - со стороны внешнего фланга разворачиваемого забоя лавы.

Разворот лавы на необходимый угол может производиться вокруг: неподвижного центра; перемещающегося центра. Подвижность центра реализуется за счет снятия между определенным количеством циклов по развороту одной или нескольких полных выемочных полос по всей длине лавы.

Первые два способа и циклический разворот лавы не нашли широкого применения для технологического маневрирования механизированной лавой. Это связано с большой трудоемкостью передвижки и разворота секций и из-за незначительных величин смещения. Для целей технологического маневрирования лавой используется последний способ разворота. Именно на него и будем ориентироваться при дальнейшем изложении материала.

Основополагающая процедура семиотического моделирования – создание **классификационной структуры технологических схем разворота** механизированного комплекса с учетом существенных признаков, позволяющей реализовать **принцип модульности технологии**. Выполнение исследований настоящего этапа производилось на основе БД отдельно по каждому из трех выделенных модульных технологических уровней. Этот этап исследования можно отнести к этапу **идентификации**, на котором выделяются наиболее общие понятия, характеризующие ПрО.

Признаки, характеризующие первый технологический уровень

Анализ технологических схем первого уровня (уровня выемочной полосы) показал, что все предлагаемые и реализованные схемы маневрирования в плоскости пласта базируются на существующих принципах. В полной мере представлены способы разворота за счет разноименного шага передвижки гидродомкратов и изменения фронта ориентированности. На практике реализовался не только ступенчато-циклический, но и циклический способ разворота. Применялись как односторонние схемы снятия косых стружек, так и

чередующиеся (поочередно от конвейерного и вентиляционного флангов лавы). Для схем первого технологического уровня удалось выявить лишь два существенных признака, касающихся средств выемки угля (рис.1), второй технологический уровень характеризуют 10 признаков (рис.2) и третий – 17 признаков (рис.3). Целью разработки классификации являлось приведение в порядок систематизации знаний о данной технологии, что служило основой построения формальной модели технологических знаний.

Принципами классификации являлись модульность и иерархичность соответственно уровням деления технологии. В процессе разработки классификации решались следующие задачи:

- определения и паспортизации форм и содержания технологических модулей (качественных параметров), что, по сути, является решением задачи выявления отношений между модулями одного уровня;
- определения и паспортизации количественных параметров технологических модулей и зависимостей для их расчета;
- разделения классификационных признаков на одно-, двух- и трехуровневые, что, по сути, является решением задачи выявления межуровневых отношений технологических модулей;
- ранжирование классификационных признаков по уровням действия;
- ранжирование количественных параметров по уровням действия и сложности. Необходимо отметить, что форма нижнего по уровню технологического модуля неоднозначно определяет форму высшего по уровню модуля.

Например, технологический модуль второго уровня, состоящий из одинаковых по форме, но различных по количественным параметрам модулей первого уровня, будет иметь произвольную форму. Причем в местах соединения различных по размерам модулей первого уровня появляются модули монтажа-демонтажа. Здесь появляется проблема определения количественных параметров, характеризующих технологические модули, и выделения тех из них, которые влияют на форму и содержание модулей. И наоборот, технологический модуль разворота второго уровня может состоять из различных по форме (как прямоугольных, так и другого вида) технологических модулей первого уровня.

Таким образом, отнесение технологической схемы к какому-либо из уровней наделяет ее определенным содержанием и формой, требуя при этом удовлетворения определенным условиям. Такое деление технологии дает возможность относительного абстрагирования элемента технологической схемы и решения локальной задачи по выбору из предоставляемого уровнем набора технологических способов и форм конкретных значений.

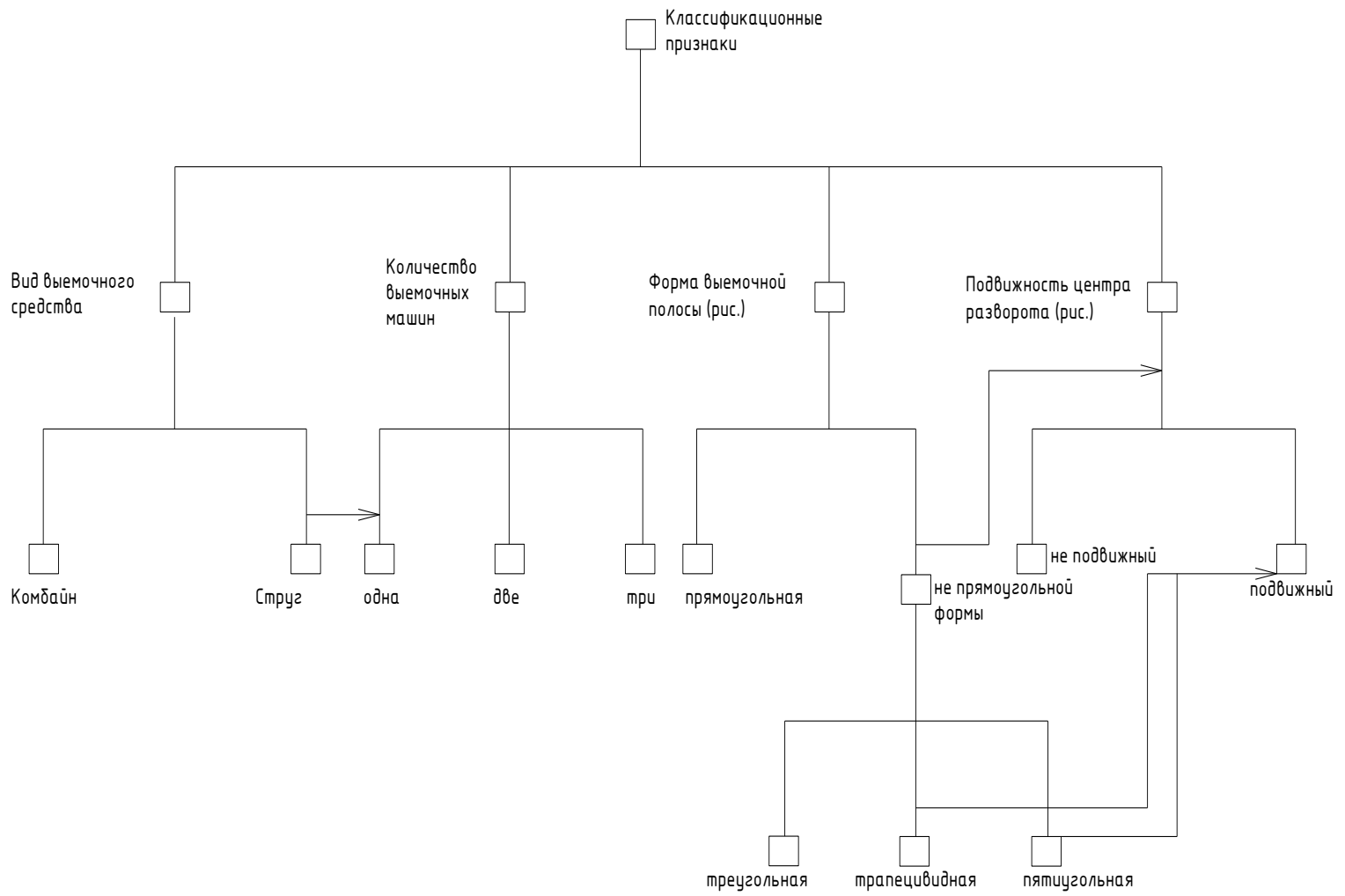


Рисунок 1 - Классификация технологических схем первого уровня

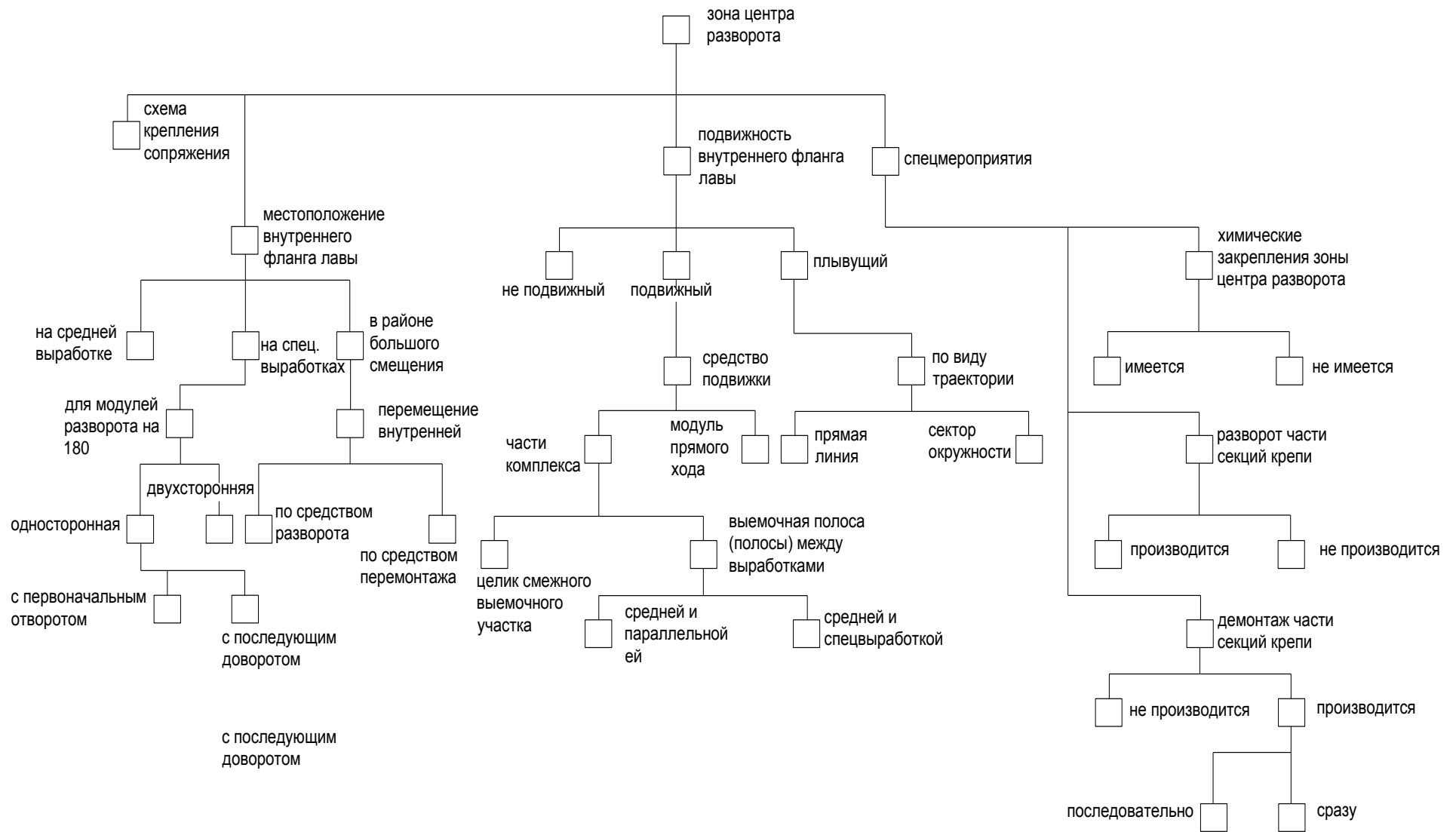


Рисунок 2 – Фрагмент классификации технологических схем второго уровня по признакам зоны центра разворота

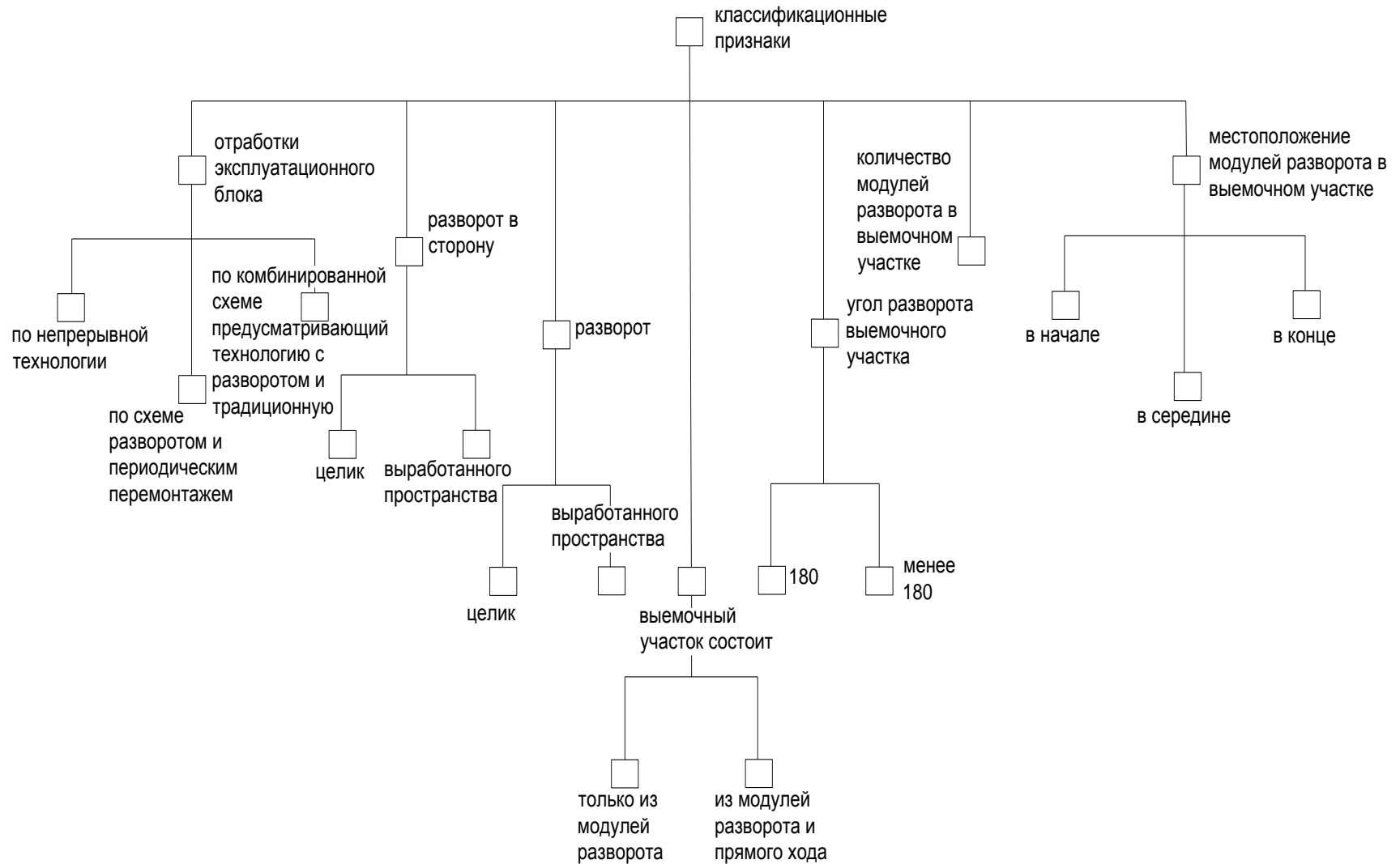


Рисунок 3 - Классификация технологических схем третьего уровня

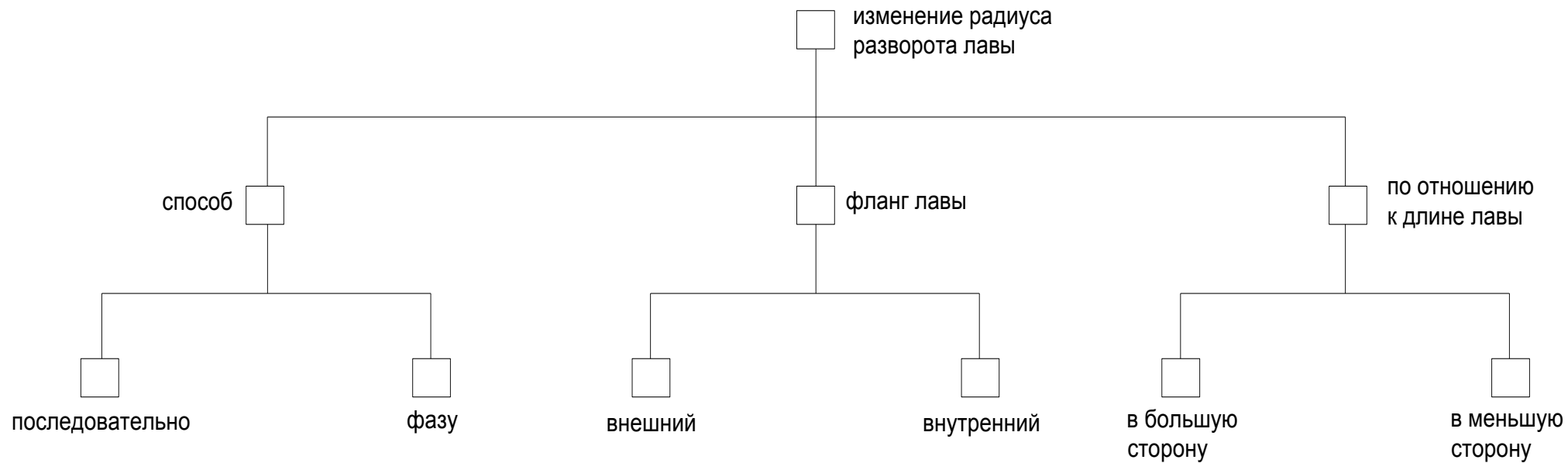


Рисунок 4 - Классификационное дерево признаков схем уменьшения потерь угля в угольных целиках выемочного поля

Необходимо отметить, что схема верхнего по иерархии уровня может накладывать определенные ограничения на содержание и форму схемы нижнего уровня. Например, наличие с одной из сторон выемочного участка выработанного пространства (третий технологический уровень) не позволяет применить схему разворота лавы (второй уровень), предусматривающую выход маневрирующим флангом лавы за пределы участка. Такие ограничения позволяют сокращать пространство поиска для задачи принятия решения. Для выявления таких ограничений необходимо разделить классификационные признаки на: одно-, двух- и трехуровневые.

Посредством комбинаторных операций с перечисленными признаками получены возможные схемы уменьшения потерь угля. Причем выделение принципа уменьшения потерь угля с его классификационными признаками дает возможность разработки формальной модели генерации схем уменьшения потерь угля для конкретных условий проектирования. Набор существующих схем уменьшения потерь угля формирует еще одну классификацию по степени извлечения полезного ископаемого в угловых целиках выемочного поля. Выемка может быть (рис. 4): - полной; - до экономически целесообразных величин; - без снижения потерь, когда не применяются технологические приемы по уменьшению потерь угля.

Согласно поставленной цели и сформулированным задачам исследований задачу создания ЭС «РАЗВОРОТ МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА» можно разбить на пять сильно взаимодействующих и перекрывающих друг друга этапов: идентификации, концептуализации, формализации, реализации, верификации. На рис. 5 показано, как эти этапы влияют друг на друга.

На стадии **концептуализации** решается вопрос о гранулярности, т. е. в какой степени подробности необходимо рассматривать поставленные задачи. На этом этапе в рамках гибкой технологии комплексно-механизированной выемки угля вся база знаний логически разбивается на три составляющие: знания о технологии разворота очистного забоя; знания о факторах, влияющих на принятие решения в рамках синтеза технологической схемы; знания, обеспечивающие процесс принятия решения.

Для этапа **формализации** привлекаются семантические сети, фреймы и продукционные системы, а также их комбинации.. Этапам концептуализации и формализации в традиционном подходе соответствует этап разработки целевой функции математической модели.

Этап **реализации** – это проверка результатов проведенных исследований и принятых на их основе проектных решений. На этапе реализации формализованные знания записываются в работающую систему научно-

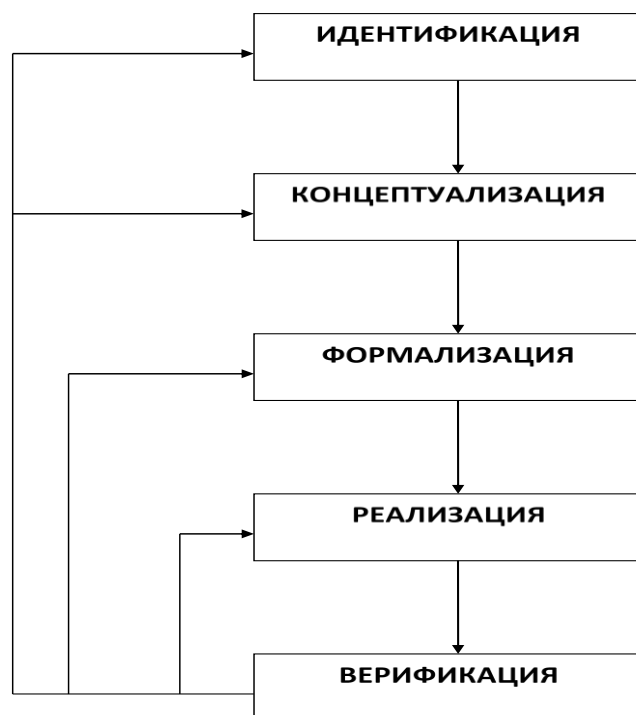


Рисунок 5 - Этапы создания ЭС «РАЗВОРОТ МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА»

методического обеспечения гибких технологий угледобычи с разворотом механизированных комплексов. Разработка системы требует содержания, формы и согласования. Этапу реализации в традиционном подходе соответствуют этапы алгоритмизации и программирования.

Этап **верификации** заключается в оценивании качества работы и полезности научно-методического обеспечения и его пересмотр, если это необходимо. Верификация является основным способом проверки комплекса проведенных исследований по постановке задачи, организации знаний, их формализации и реализации.

Очень важен тот факт, что при верификации выявляются не только ошибки, но также облегчается их поиск и целенаправленно ставится задача по их применению или проведению дополнительных исследований. Процесс поиска ошибки осуществляется с помощью подсистемы объяснения, которая помогает ее локализовать. Это позволяет точнее поставить диагноз "плохой" работы системы и более точно выявить ошибку.

Этапу верификации в традиционном подходе соответствует этап апробации научно-методического обеспечения.

Гибкая технология - модульная технология. Основная категория гибкой технологии - модуль. Модули делятся на ситуативные и технологические.

Технологические модули решают сложившиеся ситуации (ситуативные модули). Каждая конкретная ситуация есть набор факторов, влияющих на принятие решения с принятыми конкретными значениями. Знания о ситуациях (ситуативных модулях) являются знаниями о факторах, влияющих на принятие решения.

Технологические модули суть технологические схемы, решающие определенные ситуации. В гибкой технологии принято уровневое деление технологических схем (модулей). Выделяются технологические схемы уровней выемочной полосы, прирезки и выемочного участка.

Под технологическим модулем уровня прирезки понимается часть выемочного участка, характеризующаяся относительным постоянством режима ведения работ. Технологические модули верхнего уровня собираются из технологических модулей нижних уровней.

Причем отношения между модулями различных уровней носят эмерджентный характер. Таким образом, перестройка последовательности расположения модулей или изменения их состава дает технологический модуль следующего иерархического уровня, рассматриваемый как уникальное проектное решение.

Необходимыми элементами процесса проектирования технологических схем очистных работ является оценка (распознавание) ситуации, генерация альтернативных вариантов проектных решений, их сравнение и выбор предпочтительного. Это стадии проектирования базируются на знаниях о ситуативных и технологических модулях и знаниях о процессе принятия решения.

Разработанная БД построена на уровневых принципах деления технологических схем (модулей). В настоящей работе принципы гибкой технологии конкретизируются по отношению к схемам маневрирования комплексом в плоскости пласта.

При этом любую технологическую схему отработки выемочного участка комплексом очистного оборудования можно рассматривать как систему, имеющую следующие элементы, находящиеся в системной взаимосвязи: очистную выработку; подготовительные выработки; сопряжения очистной выработки с подготовительными.

Динамика изменения формы, направления перемещения и количественных показателей этой системы задается: по отношению к эксплуатационному блоку - технологическим модулем (при непрерывной обработке) или технологическими модулями выемочного участка; по отношению к выемочному участку - технологическими модулями прирезок; по отношению к прирезке - технологическими модулями выемочной полосы. Знания о факторах,

влияющих на принятие решения (рис.6) участвуют в разрабатываемой модели в полном объеме.

Величина значения влияния устанавливается экспертом. Эти значения указываются в шкале $[0; 100]$, где 0 - абсолютно не влияет значение фактора на принятие решения, 100 - значение фактора оказывает максимально возможное влияние на решение. Используя промежуточные значения шкалы эксперт указывает степень влияния значения фактора на принятия решения (таблицы 1,2).

В заключении определяется структурная совместимость элементов технологических схем. Для этих целей составляется таблица 3. На перекрестке двух технологических элементов эксперт указывает насколько желательна попарная совместимость элементов технологических схем. Оценка назначается из того же интервала $[-100; 100]$. Окончательные экспертные оценки формируются после достаточного количества итерационных циклов по их изменению, пока окончательное решения системы не будут удовлетворять эксперта.

Ранее в работе отмечалось, что подобную организационную структуру эффективно формализовать с помощью фреймовых семиотических моделей. При этом фрейм имеет имя, набор слотов с возможными значениями и при необходимости процедуру, которая инициализируется при определенных условиях. Переход от дерева технологических решений к фреймовой сети осуществляется следующим образом. Корень дерева становится именем фрейма первого уровня.

Элементы, которые непосредственно связаны с корнем дерева отношением "часть-целое" становятся именами слотов.

Элементы более нижнего уровня связанные с элементами первого уровня отношением "часть-целое" или "является" становятся значениями слотов.

Если в свою очередь значения слотов имеют отношения с более нижними элементами дерева, то такие значения слотов становятся именами фрейма второго уровня и т.д. Как видно из описания хорошо организованная древовидная структура очень просто формализуется во фреймовой модели представления знаний.

В процедурах, образующих процедуральную составляющую фреймовой сети заложены знания о структурной совместимости технологических элементов. Конкретные элементы, из которых будут генерироваться возможные технологические схемы поступают из базы правил системы со своими коэффициентами адаптивности. В данном случае формализованные фреймы рассматриваются как семантический блок или модуль семиотической модели разворота механизированного комплекса.

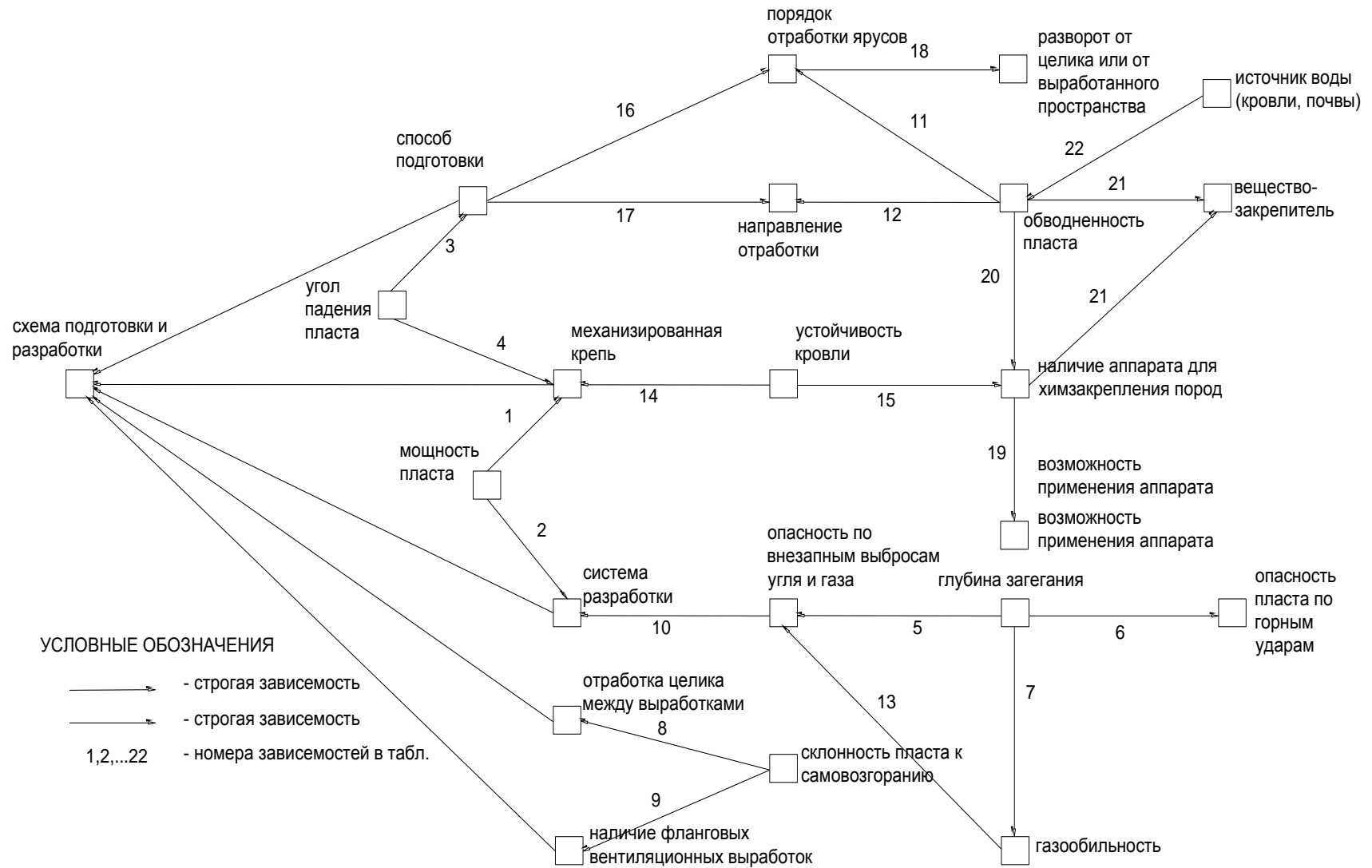


Рисунок 6 - Структура зависимостей, реализующихся на подмножестве факторов

Таблица 1 - Фрагмент таблицы выявления экспертных оценок применимости технологии

Классы факторов	Факторы класса	Шкалы факторов	Оценка влияния значений факторов на применимость технологии	Примечание (выбор предпочтительного варианта)
1.Геологические	Угол падения пласта, град.	До 18° Более 18°	60 100	Технология применима только на пластах с углами падения до 18°
2.Технологические	Схема подготовки	Панельная Погоризонтная Этажная	55 60 10	Технология чаще реализуется при панельной и погоризонтной подготовках, потому что...

Таблица 2 - Фрагмент таблицы выявления экспертных оценок выбора технологического решения

Классы факторов	Факторы класса	Шкала факторов	Оценка влияния значений факторов на выбор технологического решения (элементов технологического решения)	Примечание
1.Геологические	1.Угол падения пласта, град	0-6	0	-
		6-12	0	
		12-18	-10	
		Более 18°	30	
2.Технологические	Схема подготовки	Панельная Погоризонтная Этажная	40 70 -100	-

Таблица 2 - Структурная совместимость элементов технологических схем

			swin - c								gate		swin - t							
			placex			replace		small	cons				ncoal							
			tgx	spx	bsx	pc	nc	mdy	mdn	xzy	xzn	ans ₁	ans ₂	c	m ₃	m ₂	cb	ce	m1	
SWIN -	placex	tgx				-20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-100	+	-100	-100	
		spx				+	-15	-5	+	-10	+	-30	+	+	+	-100	+	-100	-100	
		bsx				-50	+	+	+	+	+	+	+	-100	-100	+	-100	+	+	
	replace	pc							-25	+	-50	+	+	+	+	-50	+	-50	-50	
		nc							+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	small	mdy									-25	+	+	+	+	+	+	+	+	
		mdn									+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	cons	xzy											-50	+	+	+	-50	+	-50	-50
		xzn											+	+	+	+	+	+	+	
gate		ans ₁												+	+	+	+	+	+	
		ans ₂													+	+	+	+	+	+

В нашем случае под фреймом будем понимать структуру представления проектных технологических решений разворота вида:

$$\{n, (v_1, g_1, p_1), (v_2, g_2, p_2), \dots, (v_k, g_k, p_k)\}, \quad (1)$$

где n - имя фрейма;

v_j - имя слота;

g_j - значение слота;

p_j - процедура моделирования.

Запись вида $SCH(n_i) = (n_i, \dots, \langle V_j \rangle DOM(n_i; V_j), \dots), J=1, \dots, Ni, n_i \in \{n, \dots, n\}$ называется схемой фрейма,

где T - количество фреймов в модели;

V_j - имя j - слота фрейма n_i ;

$DOM(n_i, V_j)$ - множество, называемое доменом, допустимых значений слота V_j фрейма n_i ;

Ni - сила, или арность фрейма.

Заметим, что работа синтеза фреймов, составляющих фреймовую сеть, должна учитывать знания о структурной совместимости технологических элементов схем. Под структурной совместимостью будем понимать возможность и эффективность совместного присутствия в рамках одной технологической схемы двух технологических элементов.

Структурная совместимость определяется: экстенционалами фреймов; силой связи, существующей в фактах экстенционалов фреймов; экстенсионалом фреймовой сети.

Опираясь на описанную формальную модель, задачу проектирования технологической схемы разворота можно сформулировать как задачу нахождения рационального (оптимального) сочетания структурных элементов при заданных условиях проектирования.

Интеллектуальная система, знания которой формализованы в продукционных правилах (продукционная система) формально имеет следующий вид:

$$PS = \{F, P, I\} \quad (2)$$

где F - рабочая память системы (БД), содержащая текущие данные (элементы рабочей памяти);

P - БЗ, содержащая множество продукционных правил выбора решений;

I - интерпретатор (решатель), реализующий процедуры вывода.

Структура предлагаемой ЭС приводится на рис.7.

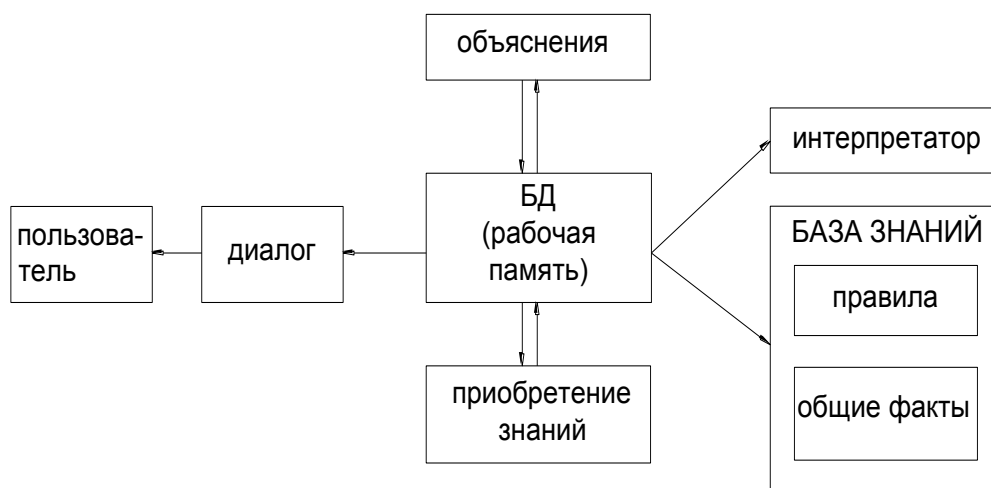


Рисунок 7 - Структура ЭС

Общая схема функционирования управляющей компоненты (интерпретатора) ЭС приведена на рис.8. Задача интерпретатора состоит в том, чтобы на основании текущего состояния рабочей памяти (БД) определить какой модуль (правило) и с какими данными будет работать, т.е. вырабатывать на очередном цикле работы управляющее и информационное взаимодействие модулей (правил). Интерпретатор может быть представлен четверкой

$$I = \{V, S, R, W\}, \quad (3)$$

где **V**- процесс выбора;

S - процесс сопоставления;

R - процесс разрешения конфликтов;

W-процесс, осуществляющий выполнение выбранного правила (т.е. выполнение действий указанных в правой части правила).

Цикл работы интерпретатора приводится на рис.9.



Рисунок 8 - Схема функционирования управляющей компоненты ЭС

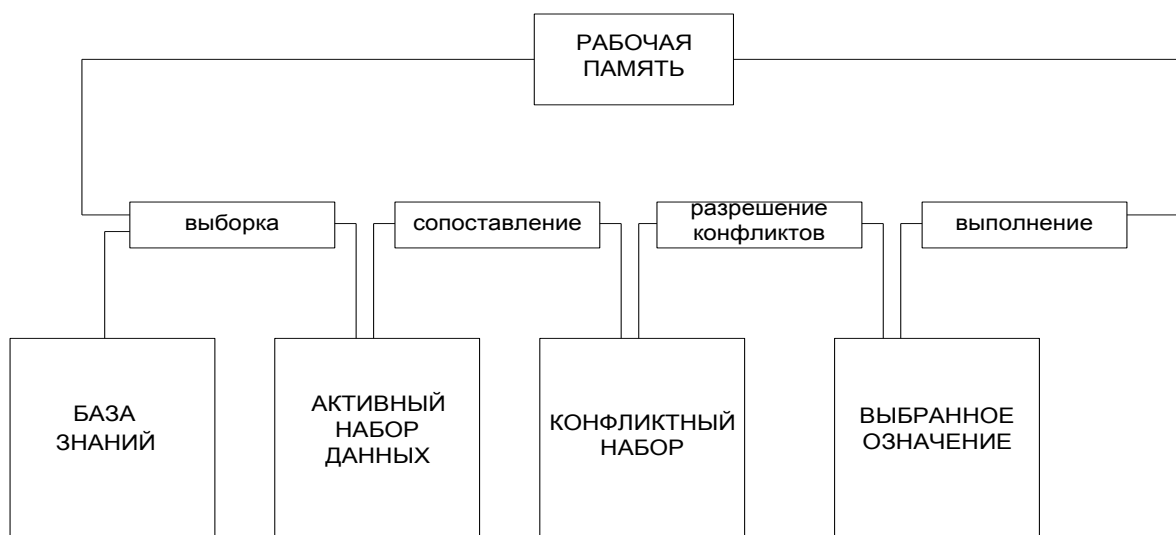


Рисунок 9 - Цикл работы интерпретатора

Для программной реализации разработанной модели принята среда ИИ "Интер - эксперт". Она имеет необходимые параметры, обеспечивающие реализацию рассматриваемой задачи.

Синтез технологических схем разворота выбираемых системой производится под управлением отдельного набора правил. Здесь производится генерация технологических схем с учетом структурной и ситуативной совместимости элементов. Ситуативность задается в дереве контекстов по ответам пользователя на запросы системы.

База правил является программной реализацией выявленных зависимостей между факторами, влияющими на принятие решения и технологическими решениями. Исходя из соображений удобства отладки достаточно большого набора правил (около 250) все правила разбиты на пять групп (подпространств) по элементам технологической схемы разворота. В каждом подпространстве производится генерация технологических схем из выбранных системой элементов.

В качестве ограничений семиотической модели выбора технологических схем ведения очистных работ с разворотом механизированных комплексов выступают:

- горно-геологические условия горного отвода рассматриваемой шахты, а именно: количество пластов в свите с указанием находящихся в отработке; угол падения пластов; глубина разработки; мощность пласта; обводненность; газообильность; опасность пласта по горным ударам и внезапным выбросам; склонность пласта к самовозгоранию; строение пласта; гипсометрия, наличие нарушений различного генезиса;

– производственно-технические условия: - схемы вскрытия и подготовки шахтных и выемочных полей; применяемые системы разработки; применяемое очистное оборудование; применяемый транспорт на участках и по главным выработкам; геомеханическая характеристика пластов (по устойчивости и тяжести проявлений горного давления); характеристика почвы пластов.

На следующем шаге реализации алгоритма выявляются зависимости между горно-геологическими, технологическими, техническими условиями и возможностью применения рассматриваемого вида технологии. По сути устанавливается область применения данного вида технологии на основе экспертных знаний.

В данной работе предлагается разбивать факторы на следующие классы: геологические; технологические; технические; геомеханические; техногенные; производственные; организационные.

К классу геологических относятся следующие факторы: глубина разработки; угол падения пласта; мощность пласта; обводненность; опасность по горным ударам и внезапным выбросам; склонность пласта к самовозгоранию; крепость угля; гипсометрия почвы пласта; строение пласта; строение кровли; строение почвы; геологическая нарушенность; системы трещин и др.

К классу технологических можно относить такие факторы: способ подготовки; система разработки; направление отработки относительно линии простирания пласта; параметры выемочного участка; количество ступеней транспорта на участке; ступенчатость вентиляционной схемы участка; уровень механизации возможный при данном виде технологии; объем ручных работ; способ охраны подготовительных выработок; возможные схемы крепления сопряжений; необходимость проведения горных подготовительных выработок; необходимая конфигурация подготовительных выработок; расположение очистного забоя по отношению к системам трещин; объем подготовительных работ; степень извлечения угля; безопасность и комфортность условий работы; охрана окружающей среды; способ управления кровлей; обеспечиваемая нагрузка на очистной забой.

К техническим факторам относятся: тип забойного оборудования, а именно тип крепи, забойного конвейера, комбайна, крепи сопряжения; тип перегружатели; тип участкового транспорта; средства механизированной доставки материалов; рабочий ресурс забойных механизмов; рабочий ресурс средств транспорта.

К геомеханическим факторам можно отнести: тип кровли по устойчивости; тип кровли по тяжести проявлений; прочность почвы;

склонность почвы к пучению; шаг обрушения непосредственной кровли; шаг обрушения основной кровли; отжим угля.

К техногенным факторам отнесем: влияние подработки; влияние надработки; влияние зон ПГД; влияние выработанного пространства; необходимость перехода выработок; необходимость перехода геологоразведочных скважин.

К организационным факторам отнесем: наличие необходимого оборудования и материалов для реализации данного вида технологии; наличие необходимых трудовых ресурсов; наличие необходимого оборудования для выполнения вспомогательных работ, которые требует данный вид технологии (бурильное оборудование, аппарат для химзакрепления пород и т.п.); наличие времени для проведения необходимых подготовительных работ; наличие свободной проходческой техники; квалификация бригады ГРОЗ; наличие опыта у ИТР по реализации этой технологии и др.

К производственным факторам относится возможность снижения или повышения добычи в определенные промежутки времени и др.

С учетом этого были разработаны и написаны код и файл демонстрационного прототипа ЭС «РАЗВОРОТ ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА» в среде интегрированного ППП Интер - эксперт (GURU) (фрагмент с набором правил), который был апробирован в условиях шахты «Талдинская - Западная 1».

Для этой шахты были синтезированы четыре технологические схемы, повышающие полноту извлечения запасов, которые представлены на рис.10. Два выемочных столба 1 и 2 нарезаются от людского ходка 3, бремсберга 4 с помощью откаточного 5 и вентиляционных 6 и 7 штреков.

Перед отработкой или в процессе отработки выемочного столба 1 в конце его, по дуге радиусом меньшим, чем общая длина очистного забоя и определяем на основе технико-экономического обоснования проводят обводные выработки 8 и 9. Отработку выемочного столба 1 ведут от разрезной печи 10, в которой монтируют механизированный комплекс II.

При отработке столба 1 при ведении комплекса в положение АВ, находящемся от границы вынимаемых запасов на расстоянии, равном радиусу разворота, разворачивают часть комплекса ВС, расположенную у внешнего фланга очистного забоя таким образом; чтобы один ее край двигался по дугообразной выработке 8, а второй оставался на месте в точке С.

Первый этап разворота заканчивается при принятии внешним флангом комплекса положения СД в выемочном столбе 12, расположенном вдоль вентиляционного бремсберга 13, то есть оказывается развернутым на 90° и т.д.

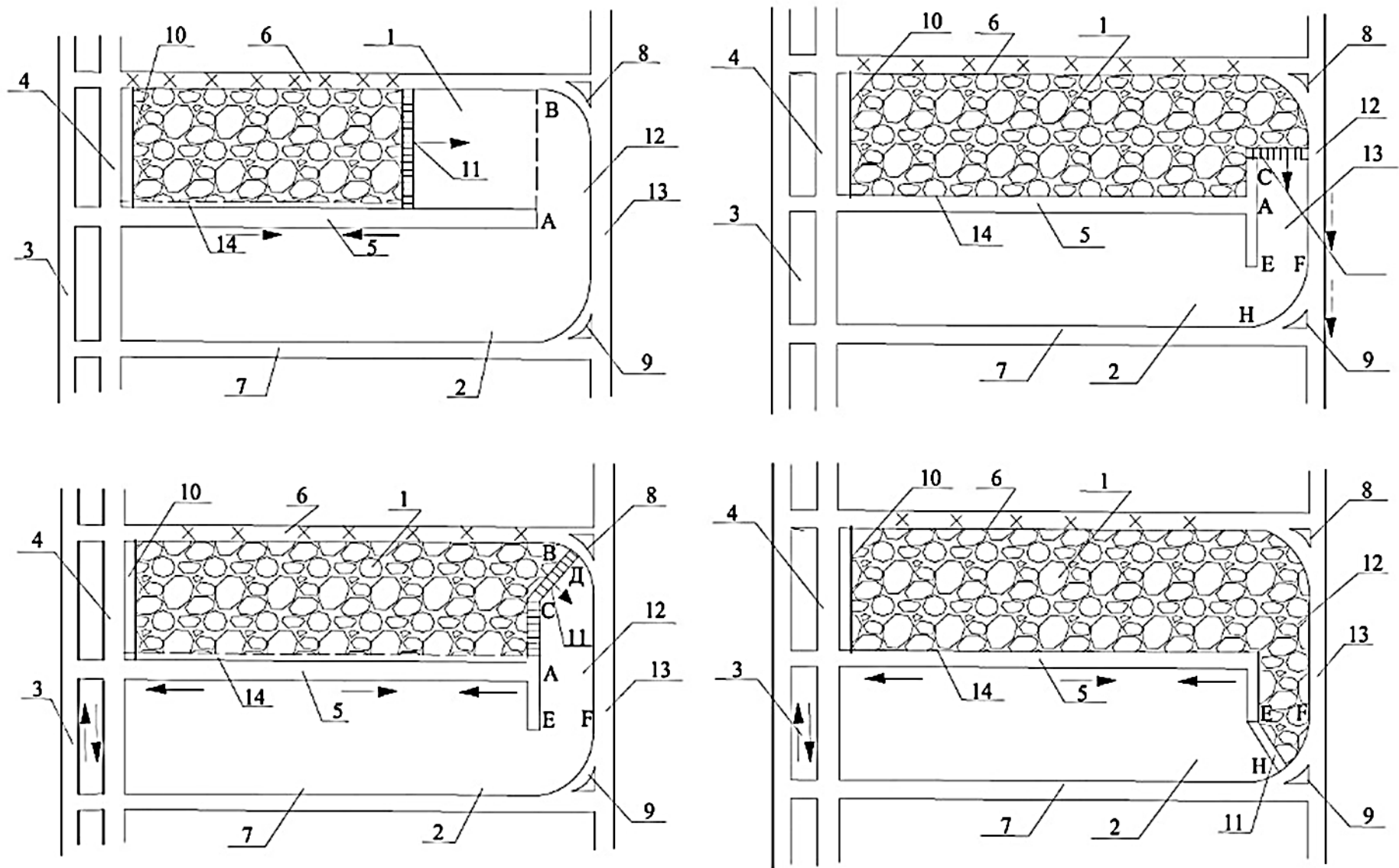
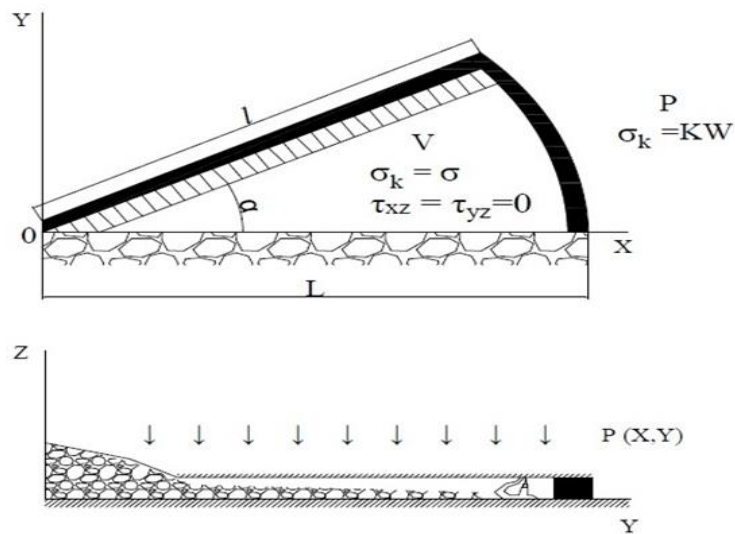


Рисунок 10 - Варианты технологических схем разворота, увеличивающих полноту извлечения запасов

Решение поставленной задачи по определению параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород у фланга очистного забоя при его движении по криволинейной траектории предполагает решение объемной задачи теории упругости для полупространства на упругом основании, что предполагает использование численных методов и представления в виде итерационного процесса. Расчетная схема представлена на рис.11.

Расчетная схема к определению напряжений в угольном массиве



Расчетная схема к численному методу

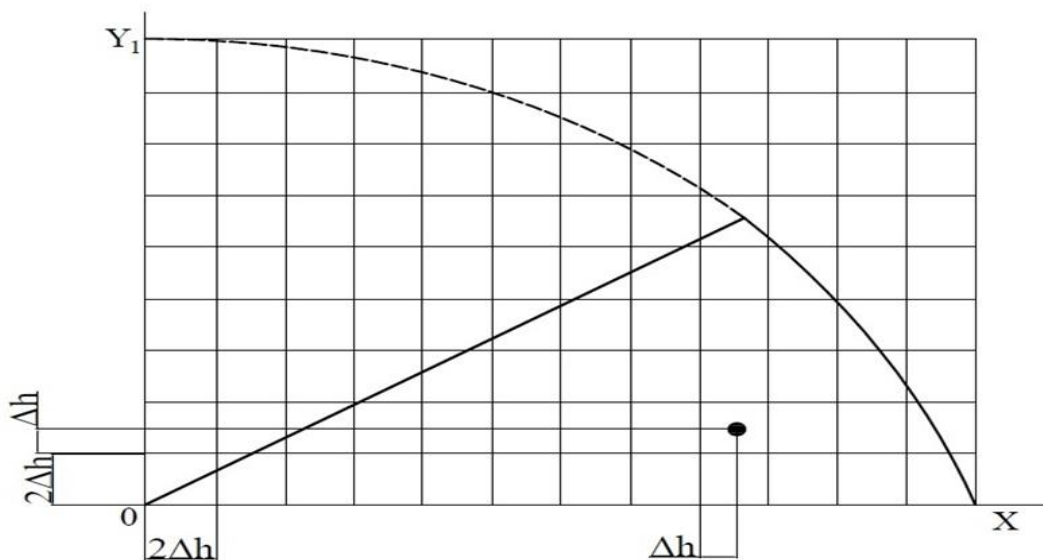


Рисунок 11- Расчетная схема к определению напряжений в угольном массиве и к численному методу

Для реализации итерационного процесса использовалась программа «POWER», которая разработана применительно к условиям выдержанных по мощности пологих угольных пластов. Она позволяет вычислять смещения консоли пород у фланга лавы.

Исходными данными для программы «POWER» являются длина лавы (L), шаг обрушения основной кровли по обводной выработке (l), мощность отдельных породных слоев непосредственной и основной кровли (m_i), их модуль упругости (E_i) и коэффициент Пуассона (V_i).

Для обеспечения оптимального использования памяти ЭВМ и сокращения времени вычислений вводятся: частота разбиения области P на элементарные квадраты (N), относительная точность вычислений ($E9$) и максимальное количество итераций при вычислении соответственно специальных функций в ядре интегрирования ($Q1$) и вспомогательной функции ($Q2$).

Программа рассчитывает коэффициент жесткости пород кровли x , формирует массив значений функции B в области P , вычисляет смещения пород кровли в области P . Далее программа работает в диалоговом режиме, запрашивая координаты точек, в которых необходимо произвести расчет напряжений B_z .

Смещения выдаются на печать как матрица треугольной формы, напряжения – с указанием координат, (x_i, y_i) точки, в которой они рассчитывались.

Укрупненная блок-схема алгоритма разработанной программы приведена на рис.12. Таким образом, реализация позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать оптимальную длину лавы при различных шагах обрушения пород кровли.

Расчет напряженно-деформированного состояния массива горных пород, окружающих зону «плавающего центра» при применении технологических схем очистных работ при движении забоя по криволинейной траектории выполнен на основании пакета программ SVITAC, KOPKON, KOPWER, LAVA, реализующих метод конечных элементов (рис.13).

Установлены закономерности проявлений горного давления при развороте комплексов. Секции крепи в процессе разворота загружаются усилием на 20-40% ниже, чем на прямолинейном участке, рис.14.

Графики смещения пород непосредственной и основной кровли выработке «плавающего центра» в зависимости от угла поворота, полученные методом конечных элементов, приведены на рис.15.

Укрупненная блок-схема программы

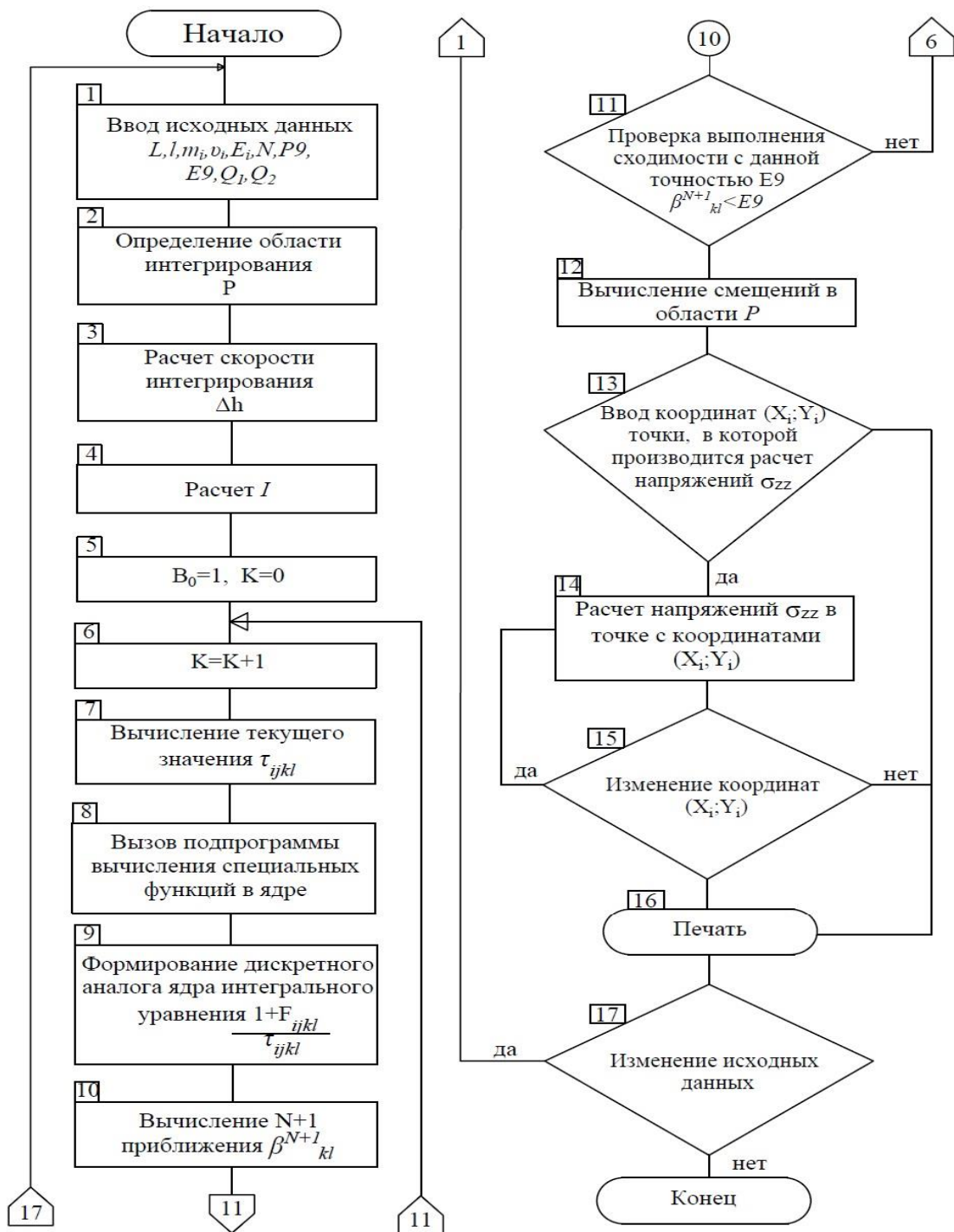


Рисунок 12 - Укрупненная блок-схема алгоритма решения пространственной задачи



Рисунок 13 - Расчетная схема МКЭ для определения нагрузок на крепь в центре разворота

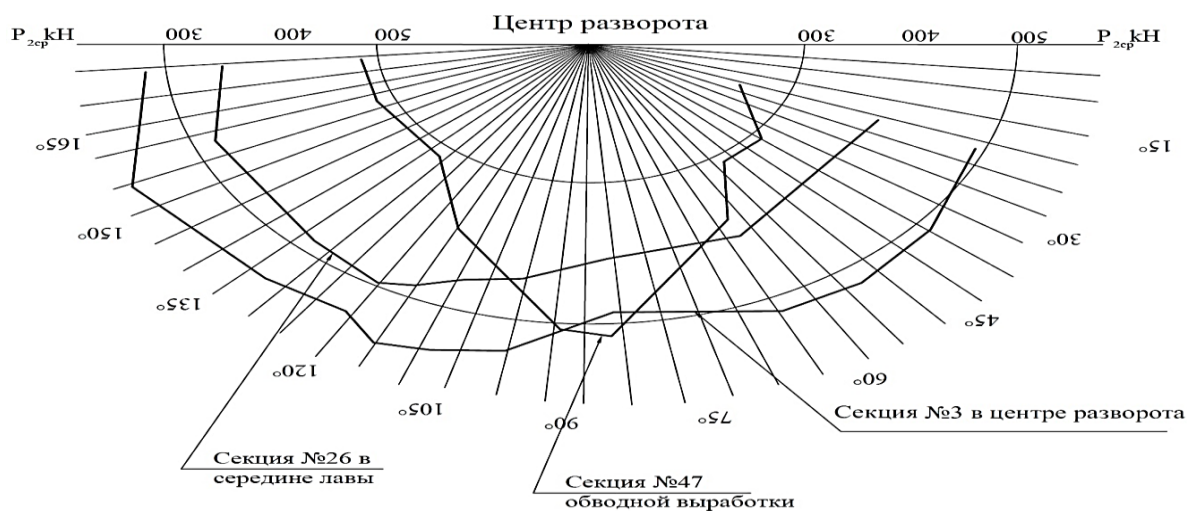


Рисунок 14 - Нагрузки на крепь очистного забоя

Смещение породных слоев в выработку "плавающего центра" в зависимости от угла поворота

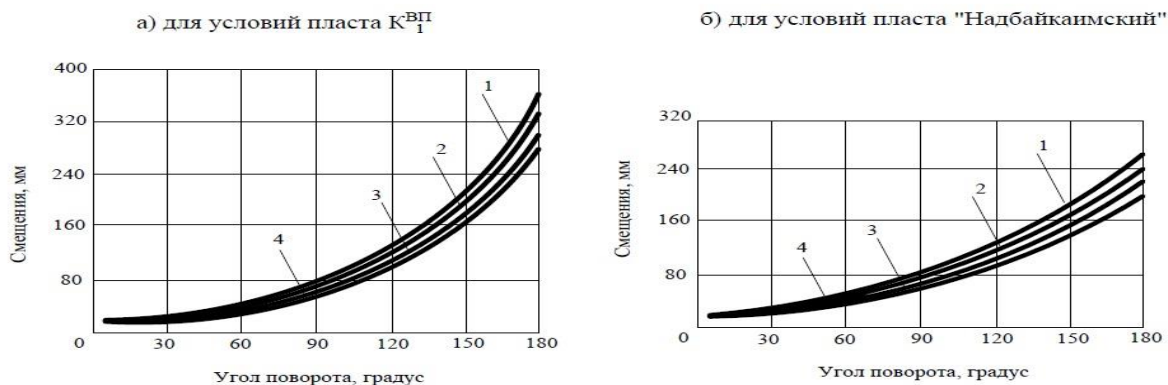


Рисунок 15 - Графики смещения пород непосредственной и основной кровли выработке «плавающего центра» в зависимости от угла поворота, полученные методом конечных элементов

Длительное нахождение центральной секции на одном месте, а также "топтание" ею кровли приводит к повышению горного давления в 1,5-1,9 раза. При развороте комплекса происходит постоянное перераспределение горного давления по длине лавы, что связано с шагом обрушения основной кровли. Экспериментально выявлено влияние угла поворота на шаг обрушения основной кровли, который уменьшается с возрастанием угла поворота с 44-52 м до 20 м у обводной выработки, с 24 м до 7-10 м в середине лавы и составляет 4-7 м в центре разворота.

Максимальное горное давление при развороте имеет место при совпадении линии забоя с направлением трещин естественного кливажа. Увеличение радиуса «плавающего центра» вызывает рост коэффициента концентрации напряжений в углепородном массиве окружающем выработку «плавающего центра», а также рост смещений пород кровли.

Так увеличение радиуса «плавающего центра» до 3,5 м, при повороте на 180°, вызывает рост коэффициента концентрации напряжений до $3,8 \div 3,9$; смещение кровли до 38 мм.

Анализ экспериментальных исследований распределения нагрузок на крепь очистного забоя при развороте выявил следующие закономерности. Полученные зависимости распределения нагрузок на крепь очистного забоя (рис.15) при реализации разворота механизированного комплекса КМ-81 на шахте "Новокузнецкая" показывают, что максимальные нагрузки на протяжении всего разворота испытывали секции, расположенные в центре разворота.

Средний уровень нагрузок на секцию № 3 составлял 500 кН. Секция, расположенная в середине лавы, испытывала нагрузки в 1,2-1,3 раза меньше (400 кН).

Следует отметить, что нагружение секций в центре разворота и в середине лавы носило стабильный характер на протяжении всего разворота. Средняя нагрузка на секцию, расположенную около обводной выработки, была ниже нагрузки, которая испытывала центральная секция в 1,5-1,9 раза. Однако, при повороте лавы на угол 70-115°, в связи с зависанием консоли основной кровли, происходило нагружение секции № 47 до уровня 500 кН, затем нагрузка вновь падала до 300-360 кН.

Таким образом, длительное нахождение центральной секции в одном месте, а также «топтание» кровли приводит к повышению горного давления в 1,5-1,9

Изложенное позволяет сделать вывод, что разработанные методические положения и полученные результаты рекомендуется использовать при составлении календарных планов отработки запасов на

долгосрочную перспективу и краткосрочном планировании развития горных работ в крупных угледобывающих компаниях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена крупная научная проблема развития методологии обоснования параметров проектирования гибких технологий отработки запасов выемочных участков угольных шахт, повышающих полноту извлечения запасов на основе семиотического моделирования, имеющей существенное значение для угледобывающей отрасли России и развитию системы знаний по научным специальностям 25.00.21 «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем» и 25.00.22 «Геотехнология – открытая, подземная, строительная».

Основные научные выводы и результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Установлено, что постоянное усложнение горно-геологических и горнотехнических условий отработки запасов угольных месторождений обусловило увеличение многообразия технологических решений, что сформировало проблему выбора рационального варианта и привело к принципам модульности и иерархичности при принятии проектных решений. На основе теоретических обобщений направлений развития подземной угледобычи доказано, что повышение полноты извлечения угольных запасов и ее интенсификация в условиях разработки пологих пластов средней мощности достигается внедрением технологических схем с разворотом механизированных комплексов.

2. Доказано, что уровень горно-технологических задач в настоящее время не позволяет объективно и надежно формализовать процесс их решения на основе традиционных оптимизационных методов, что является основной причиной развития методологии выбора и обоснования проектных технологических решений: - описать формальным образом процесс их решения возможно в рамках инженерии знаний, с использованием ситуационно-семиотического моделирования.

3. Установлено, что задача выбора технологической схемы разворота механизированной лавы является презентативной технологической задачей, а значит ее решение в рамках семиотической инженерии знаний позволит, обобщив результаты исследований, разработать методические рекомендации по формализации процесса решения широкого круга горно-технологических задач. Разработаны классификации технологических схем отработки запасов выемочных полей и эксплуатационных блоков с

разворотом механизированных комплексов. В качестве основных классификационных признаков рассматриваются: вид забоя, способ поддержания призабойного пространства, схемы передвижки, способы управления и другие.

4. Сформулированы принципы и разработана методика конструирования технологических схем непрерывной отработки выемочных столбов без разрыва во времени и пространстве процессов угледобычи при переводе очистного комплекса в смежный столб, определения параметров непрерывной технологии, позволяющие выбрать длину смещения центра разворота на границе выемочного столба для снижения потерь угля, рассчитать траекторию движения центральных секций для повышения устойчивости кровли в центре разворота.

5. Выбраны и обоснованы конечные модели и целевые функции процесса принятия решения по выбору технологических схем с разворотом механизированных комплексов. Разработаны методические рекомендации по структуризации знаний, участвующих в процессе принятия технологических решений. Формальным образом описан процесс принятия решения с последующим программированием разработанной формальной модели в виде ЭС "РАЗВОРОТ МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА" в среде интегрированного ППП «ИНТЕРЭКСПЕРТ» (GURU), в результате чего компетентность принимаемых решений и эффективность работы системы постоянно улучшались и доведены до приемлемого уровня.

6. Разработаны блок-схема и алгоритм решения задачи расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород у «плавающего центра» технологической схемы разворота механизированного комплекса на основе использования усовершенствованного метода конечных элементов.

7. На основании теоретических исследований и использования метода конечных элементов выполнено геомеханическое обоснование использования технологических схем ведения очистных работ с криволинейной траекторией движения очистного забоя. Установлены закономерности изменения геомеханических процессов пород кровли при реализации технологических схем с разворотом механизированных комплексов.

8. Основные научные и практические результаты диссертации были использованы и внедрены при проработке проектных решений технологической схемы разворота механизированного комплекса в условиях шахты «Галдинская – Западная 1». Значительный экономический эффект получен в результате исключения из технологического процесса отработки

запасов выемочного поля монтажно-демонтажных работ за счет движения механизированного комплекса по криволинейной траектории и сокращения потерь угля на концевых участках, что обеспечивает повышение полноты извлечения угольных запасов.

9. Разработанные методические положения и результаты исследований рекомендуется использовать при разработке календарных планов отработки запасов на долгосрочную перспективу и краткосрочном планировании развития горных работ на угольных шахтах АО «СУЭК».

**Основные научные и практические результаты диссертации
опубликованы в следующих работах автора:**

в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1.Козлов В.В. Методика исследования автоматизированного решения разворота очистного забоя // Уголь. 2010. №2. С.42-43.

2.Козлов В.В. Анализ существующих классификаций технологических схем с разворотом лавы //Уголь. 2010. №3. С. 64-65.

3.Козлов В.В. Анализ проблемы применения инженерных знаний для решения технологических задач //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.5-10.

4.Козлов В.В. Моделирование гибких технологических систем агрегатной выемки угля //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.11-16.

5.Козлов В.В. Анализ опыта разработки интеллектуальных технологических систем //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.17-24.

6.Козлов В.В. Исследование структур знаний процесса принятия технологических решений механизированной выемки угля //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.25-30.

7.Козлов В.В. Обоснование факторов применения экспертной системы принятия решений для оптимизации разворота механизированного забоя агрегатной выемки угля //Горный информационно-аналитический бюллетень.

Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.31-35.

8.Козлов В.В. Основные этапы разработки экспертной системы для оптимизации разворота механизированных комплексов угля //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.36-42.

9. Козлов В.В. Организация знаний процесса принятия технологических решений маневрирования механизированным комплексом в плоскости пласта //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.43-48.

10.Козлов В.В. Выбор инструментального средства для разработки экспертной системы по оптимизации разворота механизированного комплекса //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.49-52.

11. Козлов В.В. Применимость экспертной системы для решения задачи автоматизированного выбора технологической схемы разворота механизированного комплекса //Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Разработка основ создания экспертной системы по оптимизации параметров разворота механизированного комплекса. 2010. №6. С.53-55.

12. Козлов В.В. Перспективные направления организации производства подземной угледобычи //Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №6. С. 28-31.

13.Козлов В.В. Моделирование гибких технологических систем очистных работ //Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №7. С.142-144.

14.Козлов В.В. Организация знаний при создании системы автоматизированной поддержки решений по выбору организационно-технологических схем //Уголь. 2013. №5. С. 50-51.

15.Козлов В.В. Формализация знаний о процессе принятия организационно-технологических решений по маневрированию и развороту механизированного комплекса //Горная промышленность. 2013. №2(108). С. 96-97.

16.Козлов В.В. Разработка методики экспертного опроса при решении организационно-технологических задач //Горная промышленность. 2013. №3. С.41-45.

17.Козлов В.В. Совершенствование системы управления шахты //Горный журнал. 2013. №5. С. 8-13.

18.Козлов В.В. Современное развитие процесса автоматизации задач организации производства //Уголь. 2013. №5. С. 30-32.

19.Козлов В.В., Михеева А.Б., Оганесян А.С., Агафонов В.В. Обоснование принципов создания малооперационных технологий при использовании в очистных забоях гидромониторных агрегатов //Горная промышленность. 2017. №1(131). С.40-41.

20.Козлов В.В., Агафонов В.В. Основные аспекты ведения очистных работ с использованием автоматизированного агрегата Ф-1. Препринт ГИАБ «Тенденции развития технологии очистных работ в усложняющихся горно-геологических условиях». М.: ГИАБ, 2017, №4(6), - с. 4-8.

21.Козлов В.В., Агафонов В.В. Технологические схемы ведения очистных работ, реализующих концепцию «безлюдной выемки». Препринт ГИАБ «Тенденции развития технологии очистных работ в усложняющихся горно-геологических условиях». М.: ГИАБ, 2017, №4(6), - с. 9-13.

22.Козлов В.В., Агафонов В.В. Геомеханические основы реализации технологий очистной выемки, основанной на использовании «тяжелых сред». Препринт ГИАБ «Тенденции развития технологии очистных работ в усложняющихся горно-геологических условиях». М.: ГИАБ, 2017, №4(6), - с. 14-18.

23.Козлов В.В. Классификация технологических схем очистных работ с автоматизированными процессами на основе агрегатов механического действия //Горная промышленность. 2017. №1(131). С.39-40.

24. Козлов В.В., Агафонов В.В. Исследование факторов, влияющих на время непрерывного использования механизированных комплексов //Уголь. 2017. №3. С.22-24.

25. Козлов В.В., Агафонов В.В. Обоснование метода математического моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород //Уголь. 2017. №3. С.70-72.

26.Козлов В.В., Михеева А.Б., В.А.Арефьев. Разработка малооперационных технологических схем очистных работ для шахт с гидравлическим способом добычи //Горная промышленность. 2017. №1(131). С.41-42.

27.Козлов В.В., Михеева А.Б., Оганесян А.С. Классификация технологических схем очистных работ с разворотом механизированных комплексов //Уголь. 2017. №2. С.8-10.

28. Козлов В.В., Мельник В.В. Анализ исследований и сочетания гидравлической технологии и процессов добычи угля //Уголь. 2017. №2. С.16-18.

в прочих изданиях:

29. Козлов В.В. Методология обоснования принципов формализации горно-технологических задач.- М.: МГГУ,- 2010 – 240с.;

30. Козлов В.В. Каталог технологических схем разворота механизированного комплекса. – М.:МГГУ, 2011 – 150с.

31. Козлов В.В., Мельник В.В., Михеева А.Б. и др. Гибкие технологии подземной угледобычи в современных условиях недропользования. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 - 267с.

32. Козлов В.В., Мельник В.В., Михеева А.Б. и др. Малооперационные технологии ведения очистных работ на угольных шахтах. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2016, - 68с.

33. Козлов В.В., Мельник В.В., Агафонов В.В. Адаптация гибких технологий подземной угледобычи в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2016,- 83с.

34. Козлов В.В., Мельник В.В., Михеева А.Б. и др. Геомеханическое обоснование технологических схем ведения очистных работ на базе малооперационных технологий. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2017, -72с.

В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит:

- обоснование принципов создания гибких технологических схем, повышающих полноту извлечения запасов шахтных полей [19, 26, 28],
- обоснование отдельных аспектов ведения очистных работ при использовании гибких технологических схем [20, 21, 24],
- обоснование метода математического моделирования для определения параметров напряженно-деформированного состояния вмещающих пород при реализации гибких технологических схем [22, 25],
- разработка классификации технологических схем с разворотом механизированных комплексов [23, 27],
- обоснование параметров гибких технологий угледобычи с повышением полноты извлечения запасов в современных условиях недропользования [31, 32, 34],
- обоснование использования гибких технологий угледобычи в изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условиях эксплуатации [33].