

На правах рукописи

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»»**



КОЗЛОВ ВАЛЕРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

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

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Специальность 25.00.21 – «Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем»

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

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

Москва 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	10
1.1. Основные аспекты использования технологии очистных работ при развороте комплексов	10
1.2. Основные аспекты трансформация и модернизация технологии подземной разработки пологих угольных пластов	15
1.3. Развитие представлений об автоматизации процесса решения проектных технологических задач	19
1.4. Выбор презентативной технологической задачи.....	35
ВЫВОДЫ.....	43
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ И КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	44
2.1. Принципы маневрирования механизированной лавы в плоскости пласта	44
2.2. Определение признаков, характеризующих технологические схемы маневрирования людей	49
2.3. Разработка классификации технологических схем ведения очистных работ с разворотом механизированной лавы	61
ВЫВОДЫ.....	114
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	115
3.1. Формализация и этапы решения поставленной задачи в рамках семиотического моделирования	115
3.2. Исследование структуры процесса принятия проектных технологических решений при семиотическом моделировании	120
3.3. Формализация семиотической модели технологических схем разворота лавы.....	130

3.4. Программное обеспечение реализация разработанной формальной семиотической модели выбора технологических схем с разворотом механизированных комплексов	156
ВЫВОДЫ	158
ГЛАВА 4. ВЕРИФИКАЦИЯ И АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ	159
4.1. Процедура реализации методического обеспечения выбора и обоснования проектных технологических решений ведения очистных работ с разворотом механизированных комплексов	159
4.2. Текст исходного файла демонстрационного прототипа ЭС «РАЗВОРОТ ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА» в среде интегрированного ППП ИНТЕРЭКСПЕРТ (GURU).....	172
4.3. Тестирование программных версий системы «РАЗВОРОТ»	178
ВЫВОДЫ.....	181
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ОБОСНОВАНИЯ ИХ ПАРАМЕТРОВ	182
5.1. Исследование факторов, влияющих на время непрерывного использования механизированных комплексов.....	182
5.2. Теоретические положения обоснования технологических схем с разворотом механизированных комплексов	187
5.3. Основные особенности использования технологии очистных работ при развороте комплексов	209
5.4. Рекомендации по выбору рациональных параметров технологических схем очистных работ при движении забоя по криволинейной траектории ..	227
ВЫВОДЫ.....	234
ГЛАВА 6. ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ	235
6.1. Анализ исследований взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами при развороте и обоснование метода математического	

моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород	235
6.2. Методические особенности реализации пространственной задачи теории упругости для определения параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород у фланга очистного забоя при его движении по криволинейной траектории и разработка алгоритма решения задачи расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород у «плавающего центра» методом конечных элементов	254
6.3. Результаты математического моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород у фланга очистного забоя и в «плавающем центре» при развороте	269
ВЫВОДЫ.....	281
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	282
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	285

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 [1, 2]. 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 [3, 4]. 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 [5].

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 [6,7].

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 ремонта 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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Основные аспекты использования технологии очистных работ при развороте комплексов

Основополагающие эксперименты технологии отработки запасов столбов с разворотом лав с механизированными комплексами выполнены Ковачевичем П.М., Дворецким Н.М., Глазовым Д.Д., Птициным В.П. 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 [8-28]. Среди современных исследований можно отметить Войтова М.Д., Брижак А.О., Першина В.В., Шитова А.Б. [29, 30, 31, 32].

К числу первых в СССР, относится поворот механизированного комплекса ОМКТМ на 90° на шахте "Комсомолец" в Кузбассе при отработке пласта "Толмачевский" лавой длиной 107 м, мощностью пласта 2,2-2,3 м с углом падения 6°. Поворот был выполнен за 28 дней при среднесуточной нагрузке 950 т. На прямолинейном участке нагрузка составляла 1000-1300 т/сут. В процессе экспериментов было установлено, что центральные секции крепи испытывали повышенные (до 80-90 т на гидростойку) нагрузки. За малый период разворота не удалось получить достаточной информации с целью выработки практических рекомендаций [27].

Технология отработки с разворотом лав с механизированными и индивидуальными крепями испытывалась также на шахтах Донецкого бассейна. С целью увеличения длины выемочного столба с 300 до 1100 м на шахте "Моспинская" был выполнен разворот лавы с индивидуальной крепью. Полученный опыт позволил на этой же шахте отработать лаву с разворотом, что позволило увеличить длину выемочного столба с 250 до 1050 м [33].

На шахте им. 60-летия Великой Октябрьской социалистической революции поворот комплекса КМК-97 на 90°, позволил получить экономический эффект в размере 27.0 тыс.руб., за счет исключения проведения разрезной печи и ремонта комплекса. При развороте выемка угля производилась "косыми заездами". Для снижения потерь угля дополнительно наращивались секции крепи и конвейера [34].

На шахте им. XXV съезда КПСС был выполнен разворот лазы на 180° при отработке пласта П₁-н общей мощностью 1,6-1,75 м [35].

На шахте им. В.М. Бажанова с 1973 по 1982 гг. были выполнены три разворота лав на 180°. Первой была отработана 2-я восточная лава длиной 170 м на пласте мощностью 0,84-0,9 м, оборудованная комплексом КМК-97 с двумя комбайнами 1К101.

Первоначально был нарезан столб длиной 1450 м. Для выемки запасов вышерасположенного столба длиной 460 м предусматривалось развернуть лаву при движении забоя по восстанию. Центр разворота располагался на расстоянии 180 м от границы шахтного поля. Среднесуточная нагрузка на лаву при этом составила 564 т., производительность труда - 69 т/мес. На прямолинейном участке эти показатели соответственно составляли 57.0 т/сут и 67,9 т/мес. Экономический эффект от разворота, продолжавшегося 4 месяца, составил 160.0 тыс.руб за счет снижения потерь, отсутствия разрезной печи и части конвейерного штрека. В дальнейшем, также с разворотом, были отработаны на этой шахте другие лавы.

Определенный опыт разворотов накоплен на шахтах ФРГ "Проспер Ш", "Вестфален", "Проспер Ханиэль". Стремление снизить частоту ежегодных монтажей и демонтажей, трудоемкость которых составляла соответственно 8100 и 5500 чел/см., привело к тому, что в 1980 г. на шахтах ФРГ было произведено и запланировано произвести 21 поворот лав, из них: в семи случаях был произведен одноразовый полный поворот (на 180°), в восьми случаях поворот был ограничен углом, не превышающим 180°. Кроме того, проводились многократные развороты. Необходимость выполнения поворотов была вызвана

малой длиной выемочных столбов, ограниченных геологическими нарушениями, размывами пласта.

Результаты разворота комплекса длиной 200 м на 180° на шахте "Проспер Ш" выглядят следующим образом. Длительность разворота составила 7 месяцев. Нагрузка на очистной забой в этот период снизилась на 25-30% и составляла 1750 т/сут. С целью повышения устойчивости кровли в узлах сопряжения лавы со штреком была произведена обработка ангидритом. В основном передвижка секций протекала удовлетворительно и только у точки поворота их приходилось выправлять талями [36].

Успешно выполнены развороты на шахте "Проспер Ханиэль", где лаву разворачивали четыре раза полностью и один раз на 70°. Срок службы комплекса в эксплуатации составил 8,5 лет, а суммарная дина выемочного столба - 5,9 км. При отработке прямолинейного участка среднесуточная добыча составила 1340 т, а при развороте - 1718 т.

При отработке пласта "Президент" был выполнен полный поворот. В результате отработки двух столбов длиной около 2800м забой вернулся в исходное положение [37].

Геологические нарушения существенно влияют на планировку горных работ. Увеличение запланированной длины столбов осуществляется за счет запасов соседних участков. Анализ показал, что каждый случай разворота имеет свои особенности. Кроме того, не удалось установить ни одного случая заблаговременно запланированного разворота.

На плане горных работ пласта "Зонненшайн" шахты "Вестфален" с несколькими нарушениями, ограничивающими очистные работы был произведен разворот следующим образом. Очистные забои длиной 200 м, расположенные в разных (четырех) выемочных столбах, отрабатывались последовательно, и в результате один забой переходил в другой через разворот лав так, что суммарная длина выемочного столба получилась равной примерно 3400 м, что позволило около пяти лет работать без ремонтов. В период разворота первой лавы суточная нагрузка на очистной забой составила 1985 т.,

перед поворотом 2452 т/сут и после поворота 1618 т/сут. После поворота показатели ухудшались из-за увеличения мощности породных прослоек.

На шахте "Проспер" компании БАГ Нидеррайн на пласте "Дикенбанк" был осуществлен разворот лавы на 180°, который интересен дополнительными мероприятиями, которые были проведены перед разворотом. Эти мероприятия сводились к следующему. Усилено крепление несущей рамы конвейера, так как даже при нормальной эксплуатации много соединительных болтов рамы срезалось. Это слабое место дополнительно усилили, натянув по всей длине забойного конвейера со стороны выработанного пространства лавы струговую цепь, к которой болтами прикрепили отдельные несущие рамы конвейера. Такая защита препятствовала отклонению конвейерных рам даже при повороте забоя лавы. Смонтирован лазерный прибор у вспомогательного привода, обеспечивающий ежесуточный постоянный контроль сохранения заданного направления лавы. Защищена от обрушения критическая точка поворота - сопряжение лавы с транспортным штреком.

Во время поворота, который длился 7 месяцев, средняя нагрузка на лаву составила 1750 т/сут и производительность труда рабочего около 20 т/чел.- смен. При работе на прямолинейном участке показатели были соответственно 2250 т/сут и 28,5 т/чел - смен, то есть соответственно выше на 22,2 и 30,0%. Следует отметить, что на этой шахте лава была дважды повернута вокруг вспомогательного привода.

На шахте "Болеслав Смяли" (ПНР) в целях повышения эффективности использования механизированного комплекса был осуществлен пробный перевод оборудования из одной лавы в другую без демонтажа комплекса путем разворота лавы на 180°. Лава длиной 125 м была оснащена механизированной крепью ОМКТМ-І. При подвигании лавы было обнаружено нарушение в виде сброса, которое ограничило длину лавы примерно до 55 м [38, 39].

В процессе разворота длина лавы сначала увеличивалась, затем уменьшалась. Это повлекло за собой необходимость монтажа дополнительных или демонтажа лишних секций крепи, что снижало скорость подвигания забоя

лавы. При сравнении показателей оказалось, что при развороте, который длился 3 мес., нагрузка на лаву была ниже на 17,3%, чем при работе на прямолинейном участке. Уменьшение производительности труда в этот период явилось результатом колебаний длины лавы и связанных с ними дополнительных трудовых затрат.

Опыт разворотов механизированных лав, выполненных за рубежом показал эффективность усовершенствованной технологии. Развороты проводились в лавах со щитовыми комплексами различной конструкции, оборудованные комбайнами или стругами, на пластах с углами залегания до 10-12° и мощностью до 3,5-3,9 м. Анализом установлено, что, как правило, технологические схемы разрабатываются с учетом конкретных горно-геологических условий участка существующей планировки горных работ, а потому они практически не повторяются. Для повышения эффективности разворотов необходимы дополнительные технологические и технические мероприятия, - в зарубежной литературе отсутствуют результаты каких-либо исследований напряженного состояния массива пород на различных участках поворота лавы и взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами, а также требований к ним.

Таким образом, совершенствование технологии в направлении непрерывности путем поворота лавы на угол до 180° в различных горно-геологических условиях является эффективным направлением, в первую очередь на участках, где традиционная технология неэффективна.

Следует отметить, что до настоящего времени не выполнены в достаточном объеме исследования по изучению напряженного состояния массива 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. Отсутствуют требования к комплексам с учетом их разворота, не определена область эффективного применения различных вариантов технологических схем с разворотом комплексов.

1.2. Основные аспекты трансформация и модернизация технологии подземной разработки пологих угольных пластов

С ростом глубины разработки усугубляются последствия проявления напряженного состояния массива вмещающих пород, растет газоносность угольных пластов, увеличивается число шахтопластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа и горным ударам, проявляется выбросоопасность некоторых песчаников, значительно увеличивается число геологических нарушений.

Так, в Кузбассе еще в 1985 г из 365 участков, отработанных механизированными лавами, 115 имели геологические нарушения. В 1990 г ожидалось, что 370 очистных забоев встретят 165 геологических нарушений. В Томь-Усинском угольном районе частота встречи лавами геологических нарушений равняется 5,7 на 1000 м подвигания. Здесь ожидается от 2 до 21 изменения технологического режима на каждые 1000 м подвигания. При средней длине выемочных участков 538 м доведение длины выемочного столба до оптимальной приводит к 1-4 разворотам лав [40].

Соответственно изменению условий разработки менялись и представления о технологии работы механизированных лав в таких условиях. Технология была жестко паспортизирована в развивающихся друг друга нормативных документах 1969, 1972, 1979, 1989 годов.

Проведенный анализ прогрессивных технологических схем, утвержденный Минуглепромом в 1979 г., показал чрезвычайную ограниченность принципиальных пространственных очертаний выемочных участков [41]. Добавим к этому, что большинство выпущенных нормативных документов [42-47], включая вышеперечисленные, рассматривают принципиальные технологические схемы подготовки и отработки выемочных полей и не предлагают или предлагают в минимальном объеме технологические решения тех ситуаций, которые могут возникнуть при отработке выемочного участка. Например, в документе [47] лишь вкратце речь касается технологии перехода

дизъюнктивного нарушения и приводится одна технологическая схема с разворотом лавы на 180°.

Дальнейшее развитие представлений о комплексно-механизированной выемке угля происходило в двух направлениях. Во-первых, стали появляться технологические документы, рассматривающие решение возможных ситуаций, которые могут возникнуть при отработке выемочного участка [41, 48, 49, 50]. К таким технологическим решениям относятся: переход и обход площадных нарушений; переход дизъюнктивных нарушений; работа в условиях тяжелой и неустойчивой кровли; переход лавой старых выработок и скважин; бездемонтажный перевод комплекса на смежный выемочный участок; работа в зонах ПГД и др. С другой стороны, появилась тенденция модульного представления технологических схем подготовки и отработки выемочных полей [43, 44, 51, 52].

Как указывают авторы работы [44] применение модульного принципа связано с тем, что одной из причин недостаточного внедрения прогрессивных технологических схем [46-47] является ограниченный набор в них схем планировки работ. Как отмечается в работе [41], именно диалектика постоянного развития многообразия горно-геологических условий явилась основой для формирования принципа гибкости применительно к технологии [1]. В 1983-85 гг. были поставлены целенаправленные исследования по приложению методологии гибкого подхода к отработке нарушенных месторождений, в ходе которых подтвердилась целесообразность выработки гибких решений [2, 3, 4, 53]. Каждый раз собранная из модулей технологическая схема проекта отработки рассматривается как уникальное решение - проектное изделие [40, 54]. Вообще, целью применения технологии разворота лавы в рамках гибкой технологии (рис.1.1) является смягчение, если не полное устранение негативного влияния нарушенности угольных пластов, увеличение эффективности эксплуатации механизированных комплексов [5, 21, 22, 50, 55, 56]. Если конкретнее, то 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 [41, 49, 50].

В работе [57] развороты рассматриваются как возможность уменьшения первичных осадков кровли в первом выемочном участке и исключения их в последующих. Технологические модули каталога [41] относятся к предметной области (ПрО) сложных горно-геологических условий и ограничиваются двумя группами задач: гибкой технологией обхода и перехода геологических и техногенных нарушений дизъюнктивного или пликативного характера; гибкой технологией отработки ленточных и спиральных выемочных столбов [41].

В связи с этим проф. А.С.Бурчаков [58] отмечает, что одним из результатов последовательного развития технологии от низшего к высшему является бездемонтажная технология отработки выемочных полей очистными механизированными комплексами и агрегатами .

Ранее проведенные теоретические и практические исследования в данной области прослужили основой для воплощения на производственных единицах Ерунаковского месторождения за последнее время.

Дважды механизированный комплекс DBT (очистной комбайн EDW – 300/600) разворачивали на 180° на шахте «Талдинская-Западная 1» при отработке запасов пласта 68.

На шахте «Талдинская-Западная 2» после окончания выемки запасов выемочного столба лавы 7002 пласта 70 механизированный комплекс «JOY» перевели в лаву 7003 с помощью разворота на 180°. Также этот способ ведения очистных работ был апробирован в условиях ХК «Соколовская».

Прорабатывались теоретические и методологические аспекты реализации технологии с разворотом механизированных комплексов на производственных единицах Воркутского месторождения, но, в силу ряда объективных и субъективных составляющих они не нашли практического воплощения.

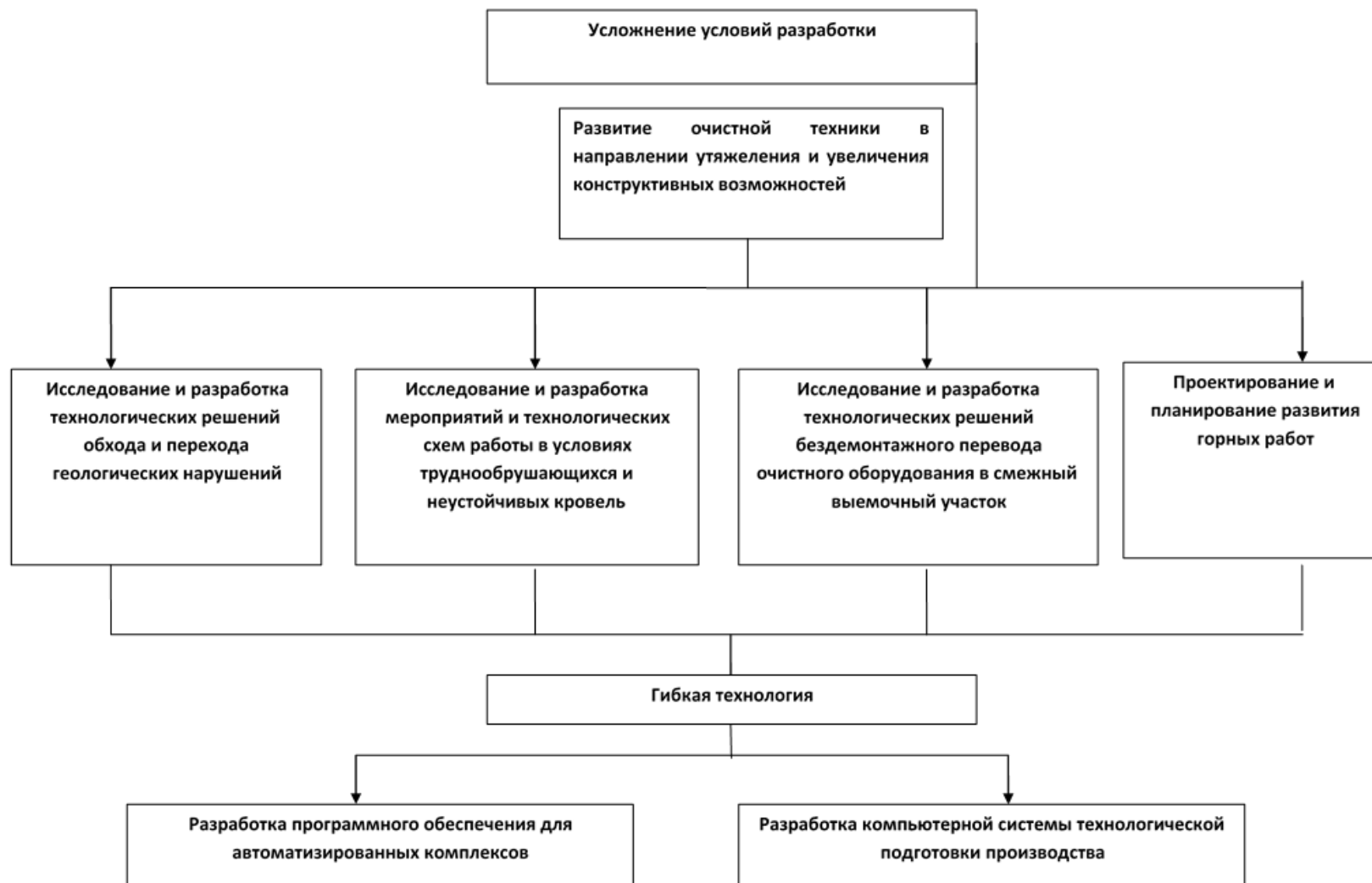


Рис.1.1 - Причины, обусловившие появление гибкой технологии

1.3. Развитие представлений об автоматизации процесса решения проектных технологических задач

С появлением технических средств автоматизации решения проектных технологических задач стали применяться статистические и оптимизационные методы. На первых порах с применением ЭВМ решались задачи проектирования шахт. Это связано с тем, что, во-первых, ЭВМ были дорогостоящими, и для решения задач текущего производства их применение было невыгодно и, во-вторых, достаточно стабильные горно-геологические условия разработки позволяли подготавливать выемочные участки с рациональными параметрами. Однако с усложнением условий разработки и появлением новых технологических решений [7, 59] (развороты лав, обходы и переходы нарушений, укрепление и разупрочнение боковых пород и т.п.), а также современного забойного оборудования оказалось, что выбор технологических решений стал многовариантным и требующим достаточно серьезного анализа при принятии решения. С другой стороны, появились относительно дешевые персональные ЭВМ с высокими рабочими характеристиками. В результате были поставлены вопросы разработки методов и автоматизированных систем решения горно-технологических задач в условиях текущего производства. Во введении к сборнику научных трудов ТулПИ [60] говорится, что время поставило перед наукой задачи разработки гибких технологий ведения горных работ, их проектирования и автоматизации управления.

Усложнение условий разработки и появление новых технологических решений привело к тому, что возникли некоторые сложности с подготовкой проектной документации на шахтах. В работе [61] указывается, что даже квалифицированный специалист не в состоянии переработать громадный объем информации, рассмотреть все возможные варианты решений на этапе оперативного проектирования технологии. Нынешнее состояние дел с разработками оперативной технологической документации требует учитывать 300 различных источников без учета постановлений, директивных указаний, приказов. Переход к гибкой технологии требует помодульной подготовки

технологических проектных документов. Сейчас же, практически на всех шахтах считают, что составляется и так большое количество проектов, так как много добычных участков. Если же на каждую ситуацию для всех выемочных участков в проекте формировать модульные решения, то объем работы с чертежами, расчетами и пояснительными записками окажется невыполнимым. Соответственно, делается вывод, что внедрение гибкой модульной технологии невозможно без комплексного программного обеспечения, которое формировало бы процесс принятия решений, проведения необходимых расчетов и подготовки пояснительной записки [62].

Однако оказалось, что применяемые методы решения задач горного производства не дают необходимых адекватных результатов [63]. Практические достижения в области оптимизации достаточно скромны [64]. Исследования последних лет в области проектирования горнотехнических систем показали несовершенство методологической основы многих задач по теории оптимизации горных работ [65]. Комплексное решение выбора качественных характеристик (технологических решений) и их параметров - работа весьма трудоемкая и связана с рядом методических сложностей. Использовать уже разработанные методы для выбора рационального варианта технологической схемы из большого их числа не представляется возможным, так как изменение качественных характеристик вызывает разработку практически новой модели. Поэтому необходима разработка специального метода выбора рациональных технологических схем, характеризующегося принципиально иным подходом к установлению качественных характеристик технологии из альтернатив [66].

Для решения вопросов выбора качественных характеристик и их параметров исследования в России и за рубежом были направлены на разработку методики решения сложных многофакторных задач горного производства с применением математических методов и ЭВМ. Наиболее важным для принятия правильного проектного решения является не сам процесс технико-экономического сравнения, а процесс выбора вариантов, принимаемых к сравнению [67]. Применяемые в практике проектирования экономико-

математические методы моделирования, в которых "вопросы учета физических и геомеханических процессов в ряде случаев игнорировались или решались упрощенно", недостаточно эффективны [65]. По мере развития теории и расширения оптимального проектирования экономико-математические модели (ЭММ) усложнялись за счет увеличения числа совместно оптимизируемых переменных, а область применения моделей расширялась за счет увеличения разнообразных состояний переменных. Для ЭММ такое усложнение имеет скорый предел, после которого задача станет нереализуемой [66-68].

В работе [64] отмечается, что традиционные методы решения задачи оптимизации раскройке затруднительны ввиду большой размерности и информационной неопределенности.

Многие процессы, особенно геомеханической природы, не могут быть описаны адекватными аналитическими моделями. В этом случае вредно набрасывать "математическую вуаль" на процессы, природа которых неясна [64]. Развитие исследований в традиционном русле не приведет к созданию эффективных математических моделей [64]. При наличии большого количества нарушений и сложной формы раскраиваемой части шахтного поля задача определения формы выемочных столбов из чисто оптимизационной (при идеальных условиях разработки) становится многовариантной и качественный аспект начинает преобладать над количественным [48].

В связи с вышеозначенными недостатками оптимизационных методов решения технологических задач появились попытки применения методов имитационного моделирования и теории принятия решений [66-67; 64-65]. Однако теория принятия решений не в полной мере способна формальным образом описать решение технологической задачи, а именно качественный её аспект.

Технологические задачи характеризуются неполнотой, ошибочностью и неопределенностью знаний и данных, которые участвуют в решении этих задач, а теория принятия решения не располагает необходимым объемом формализмов, способных учесть этот факт. Авторы работ [64, 65, 69], предлагающие применять

методы имитационного моделирования, главным образом концентрируют свое внимание именно на формальном аппарате, способном имитировать процессы горных работ во времени и пространстве, мало уделяя внимания выбору технологических решений, последствия которых будут имитироваться.

Они же отмечают, что на стадии проектирования подземных горных работ основное – это выбор рациональных качественных вариантов технологических схем [64]. В качестве методической основы задач качественной генерации и синтеза проектных решений предлагается использовать логику-лингвистическое моделирование процессов принятия технологических решений и формализацию понятийного базиса процессов [69].

Таким образом, современная наука столкнулась с методическими сложностями, связанными с адекватными методами формализации процесса решения технологических задач и отсутствием рекомендаций по разработке автоматизированных систем принятия проектных технологических решений (рис. 1.2) [55].

Малоэффективность алгоритмического подхода для решения технологических задач связана и с их характеристиками (табл.1.2), которые затрудняют использование ЭВМ в рамках традиционных методов формализации.

С другой стороны, многовариантность технологии выемки угля не поддается ручной обработке, что требует применения для решения технологических задач современных ЭВМ и методов программирования, позволяющих манипулировать качественными понятиями. В то же время в связи с тенденцией увеличения капитальных и эксплуатационных затрат на ведение подземных горных работ все большую значимость приобретают задачи качественного обоснования проектных и плановых показателей технологических решений [64].

Соотношение качественного и количественного в работе [70] рассматривается следующим образом. Понятийное описание системы есть модель ее возможных состояний и закономерностей перехода из одного в другое,

математическое описание - модель совокупностей существования каждого из них [70,71].

Понятийное формализованное рассмотрение дает ключ к решению качественных задач горной геомеханики и может единообразно производиться, как любым достаточно квалифицированным горным инженером, так и ЭВМ [70]. Таким образом, ставится задача передачи ЭВМ функции принятия решений с помощью программ, имитирующих качественное мышление человека. О необходимости и преимуществах семиотического и логико - лингвистического моделирования говорится в работах [21,72,73].

Переход к гибким технологиям требует логического описания связей между процессами. Они реализуются в базе знаний (БЗ) принятия решений в виде системы связей, отношений между понятиями [74]. Перспективное и текущее планирование, управление производством должно основываться на «широкомасштабном использовании банков данных и баз знаний современных инструментальных систем автоматизации проектирования, искусственного интеллекта» [75].

Анализ литературных источников позволил выявить характеристики задач планирования, проектирования и управления очистными работами (табл. 1.1).

Преодоление трудностей при формализации, связанных с перечисленными характеристиками, предполагается методами моделирования процессов принятия решения, разрабатываемых в рамках проблематики искусственного интеллекта (ИИ)[76]. ИИ, имитируя мышление, оперирует понятиями или их символами, формируя семиотические модели, в отличие от математических, оперирующих числами или их символами [54].

ИИ технологической системы комплексно-механизированной выемки угля понимается как перспективное программное обеспечение семиотических и математических моделей принятия решений и их параметризации [62].

Определим понятие семиотической системы.

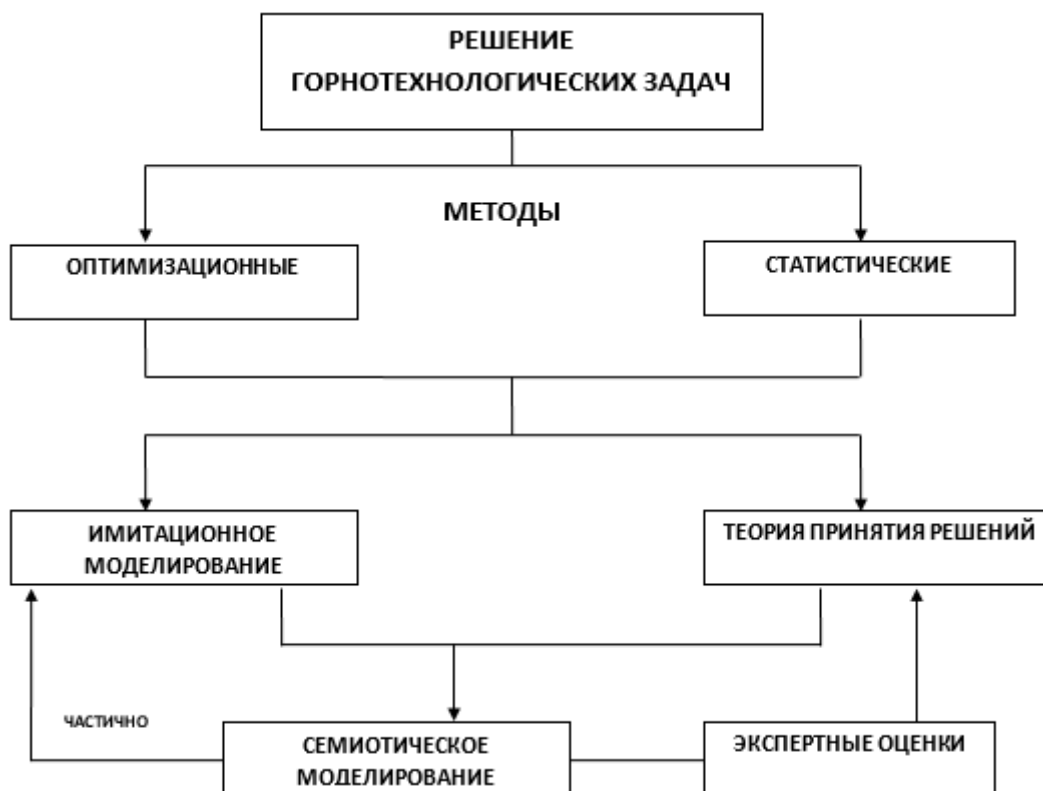


Рис. 1.2 - Развитие представлений о методах решения технологических задач

Формальной моделью называется четверка

$$M = (T, H, A, L), \quad (1.1)$$

где: T - множество базовых элементов, из которых строятся все выражения в H;

H - множество синтаксических правил, определяющих синтаксически правильные выражения из базовых элементов;

A - множество аксиом, образующее подмножество во множестве синтаксически правильных формул, которым априорно присписывается статус истинности;

L - правила вывода, позволяющие получать из аксиом новые синтаксически правильные формулы, которым можно присписать статус истинности. Рассмотрим модель вида

$$C = \{M, X_t, X_h, X_a, X_l\}, \quad (1.2)$$

где: X_t, X_h, X_a, X_l - соответственно правила изменения T, H, A, L.

Таблица 1.1 - Характеристика задач проектирования, планирования и управления очистными работами

ХАРАКТЕРИСТИКА	ИСТОЧНИК
1.Трудноформализуемость	90, с. 100; 87, с. 13-15; 14, с. 173-174; 95, с.48
2.Невозможность описания адекватными аналитическими методами	96, с. 3; 87, с. 70; 14, с. 173-174
3.Обилие эвристических процедур	87, с. 12
4.Природа многих процессов неясна	87, с. 70
5. Присущи качественные закономерности и соотношения	93, с. 12; 92, с. 6; 14, с. 186;94, с. 8; 97, с. 6; 98, с. 73
6.Преобладание качественных аспектов проблемы над количеством	75, с. 2
7.Большая размерность	89, с. 4; 87, с. 70
8.Многовариантность	75, с. 2; 89, с. 3; 90, с. 5; 99
9.Многокритериальность	14, с. 173-174; 100, с. 22; 95, с. 48
10.Большое количество факторов, влияющих на принятие решения	91, с. 5; 89, с. 3; 90, с. 4; 101
11.Неопределенность факторов, влияющих на принятие решения	87, с. 39
12.Неопределенность критериев	14, с. 173-174
13.Значительное разнообразие технологических структур	92, с. 4
14. Непостоянство технологических структур	14, с. 173-174; 95, с. 48
15.Отсутствие унифицированной исходной информации (факторов, влияющих на принятие решения)	87, с. 13
16.Необходимость учета большого объема нормативной документации (более 300 различных источников, без учета постановлений, директив, приказов и т.д.)	85, с. 32
17.Невыполнимость объема ручных работ при разработке технологической документации после перехода к гибкой технологии	86, с. 16
18.Противоречивость в рекомендации по выбору технологических схем	102, с. 3
19.Предметная область задач – сложная система	103, с. 13
20.Недостаточная эффективность методов экономико-математического моделирования	89, с. 16; 88, с. 78; 40, с. 5

Модель С называют семиотической моделью. При этом правила X_t и X_h меняют синтаксис базовых элементов и их совокупностей, правила X_a и X_l - семантику и прагматику совокупностей. В отличие от формальных моделей, в которых элементы множества обладают жестким синтаксисом, жесткой семантикой и жесткой прагматикой, в семиотической модели все эти свойства элементов становятся доступными для изменения. Именно такой особенностью обладают знаки - элементы знаковых или семиотических систем, изучаемых в семиотике.

Системы ИИ (СИИ) используют символическое представление знаний и символический вывод. Именно семиотическое моделирование позволяет разрабатывать СИИ. Одним из видов СИИ являются экспертные системы (ЭС), имитирующие процессы мышления опытных специалистов в какой-либо предметной области (ПрО).

Отработка каждого пласта носит характер единичного производства, что и породило представление о горном деле как об искусстве [41]. Часто опыт ведения горных работ служит более качественной и продуктивной основой прогнозирования геомеханических процессов и взаимодействия среды и технологии.

Проектировщики пользуются трудноформализуемыми эвристическими процедурами принятия решений, что затрудняет разработку систем автоматизации проектирования [64]. Поэтому выявить свод правил принятия решений и формализовать их - важная задача [64]. Интуитивные решения могут быть представлены в виде системы действий, описанных на содержательном уровне [72], что позволяет в качестве методической основы задачи автоматизированной генерации технологических решений использовать лингвистические модели процессов принятия технологических решений, реализующих опыт ведения горных работ, описанный на вербальном уровне [69]. Экспертные оценки рекомендуется применять для решения задач прогнозирования производительности работ [64] и моделирования трансформации динамических полей, определяющих интенсивность

геомеханических процессов [65]. Отсутствие строгих специальных методов выбора качественных характеристик технологических решений вызывает необходимость их выбора на основе экспертных оценок, базирующихся на опыте и инженерной интуиции [66]. На практике, как правило, так и делается. Такое положение сохраняется в силу того, что этот этап является наименее формализованным [67]. Это требует четкой постановки задачи, формализации сбора и обработки экспертных оценок и использования научнообоснованных методов с применением человеко-машинных процедур [66,67].

Анализ направлений развития методологии обоснования технологических решений в горном деле, результатов научных исследований отечественных и ряда зарубежных лабораторий и институтов позволил определить настоящий этап развития теории горной технологии как переход от декларативного использования принципов системного анализа к фактической реализации этих принципов на базе создания комплексов имитационных моделей, воспроизводящих функционирование развивающихся технологических структур горных предприятий [69]. Таким образом, имитационное моделирование рассматривается как способ реализации, инструментарий системного анализа, что подтверждается работой [77].

Суть перехода к имитационному моделированию заключается в замещении идей оптимизации проведением вычислительных экспериментов, моделирующих динамику горных работ [69]. Для реализации машинного эксперимента должны быть созданы модели, имитирующие изучаемый процесс. Эксперт с помощью этих моделей получает те знания, без которых выбрать альтернативный вариант стратегии он не может [77].

О необходимости разработки единой имитационной модели шахты говорится в работе [78]. С имитационным моделированием связываются надежды по повышению надежности методов выбора оптимальных характеристик угольных шахт [68].

Более того, имитация функционирования системы может осуществляться с помощью семиотической модели [79]. При этом сама имитационная модель

начинает "работать" лишь после этапа синтеза и пространственной привязки к сети горных выработок [64].

На настоящем этапе развития методов решения технологических задач большое внимание уделяется системному подходу. Так, в работе [50] отмечается, что острота производственной ситуации в угольной промышленности требует замены традиционного в горной геомеханике интуитивного эвристического подхода на подход системный, который по мере обогащения его формально-содержательным аппаратом все более приобретает черты системного метода, применение которого может надежно планироваться и автоматизироваться в рамках ССУ и САПР.

Практически все основные проблемы в области горной технологии относятся к классу системных задач [64]. Поэтому добиться значительного увеличения качества и обоснованности применяемых решений возможно при использовании системной методологии [65]. Подобной точки зрения придерживаются и в работе [80], отмечая, что возможности традиционных методов принятия решений ограничены, тем более для таких сложных систем, как геологическая, технологическая и геомеханическая, находящихся во взаимодействии друг с другом. Сам процесс принятия решений является важной составной частью исследования операций и системного анализа [67].

В работе [69] В.И. Штеле выделяет задачи, реализующие принципы системного моделирования горных работ: создание теории, методов, алгоритмов и пакетов программ, позволяющих синтезировать непротиворечивые варианты технологических схем (задача статики); разработка теоретических основ и принципа имитационного моделирования развития горных работ на базе синтезированной технологической схемы (задача динамики). Программная реализация статической и динамической задач дает возможность с единых методических позиций подойти к оптимальному проектированию горных работ и рассмотреть горное предприятие как целостную систему с учетом многообразия взаимодействия технологических элементов и внешней среды [64].

В работе [64] рассматривается подход к проектированию технологической схемы шахты как к самоорганизующейся системе. При этом предполагается на основе формализованного языка генерировать возможные технологические схемы, совместимые с горно-геологическими условиями, и, кроме того, удовлетворяется совместимость отдельных элементов внутри технологических вариантов.

Процесс принятия технологических решений и его формализация значительно затруднены фактором неопределенности. Этот факт отмечается рядом авторов [21,48,65,67]. Задача принятия решений при неопределенности возникает в случае, когда лицо, принимающее решение, не обладает полной информацией обо всех факторах, учет которых оказывает существенное влияние на это решение [67].

Логика управления горными работами достаточно сложна и включает большое количество факторов, описывающих ситуацию. Такого мнения придерживаются авторы многих работ [64, 66, 67, 68, 81]. Соответственно, выбор технологических схем и определение их параметров является многовариантной задачей, при решении которой необходимо учитывать взаимную зависимость и влияние разнообразных факторов - природных, технических, технологических, экономических и др. [66, 67, 81].

При выборе технологических схем просчеты, как правило, возникают из-за недостаточно полного учета факторов, определяющих выбор схемы [67,82]. Учет же всего комплекса факторов, влияющих на принятие решения, при определении параметров систем разработки делает процесс проектирования весьма сложным, трудоемким и зачастую недостаточно эффективным [68].

В работах [21,41,50] факторы, влияющие на принятие решения, предлагается представлять в виде каталога ситуативных модулей.

В работе [83] предлагается метод конструирования технологических схем из прогрессивных элементов. Сначала выделяются элементы, и оценивается их качество. Однако, на наш взгляд, данный подход обладает рядом недостатков. В частности, здесь качество элементов оценивается вне зависимости от

конкретных условий и не учитывается возможность совместимости элементов в конкретной схеме.

В работах [84, 85] приводится пример организации знаний, которые в последствии преобразуются в машинную БЗ. Формализация производится в ЯТО. На наш взгляд, приведенный подход не совсем удачен, так как он не выполняет основной функции организации знаний, то есть приведения их в определенную систему с некоторой структурой

Авторами работы [41] знание о технологии ведения подземных работ, предлагается представлять в виде графа. Вершины графа представляются компонентами каталога технологических модулей.

В работе [67] говорится, что одним из элементов процесса принятия решения является правило выбора решения. При этом под принятием решения понимается выбор некоторого "наилучшего" альтернативного решения из некоторого множества возможных решений или упорядочение этого множества.

Набор правил установления соответствия технологического модуля геологическому модулю позволяет передать поиск, выработку, выбор и принятие решения ЭВМ [21, 41]. Распознавание критических ситуаций осуществляется в соответствии с правилами, которые в общем случае описывают условия, при выполнении которых принимается решение. Иначе говоря, левая часть правила описывает класс ситуации, которому правая часть ставит в соответствие решения из каталога решений [50].

Выделенные технологические модули могут быть использованы как исходные для генерации новых классов технологических решений в ходе их перестройки и обновления [41]. Подобный подход предложен и в работе [64], где предлагается формировать технологические схемы, обладающие элементом новизны за счет оригинальной компоновки схемы из известных элементов.

Как было показано ранее, задачи принятия технологических решений плохо формализуемы и требуют привлечения качественной информации. В связи с этим в работе [86] отмечается, что управление и проектирование является эффективным, если накопленные знания позволяют создать адекватную модель

управляемого или проектируемого объекта. Реализация такого подхода основывается на логико-лингвистическом моделировании, которое требует применения языков с развитой семантикой, позволяющих отразить основные качественные закономерности и соотношения, присущие задачам проектирования и планирования горных работ [69]. При построении систем принятия решения необходима формализация знаний о проектируемом объекте и процессе проектирования на языке, близком к используемому в горном деле [21].

Одним из принципов создания методического обеспечения гибкой технологии является формализация в аппарате, понятном ЭВМ, знаний о геологических и геомеханических ситуациях, технологических решениях и модулях [41]. В работе [66] ставится задача разработки специального способа представления технологических вариантов, удобного для сравнения с помощью ЭВМ.

В работах [20, 21, 54, 71, 73, 74, 80, 84-90] развивается идея применения языка тернарного описания (ЯТО) для понятийного моделирования задач горного производства.

С. П. Андронов отмечает, что в целях формализации знаний нашли широкое применение семантические сети, фреймы, производственные системы [74,128].

Отметим, что ЯТО, также как и семантические сети, фреймы и производственные системы, - это средства, позволяющие формализованно описать знания о ПрО и построить ее модель. Однако непосредственная реализация построенных моделей на ЭВМ требует специальных языков и средств программирования. Для семантических сетей, фреймов и производственных систем такие языки и средства разработаны. Для ЯТО ни языков, ни средств программирования еще не создано

Исследования последних лет в области создания САПР показали несовершенство методологической основы многих задач по теории оптимизации горных работ. Появилась необходимость разработки общей методологии принятия оптимальных технологических решений для подземных работ, что

позволит в значительной степени дисциплинировать разнохарактерные и разнонаправленные исследования в этой области [65]. Это несовершенство методологической основы состоит в том, что создаваемые и созданные САПР в большинстве случаев нацелены на автоматизацию трудоемких инженерных расчетов в основном не меняя характер проектирования [64].

В связи с этим огромное значение в век ускорения НТП имеет система принятия решения с использованием ЭВМ в режиме САПР [58, 91]. В работе [92] предлагается разработка интеллектуальной САПР, имеющей БЗ, хранящей знания о ситуациях и технологических решениях. В данном случае БЗ САПР выступает в качестве ИИ гибкой технологии.

Одна из проблем разработки САПР на современном этапе заключается в следующем. Использовать разработанные методы операционных исследований для выбора рационального варианта технологической схемы из большого их числа не представляется возможным, т.к. изменение качественных характеристик вызывает разработку новой модели, а значит, и программы в целом [66]. Кроме того, для этапа технико-экономического сравнения выделенного подмножества предпочтительных вариантов необходимо разработать новый метод многовариантных расчетов [66]. Подобная проблема, по-видимому, стояла и перед авторами работы [50, 53], в результате чего для расчета на ЭВМ параметров маневрирования механизированным комплексом на каждую технологическую карту перехода была составлена программа.

В работах [93, 94] отмечается рост применения ЭС для горной промышленности США и Великобритании. В США разработкой горных ЭС занимаются в основном компания «Тексас Инструменте», институт Карнеги Мелона, Горное бюро и Колорадское горное училище. Созданы ЭС, помогающие принимать решения в ходе разведки и разработки полезных ископаемых. В Великобритании активная роль в разработке ЭС для угольной отрасли принадлежит корпорации "Бритиш Коул".

В работе [95, 96] анализируются задачи, подходящие для того, чтобы их решали в рамках ЭС, и приводятся потенциальные области использования ЭС

для горного производства. В работе [97] приводится описание второго поколения САД - и ИТ- систем для планирования и управления горными работами. САД - и ИТ - системы соответствуют понятиям САПР и информационных систем. Для исследования и разработки этих систем при Имперс - колледже в Лондоне на отделении разработки минеральных месторождений создана исследовательская группа. В описываемой системе широко применяются современные технические средства и методы решения задач. Для решения многих задач в САД - системе применяются различные ЭС, и в частности ЭС геостатического моделирования, классификации оборудования и систем разработки, разработки графиков и оптимизации вскрытия запасов и др.

В работе [98] описывается разработанная чешскими специалистами система принятия решений при оценке эффективности разработки тонких пластов.

В работе [48] дается описание комплекса опытного программного обеспечения гибкой технологии выемки угля из трех интерактивных систем, предназначенных для разработки вариантов раскройки части шахтного поля, календарного планирования подвигов линии очистных забоев, разработки технологии межэкранного разупрочнения труднообрушающейся кровли, а также ЭС принятия технологических решений в случае встречи с лавой геологического нарушения в выемочном столбе.

Для выбора рационального плана развития горных работ предлагается использовать БЗ о технологии, позволяющей в автоматизированном режиме синтезировать технологические схемы очистных и подготовительных работ [53].

В работе [83] предлагается метод конструирования технологических схем из типовых прогрессивных элементов. Для этого выделяются элементы и оценивается их качество. В работе [99] предлагается метод выбора технологической схемы, основанный на идее академика Н. Н. Моисеева о декомпозиции проблемы.

Технологическая схема выемки угля требует многокритериальной оценки, которая зачастую приводит к взаимоисключающим решениям. Оценочные

критерии ранжировали от общих к частным, и процесс конструирования производился строго в иерархическом порядке рангов критериев.

В работах [64, 65, 69] предлагается разработка САПР подземных работ на основе организации знаний о технических решениях и оборудовании, о логических условиях проектирования и правилах синтеза непротиворечивых технологических схем, о логических условиях по управлению развитием горных работ. Формализуются эти знания на основе методов семиотического моделирования.

В работах [66,67] предлагается метод проектирования технологической схемы шахты. Реализация этого метода предполагает три стадии: выбор наиболее предпочтительных вариантов технологических решений, установление наилучшего варианта технологической схемы, определение оптимальных параметров технологической схемы. Указывается, что выбор технологической схемы есть исходное условие оптимизации.

Отмечается, что в последнее время происходит интеграция семиотики, когнитивного и семантического моделирования в интеллектуальных семиотических системах. В 2014 году в Болгарии состоялся 12-ый Всемирный конгресс по семиотики, где рассматривалось использование семиотического моделирования в различных предметных областях с созданием искусственного интеллекта. Ведущими учеными в этой области: А.Соломоник (Израиль), А. Володченко (Германия) отмечалось недостаточное распространение этого направления в технических областях, а вернее, полное их отсутствие.

Хочется отметить, что семиотический подход в РФ медленно, но развивается. Можно отметить работы Осипова Г.С. (2002г.) [100], Вагина В.Н., Еремеева А.П. (2001, 2014гг.) [101, 102], Кулинича А.А. (2014г.) [103] и др. теоретического характера. Примеров практической реализации этого подхода найти не удалось.

1.4. Выбор презентативной технологической задачи

На основании развития представлений о технологии разработки угольных месторождений заключено, что технология подземной угледобычи развивается в сторону многообразия форм и средств ее реализации. Это связано с постоянным усложнением условий разработки. Одним из вновь возникших и развивающихся технологических решений, находящих все более частое применение, является разворот механизированных лав. Технологию разворота можно рассматривать как более общий случай традиционной технологии, когда вынимаются стружки только прямоугольной формы.

Начинать реализацию именно с задачи разворота лавы важно еще и потому, что это относительно новый вид технологи, не получивший еще достаточно широкого распространения на шахтах страны. ЭС может служить, как отмечалось выше, для целей обучения и распространения новых технологий. В результате можно будет значительно сократить время внедрения технологических схем с разворотом лавы на шахтах отрасли. Произведем анализ результатов исследований и случаев применения технологии разворота комплексно-механизированного очистного забоя.

Отметим несколько наиболее значительных примеров эффективного применения технологии разворота очистного забоя, описанных ранее. Успешно выполнены развороты на шахте "Проспер Ханиель", где в результате их осуществления комплекс эксплуатировался без демонтажа - монтажа в течение 8,5 лет, а суммарная протяженность выемочного столба составляла 5,9 км [104]. При отработке пласта "Президент" был выполнен полный поворот, в результате чего после отработки двух столбов общей длиной 2800 м забой вернулся в исходное положение. На шахте "Вестфален" по пласту "Зонненшайн" с несколькими нарушениями, ограничивающими очистные работы, четыре выемочных столба общей длиной 3400 м были отработаны последовательно одной лавой посредством ее неоднократного разворота. Срок эксплуатации механизированного комплекса без демонтажа составил около пяти лет.

Накопленный опыт разворотов показал эффективность применения этой технологии.

Развитие добычной техники, в свою очередь, привело к значительному росту трудоемкости подготовки по нарезке лав, а также их демонтажа. Особенно явно это проявляется на фоне снижения трудоемкости работ в лавах.

Вследствие этого все чаще исключаются из планов развития горных работ участки пластов с ограниченной длиной по простиранию или по падению, которые не имеют достаточных запасов угля, оправдывающих высокие затраты на подготовительные и заключительные работы. Зачастую происходит снижение добычи угля на шахте. Причины этого могут быть следующие: по финансовым или производственным соображениям не может быть осуществлена своевременная нарезка и подготовка новой лавы: - бригада отработанной лавы должна быть длительное время занята демонтажом оборудования. Все это определяет стремление ограничить частоту перемонтажа лав и поиск способов увеличения длины выемочных полей [105]. В связи с этими и со множеством других причин весьма перспективным является разворот механизированного комплекса из отработанного выемочного участка во вновь подготовленный [39].

Наибольшая экономия может быть получена при развороте лавы, оснащенной крепями значительной массы и габаритов, требующих при перемонтаже применения тяжелых средств транспорта и выработок большого сечения [106]. Таким образом, тенденция к утяжелению механизированных крепей и увеличению их габаритов увеличивает вероятность применения технологии разворота лавы.

Выемка запасов за границей пригодных к отработке требует меньших затрат по сравнению с такими, которые можно добывать при строительстве новых шахт [107]. Этот факт также указывает на необходимость разработки технологии, позволяющей эффективно применять комплексы очистного оборудования. Разворот лавы на шахте "Вестфален" на пласте "Зонненшайн" показал, что в щитовой крепи не проявились недостатки, нарушающие ее функции и принцип действия. Об эффективности применения технологии с

разворотом механизированного очистного забоя говорит достаточное количество случаев практической реализации этой технологии на советских и зарубежных шахтах, а также научных исследований и изобретательской деятельности. Так на шахте им. Бажанова было развернуто три лавы и накоплен большой опыт по развороту лав [23, 28, 108]. Эта технология дала возможность после корректировки плана развития горных работ уклонного поля пласта n_1^H увеличить длину выемочных полей с 1450 до 2900 метров [23].

Обосновывая необходимость применения технологических схем с разворотом очистного забоя, авторы указывают на тот факт, что средняя длина выемочных столбов составляет 400-500 метров.

Большое количество геологических нарушений, которые позволяют нарезать выемочные участки длиной 300-400 м по простиранию и 500-700 м по падению явилось причиной разворота механизированного комплекса [34]. Разворот прошел без снижения добычи.

КузНИИ рассматривает отработку коротких выемочных полей (300-500 м) с помощью технологических схем с разворотом механизированного комплекса как одну из основных работ [22]. Указывается, что от внедрения одного разворота комплекса достигается экономический эффект 100.0 тыс. рублей [109]. Институтом предлагались две технологические схемы с разворотом механизированного комплекса.

Отмечается тенденция ухудшения положения с нарезкой выемочных полей значительной длины. За разные периоды из 355 отработанных полей на шахтах производственного объединения Южкузбассуголь лишь 48 (7,8%) имели длину свыше 1200 м, в то же время почти половина из них (47,7%) не достигала 500 м, т.е. длина, которая считается минимально необходимой для экономически целесообразного применения механизированных комплексов. Оработка таких полей традиционными методами (с ремонтом очистного оборудования при переходе из отработанного столба в новый) способствует уменьшению эффективности эксплуатации очистных комплексов. В работе [41] отмечается, что при средней длине выемочных участков 538 м доведение длины выемочного

столба до оптимальных размеров 1000-2000 метров набором его в ленточный или спиральный приводит к 2-4 - разовой смене технологии работ. Принятые параметры выемочных полей в большинстве случаев не отвечают требованиям высокоэффективного использования очистных механизированных комплексов. Анализ средних длин выемочных столбов на шахтах производственного объединения Южкузбассуголь, показал, что более 50% выемочных столбов не достигают длины 700 м, а 32% выемочных столбов имеют длину менее 500 м [110].

В работе [39] приводятся следующие данные. Было проанализировано 157 участков шахтопластов, на которых предполагалось нарезать 481 выемочный столб. При отработке этих выемочных столбов с перемонтажом очистного оборудования удельный вес столбов длиной более 1200 метров составил бы всего 8,7%. При применении технологических схем с разворотом очистного забоя удельный вес столбов с суммарной их длиной на одном участке более 1200 метров увеличивается до 66,3%. Таким образом, применение новых технологических схем с разворотом лавы в значительной мере снижает барьер, связанный с горно-геологическими и горнотехническими ограничениями, не позволявший по объективным причинам нарезать выемочные поля рациональной длины. При этом рекомендуется выбирать выемочный столб такой длины, при отработке которого рабочий ресурс комплекса исчерпывался бы до капитального ремонта. Увеличение числа перемонтажей механизированных комплексов в связи с необходимостью отработки большого количества коротких столбов приводит к снижению эффективности их использования как за счет потерь добычи в период простоев в период перемонтажа, так и за счет снижения надежности оборудования в результате очередного перемонтажа [39].

Приводятся данные о влиянии монтажно-демонтажных работ на эффективность использования механизированных комплексов. По производственному объединению Южкузбассуголь потери добычи угля возросли с 1534 млн.т до 2.482 млн. т за 5 лет. В дальнейшем эти потери еще более увеличились [39]. Простои механизированных комплексов в монтаже-

демонтаже превышают 20-25% времени пребывания оборудования на шахте [39, 110].

Трудоемкость работ, не связанных с выемкой угля (проведение и поддержание выработок, монтаж-демонтаж комплексов, конвейерных линий, погрузка угля и обслуживание механизмов) составляет 50-69% трудоемкости работ собственно по добыче угля, из них 60% приходится на работы по монтажу-демонтажу и транспортированию комплекса с поверхности в шахту и из лавы в лаву. Ликвидация процессов демонтажа и монтажа комплексов в пределах выемочного поля - серьезный резерв снижения трудоемкости [24, 39,110, 111].

Средние затраты времени на монтаж очистного оборудования участка превышают нормативные в 1,5-3 раза, а на демонтаж - в 2-4 раза. Вновь смонтированные комплексы оборудования простаивают, ожидая окончания работ по монтажу транспортного и другого оборудования участка. Вследствие этого на шахтах забои комплексно-механизированных лав простаивают от 10 до 15 суток. Поэтому привлекает внимание технология бездемонтажного перевода комплекса, что обеспечит уменьшение объема монтажно-демонтажных работ и увеличение коэффициента непрерывного использования оборудования [35].

Испытания на шахтах Кузбасса по развороту механизированного комплекса показали высокую эффективность и прогрессивность такой технологии в направлении увеличения баланса времени непрерывного использования комплексов.

Продолжительность монтажно-демонтажных работ в 2 раза превышает нормативы и составляет соответственно 25 и 26 дней. Превышение нормативов монтажно-демонтажных работ в целом по отрасли равносильно бездействию в течение года около 100 комплексов, или потере 2 млн. тонн угля [112]. Пребывание оборудования в ожидании начала монтажно-демонтажных работ и на их выполнение затрачивается 23,4% календарного времени нахождения оборудования на балансе предприятия. Из 304-х случаев ожидания начала монтажа в 263 (86,5%) продолжительность ожидания составила 1 месяц, в 10,5% случаев - от 2 до 3, в 3% - от 4 до 6 месяцев. Из 430 случаев ожидания демонтажей

в 103 (23,9%) продолжительность ожидания составила от 2 до 6 месяцев. Длительное ожидание демонтажа оборудования приводит к увеличению затрат на эти работы. Значительно превышаются и нормативные сроки продолжительности выполнения монтажно-демонтажных работ. Из 497 случаев в 162 (33,8%) монтаж оборудования производился от 2 до 3 месяцев, а из 438 демонтажей в 167 (38,1%) его продолжительность составляла 2-3 месяца. Имели место случаи и более продолжительного выполнения этих работ [111]. Длительное ожидание начала демонтажа приводит к резкому увеличению трудоемкости этих работ, а иногда и к невозможности извлечения отдельных секции крепи [113].

Установлено, что производительная работа комплексов составляет 61,1% продолжительности смены. За сутки удельный вес производительной работы комплекса снижается за счет ремонтной смены. Если работу комплекса рассматривать за более длительный промежуток времени, например за период отработки выемочного столба, этот показатель будет еще ниже. В это время комплекс находится в различных состояниях: - доставка комплекса к месту монтажа, монтаж комплекса, ожидание окончания других работ на участке, развитие добычи, стабильная работа по отработке выемочного участка, затухание добычи, ожидание демонтажа комплекса, демонтаж, выдача комплекса на поверхность для ремонта, ремонт. Установлено, что при увеличении длины выемочного столба повышается коэффициент непрерывного использования комплекса во времени. Так, при длине выемочного участка 400 м коэффициент непрерывного использования равен - 0,66, при 1400 м - 0,87. При дальнейшем увеличении длины столба (до 2000 м) этот коэффициент повышается, асимптотически приближаясь к величине 0,9, которая является предельной. При применении разворота комплекса для его перевода в смежный выемочный столб эти данные изменяются от 0,79 при длине выемочного столба 400 м до 0,93 при 1400 м [115].

Интересно отметить тот факт, что на шахте "Остерфельд" (ФРГ) разворот лавы производился с помощью компьютера. На мониторе изображался фронт

очистных работ в виде ломаной линии, состоящей из отрезков 15 м. Лава разворачивалась в соотношении 10:1. Это значит, что 1 м наименьшего подвигания соответствует 10 м наибольшего подвигания лавы на разворотном конце. Вследствие этого можно исправить большие отклонения от идеальной линии или вообще избежать их [114].

Западногерманскими исследователями [105] зафиксированы и обобщены причины, по которым отдельные шахты отказываются от разворота или указывают на слабые места этой технологии. Таковыми являются затруднения с управлением кровлей при расположении лавы параллельно кливажу и направлению трещин, необходимость транспортировки угля на подъем, особенно при углах падения выше 20 сон (18°) и выше.

Анализ литературных источников позволил обобщить и систематизировать область применения технологических схем с разворотом очистного забоя. Показатели области применения технологических схем с разворотом очистного забоя условно разделены на три группы: горно-геологические и геомеханические, технологические и технические. В результате анализа в общей сложности было выделено 26 показателей: 14 горно-геологических и геомеханических, 10 технологических и 2 технических. Заметим, что область применения технологических схем с разворотом очистного забоя охватывает широкий круг горно-геологических, геомеханических, технологических и технических условий. В свою очередь, данная технология более эффективна для отработки нарушенных пластов, участков с небольшой длиной выемочного поля при применении тяжелых и габаритных механизированных крепей.

В общей сложности получены 43 причины, условно разделенные на шесть групп: геологические, технологические, технические, экономические, организационные и причины по безопасности работы. Обычно, обосновывая необходимость применения технологических схем с разворотом, авторы называют несколько причин или же, называя одну, подразумевают все остальные находящиеся в детерминированной связи с названной. Например, увеличение

коэффициента непрерывности использования оборудования подразумевает множество других причин, обеспечивающих увеличение первой [115].

Анализ ранее проведенных исследований дал возможность привести достаточно систематизированное изложение технологических задач, которые наиболее удачно решаются с применением технологии разворота механизированных лав. В результате было получено 28 пунктов, в перечне технологических задач, решаемых с помощью разворота механизированного комплекса. Отметим, что развороты механизированного комплекса применяются в основном для отработки нарушенных пластов в качестве технологического удлинения выемочных участков и обходов и переходов нарушений, а также как средство наиболее полной выемки угля и управления кровлей.

Далее выделены и систематизированы мероприятия, выполнение которых рекомендуется при реализации технологических схем, предусматривающих разворот механизированной лавы. В общей сложности выделено 84 мероприятия и рекомендации. Для удобства восприятия они классифицированы по пяти признакам: цели, месту проведения, объекту, характеру и времени проведения. Указывается еще один признак: страна, предлагающая мероприятие. Отметим, что комплекс мероприятий, рекомендуемых к выполнению при развороте очистного забоя, охватывает систему участковых выработок, включая лаву и оборудование лавы, и других выработок. Для сопряжения лавы с обводной выработкой рекомендации отсутствуют. Это связано с тем, что в силу различия горно-геологических и других условий практически невозможны один или несколько унифицированных паспортов крепления сопряжения лавы с прилегающими выработками [45].

В заключение отметим, что выбранная технологическая задача является актуальной во все более ухудшающихся условиях разработки угольных пластов, область применения технологии разворота достаточно обширна и решает широкий круг технологических задач.

ВЫВОДЫ

1. Анализ тенденций развития технологий разработки угольных месторождений показал увеличение многообразия технологических решений в соответствии с усложнением условий разработки. Это привело к необходимости постоянного совершенствования компетенции специалистов шахт с одновременным увеличением количества подготавливаемой проектной и плановой документации. Постоянно увеличивающееся многообразие технологических решений поставило проблему выбора наиболее рациональных из них и привело к принципам модульности и иерархичности построения нормативных технологических документов.

2. Анализ методов решения технологических задач показал несовершенство современной методологии, что связывается с характеристиками этих задач, не поддающихся математической формализации. В настоящее время широкое распространение получила инженерия знаний - направление, развивающееся в рамках исследований ИИ, которое призвано как раз для решения трудноформализуемых задач, к каковым относятся и организационно-технологические задачи.

3. В связи с усложнением условий разработки появился широкий круг новых технологических решений, к которым относится и разворот механизированной лавы. С помощью разворота решаются различные технологические задачи, однако основное его предназначение - бездемонтажный перевод комплекса в новый выемочный участок. Эта технология рассматривается как результат поступательного развития технологии от низшего к высшему. Это говорит о том, что технология разворота лавы является достаточно презентативной технологической задачей.

4. Сформулированы цель, идея, задачи и определены методы исследований.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ И КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

2.1. Принципы маневрирования механизированной лавы в плоскости пласта

Маневрирование лавой в плоскости пласта подразделяется на компенсационное (периодическое) и технологическое (эпизодическое) [70]. 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 [116].

1.Согласованный разворот всех секций крепи при задании хода гидродомкратов передвижки .

2. Разворот базовой балки конвейерного става при его передвижке волной.

3.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 (r_3) 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 неподвигается до угольного забоя на величину r_3 . Секции крепи передвигаются вслед за проходом комбайна.

В обратном направлении происходит зачистка машинной дороги. На этом работы по выемке цикла заканчиваются. Рассмотрим ступенчато-циклический способ разворота лавы. Все необходимые параметры с характеристиками и расчетными формулами приводятся в табл. 2.1.

Ступенчато-циклический способ разворота лавы осуществляется следующим образом. Забой лавы разделяют на определенное число ступеней. Длина ступени и их число по длине лавы определяются по соответствующим формулам.

Полученные расчетом длина и число ступеней взаимно корректируются с учетом ширины секций крепи и зазоров между ними, а также количества секций. Затем рассчитываются и другие необходимые для схемы разворота параметры (табл.2.1). 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 и перемещающегося центра.

Подвижность центра реализуется за счет снятия между определенным количеством циклов по развороту одной или нескольких полных выемочных полос по всей длине лавы.

В заключение отметим, что 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.

Таблица 2.1 - Известные количественные параметры, характеризующие модули разворота и их расчетные формулы

Параметры	Единица измерения	Характеристика параметра	Расчетная формула	Порядковый номер формулы
1. r_3	м	Ширина захвата исполнительного органа выемочной машины	-	-
2. $l_{л}$	м	Длина лавы	-	-
3. $l_{н}$	м	Длина ниши	-	-
4. b	м	Ширина обводной выработки	-	-
5. a_0	м	Зазор между крайней секцией механизированной крепи и внешней стороной обводной выработки	-	-
6. β	град	Принятый угол изгиба очистного забоя определяемый углом взаимного разворота секций конвейера; $\beta \in [0; 3]$; обычно принимается: $\beta = 2^\circ 30'$	-	-
7. α_p	град	Угол разворота лавы; $\alpha_p \in [0; 180]$	-	-
8. $l_{ст}$	м	Длина ступени	$l_{ст} = r_3 \operatorname{ctg} \beta$	(2.1)

9. X	-	Число ступеней по длине лавы	$X = \frac{L_{л} - \sum l_{н}}{l_{ст}}$	(2.2)
10. n _ц	-	Число ступеней, соответствующих развороту лавы на угол α_p	$n_{ц} = \frac{\alpha_p}{\delta}$	(2.3)
11. F	м	Расстояние, на которое перемещается внешний фланг лавы за один цикл разворота	$F = X \cdot r_3$	(2.4)
12. L _о	м	Длина ломаной линии, из которых состоит обводная выработка	$L_o = 2 L_{л} \sin g/2$	(2.5)
13. g	град	Угол разворота лавы при движении по обрезку обводной выработки	-	-
14. g _{max}	град	Максимальный угол g	$\sin \frac{g_{max}}{2} = \frac{\sqrt{2L_{л}(b-a_o) - (b-a_o)^2}}{L_{л}}$	(2.6)
15. n _о	-	Количество отрезков обводной выработки	$n_o = \alpha_p / g$	(2.7)

2.2. Определение признаков, характеризующих технологические схемы маневрирования людей

Выполнение работ настоящего этапа производилось на основе БД отдельно по каждому технологическому уровню. Этот этап исследований 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 (табл. 2.2).

Таблица 2.2 - Признаки, характеризующие технологические схемы первого технологического уровня

ПРИЗНАКИ	Номер рисунка в БД		
	Схемы, рекомендуемые к внедрению	Прецеденты разворотов лав	Изобретения
1. Вид выемочного средства:			
комбайн	44	большинство схем 51	-
струг	-		-
2.Количество выемочных машин в разворачиваемом очистном забое:			
одна	-	большинство схем 50;73;92;79;93	-
две	44		-

три	-	68;94	-
-----	---	-------	---

Признаки, характеризующие второй технологический уровень

Анализ схем, представленных в БД, позволил выделить 10 признаков, которые характеризуют схемы второго технологического уровня (табл. 2.3).

Таблица 2.3 - Признаки, характеризующие технологические схемы второго технологического уровня

ПРИЗНАКИ	Номер рисунка в БД		
	Схемы, рекомендуемые к внедрению	Прецеденты разворотов лав	Изобретения
1. Подвижность центра:			
неподвижный	21;22;26;28-30;37	59-66;74;76;79;93	99-101
плывущий	23-25;27;38-43	48-50;69-73;75;77; 78;80;82-84;85-87	98;103
подвижный	21-22;26-30;41-43	88-89	97
1.1. Если плывущий центр, то траектория, описываемая внутренним флангом лавы, в виде:			
дуги окружности	23-25;27	85-89	98
прямой линии (при узком забое)	38-43	84	-
1.2. Если подвижный, то модуль прямого хода реализуется за счет:			
целика между параллельными выработками	22;26;41	88	97
целика выемочного участка	28-30	-	-
целика, образуемого спец. выработкой	21;42-43	48;89	-

2. Наличие выработки, параллельной средней: имеется	22-24;26-27;40-43	48;82;85-89	97-99
не имеется	21;25;28-30;37-39	59-66;74;76;79	100-102
2.1. Если параллельная выработка имеется, то она:			
обеспечивает подвижный центр	22;26;27;41	48;82;88-89	97
не обеспечивает подвижного центра	23-24;40;43	-	98;99
2.2. Если параллельная выработка имеется, то обрабатывается между ними целик:			
нет	22;23;24;26;27;41	48;82;88-89	97;98
да	40	-	99
3. Наличие спец. выработки в зоне центра разворота:			
имеется	21;24;25;42;43	48;82;83	104;105
не имеется	все остальные схемы	все остальные схемы	все остальные схемы
3.1.1. Если спец. выработка односторонняя, то дополнительный разворот производится:			
перед полным разворотом (с отворотом)	42;43	48;82;83	-
после полного разворота (с доворотом)	24	-	-

4. Наличие «большого смещения» центра разворота имеется	-	-	104;105
не имеется	все схемы	все схемы	все остаточные схемы
5. Наличие демонтажа части секций механизированной крепи со стороны центра разворота: имеется	39	-	100
не имеется	все остальные схемы	все схемы	все остальные схемы
5.1. Если имеет место демонтаж части секций, то он производится: сразу			
постепенно	-	-	100
6.Разворот ближних к центру разворота секций механизированной крепи: имеется	39	-	-
не имеется	-	-	101
7.Химическое закрепление пород центра разворота: имеется	все схемы	все схемы	все остальные схемы
не имеется	-	59	все схемы
8.Изменение длины лавы во время разворота со стороны внешнего фланга: имеется	все схемы	все остальные схемы	102;103

не имеется	-	52;70;71;74;75;79 82;83	все остальные схемы
8.1.Если имеет место изменение длины лавы, то оно производится: за один прием	все схемы	все остальные схемы	-
постепенно	-	52;70;74	-
9.Выход внешнего фланга за пределы выемочного участка: имеется	-	74;75;79;82;83	102;103
не имеется	-	83	-
10.Обводная выработка проходится: во время разворота	все схемы	все остальные схемы	все схемы
до начала разворота	44	73;92	-
	практически все остальные	практически все остальные	практически все остальные

Признаки, характеризующие третий технологический уровень

В результате анализа БД было выделено 17 признаков, характеризующих третий технологический уровень (уровень выемочного участка) (табл. 2.4).

Таблица 2.4 - Признаки, характеризующие технологические схемы третьего технологического уровня

Признаки	Номер рисунка в БД		
	Схемы, рекомендуемые к внедрению	Прецеденты разворотов лав	Изобретения
1	2	3	4
1.Схема подготовки шахтного поля: панельная	12-15;17-18; 21-22; 28-31; 33-34	48-49;70-73; 76;79	95-99; 101

погоризонтная	19-20;32	74	100-102
этажная	9; 16	-	-
1.1. Для панельной и этажной подготовки - порядок отработки ярусов (этажей):			
нисходящий (разворот по падению)	9;16-18	48-50;76	97-99; 101; 103; 104-105
восходящий (разворот по восстанию)	32	48;70-73	-
комбинированный (поочередно по восстанию и по падению)	10; 34	-	-
2.Способ подготовки технологического участка (эксплуатационного блока):			
пластовый	15-16; 18-19;21-22; 28;31-36	практически все схемы	97-99;103- 104
полевой	9; 17; 20; 29; 30	-	100-102
3.Местонахождение вскрывающих технологический участок (эксплуатационный блок) выработок:			
с одной стороны	10; 18; 21-22	48; 50	99-101;103; 105
с двух сторон	11; 16; 20; 29; 30	61	100; 102; 104
в центре	9	51	-
комбинированное	17; 30; 34	-	-

4.Отработка: одионочного пласта	9-14;16-47	48-88	95-106
сближенных пластов	15	-	-
5.Система разработки:			
столбовая	9; 12-22; 28-32;34-36;45-47	48-49;67;72; 74; 76;79	97-105
сплошная	44	73	-
комбинированная	33	73	-
6.Отработка эксплуатационного блока (технологического участка):			
по непрерывной схеме одним комплексом	10	59	-
по схеме с разворотом и периодическим перемонтажом	18-22; 28-32	48;50-51	97-105
7.Разворот:			
в сторону целика	9-11	48; 49; 51	100; 102
в сторону выработанного пространства	20	50	-
8.Разворот:			
от целика	16;17	50	100
от выработанного пространства	9;19;20	48	100; 102
9.Отработка: с оставлением целиков	22	85-88	97-98

бесцеликовая	9-10;16-19	-	99-104
10.Сохранение выработки для повторного использования:			
конвейерной	9-10; 12;	48; 51; 67; 71;	99-105
вентиляционной	20-21	74	
11.Выемочный участок , отрабатываемый одним комплексом, имеет:	10; 12; 16; 17	50	100; 102
модули разворота и прямого хода	9-12;16-22	48-88	95-106
только модули разворота	15	-	-
12.Местонахождение монтажной камеры:			
в целике выемочного участка	9-11;20-22	практически все схемы	95-104
на выработке	12	78; 79	-
13.Местонахождение демонтажной камеры:			
в целике выемочного участка	9;16-22	практически все схемы	95-104
на выработке	10	-	-
14.Угол разворота:			
180°	9-12;15-22	48-59;67; 68	97-104
менее 180°	10; 34; 45-47		95;96;101

15.Местоположение модулей разворота в выемочном участке:		51;60-66;68; 76-81	
в начале	10; 12; 15		-
в конце	10; 15	61;76;78;81	-
в середине	9-11;15-22	80	95-105
16.Количество модулей разворота в выемочном участке:		48-57;60; 62-66 67-68	
один	18-22		97-;04
более одного	9-15	48;50;52-57; 60-62;64	95-96
16.1. Если "более одного":		48-49;51;58-59 63;65-68	
все в одну сторону	10; 12; 34		95-96
все в разные стороны	9;11;36	51;58;68	-
16.1.1. Если "в разные стороны" и модули разворота на 180°, то это ленточная схема отработки	9; 11;36	48-49;59;67	-
16.1.1.1. Ленточная схема отработки:			
с одной сменой фланга маневрирования	-	48; 49	-
более одной смены фланга маневрирования	9; 11;36 12(12)-14 (14)	59; 67	-
спиральная схема отработки	10(10); 34(34)	-	-

16.1.2.1.Спираль: объемная плоская	12(12)-14(14)	- 51; 58;68	-
16.1.2.2.Спираль: одновитковая двухвитковая	10(10); 34(34)	51;58;68	-
17. Режим выемки: с присутствием человека в очистном забое	9(9)-14(14) 16(16)- 47(47)	- все	-
без присутствия человека в очистном забое	15(15)	-	-

3.Третья группа признаков (с 7 по 10) позволяет характеризовать отношения (в основном пространственные и временные) между выемочными участками одного или нескольких эксплуатационных блоков (технологических участков) и между отдельными смежными модулями одного выемочного участка, отрабатываемого с разворотом очистного забоя. Два признака (7 и 8) этой группы являются новыми и два (9 и 10) уже выделенными классификационными признаками.

Последний 17-й выделенный признак касается уровня автоматизации работ при определенных технологических схемах. Его в отдельную группу выделять не стали. Вернемся к рис. 2.1. Зачастую технологическая схема отработки выемочного участка с разворотом очистного забоя содержит несколько модулей разворота. В литературе для обозначения отдельных таких схем введены понятия ленточной и спиральной отработки выемочного участка. Дадим определение этих понятий.

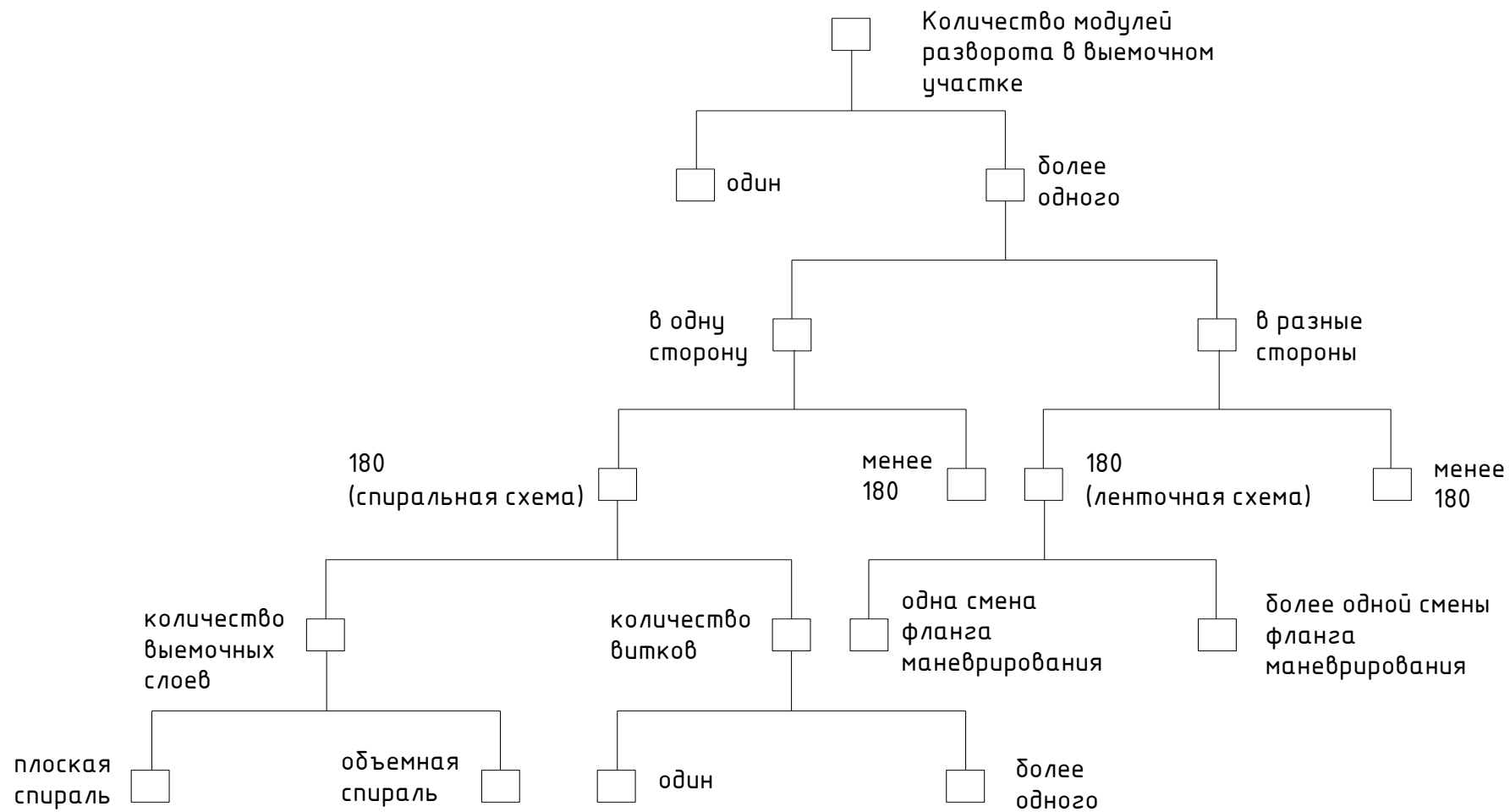


Рис. 2.1 - Классификация технологических схем относительно количества модулей разворота в выемочном участке

Под ленточной технологией отработки выемочного участка будем понимать технологическую схему, содержащую как минимум два модуля разворота на 180° , причем при каждом последующем полном (на 180°) развороте происходит смена маневрирующего фланга.

Под спиральной технологией отработки выемочного участка будем понимать технологическую схему, содержащую, как минимум, два модуля разворота на 180° , причем все полные (на 180°) развороты без смены фланга маневрирования.

Из приведенных определений можно заключить, что главным отличием двух видов технологических схем является смена фланга маневрирования. Необходимо отметить, что в данном случае под полным (на 180°) разворотом понимается технологический модуль разворота на 180° в несколько приемов, т. е. состоящий из нескольких технологических модулей с углом разворота меньше 180° без смены фланга маневрирования, разделенных прямолинейными участками любой длины. В начале и в конце технологической схемы (ленточной или спиральной) могут иметь место модули разворота меньше 180° .

2.3. Разработка классификации технологических схем ведения очистных работ с разворотом механизированной лавы

Первая попытка классификации технологических схем с разворотом механизированных комплексов учитывала только три признака, ряд других оказались не рассмотренными, хотя для условий отечественных шахт они являются существенными [117].

В основу предлагаемой классификации положено три основных признака, которые объединяются в группы: технологические схемы подготовки выемочных полей с разворотом комплекса; технологические схемы разворота комплекса и, наконец, технология разворота комплекса [116,118, 119].

Первая группа делится на три подгруппы. Классификационным признаком первой подгруппы является порядок проведения выемочных и оконтуривающих выработок относительно начала разворота комплекса. Эта подгруппа включает технологические схемы:

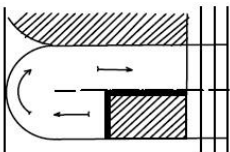
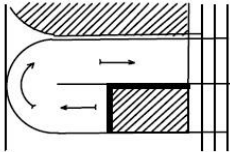
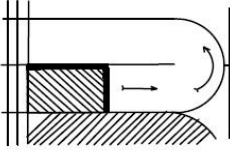
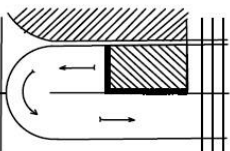
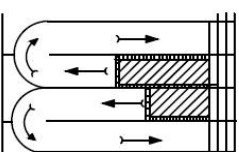
- с одновременным проведением очистных работ, подготовительных и оконтуривающей выработок;
- с предварительным проведением выемочных и оконтуривающей выработок.

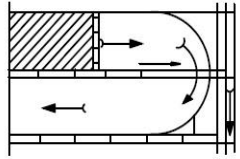
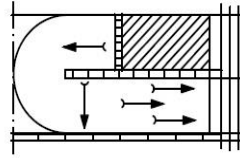
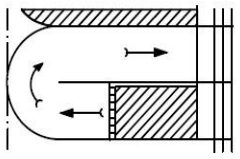
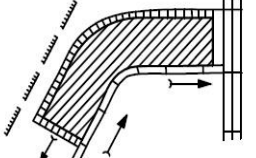
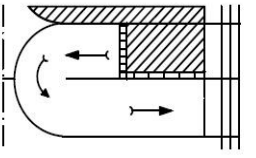
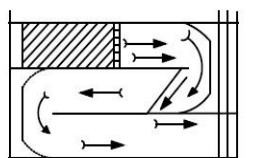
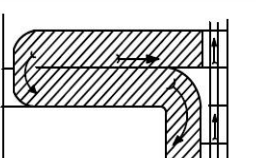
Наличие предварительно проведенной примыкающей к очистному забою выработки нового столба является вторым классификационным признаком. При этом применяются технологические схемы с повторным и без повторного использования примыкающих выработок при развороте комплекса; схемы с одновременным использованием одной примыкающей выработки при развороте комплекса в двух выемочных столбах.

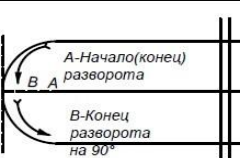
Третья подгруппа, которую характеризует расположение транспортной выработки относительно магистральной, делится на два варианта:

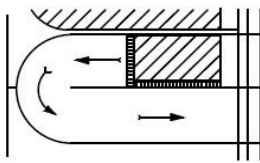
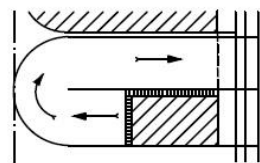
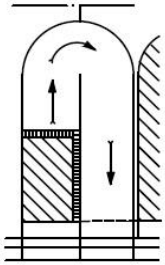
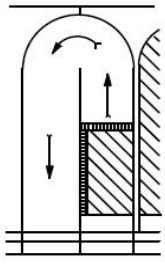
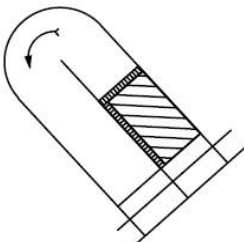
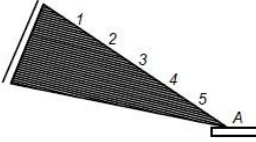
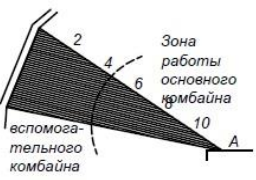
- с переходом примыкающей транспортной выработки при развороте комплекса;
- без перехода примыкающей транспортной выработки при развороте комплекса.

Таблица 2.5 - Классификация технологических схем разворота

Классификация технологических схем отработки выемочных полей с разворотом механизированных комплексов			
Классификационные признаки внутри группы (подгруппы)	Технологические схемы подготовки участка и разворот комплекса	Графическое изображение схемы отработки участка и разворота	Область применения технологической схемы
1. Порядок проведения выемочных и оконтуривающих выработок относительно начала разворота комплекса	1.1 С одновременным проведением очистных работ, подготовительных и оконтуривающей выработок		При отработке пластов мощностью от 0,8 до 1,3м с углом падения до 12°, породах средней устойчивости и устойчивых, обеспечивающие условия для повторного использования конвейерного и вентиляционного штрека
	1.2 С предварительным проведением выемочных и оконтуривающей выработок		Угол падения пластов 12° мощностью от 1 до 4,5м породы средней и вышесредней устойчивости, обеспечивающие условия для повторного использования конвейерного штрека, минимальный размер выемочного столба 300-350 м
2. Наличие предварительно проведенной примыкающей к очистному забою выработки нового столба	2.1 С повторным использованием примыкающих выработок при развороте комплекса		Угол падения пластов до 12°, мощность от 1-1,3 до 4,5м, породы средней высшей устойчивости, обеспечивающие условия для сохранения и повторного использования конвейерного штрека и вентиляционного, подрабатывающего с одной стороны горными работами
	2.2 Без повторного использования примыкающих выработок при развороте комплекса		Угол падения пластов 12°, мощность от 1-1,3 до 4,5м, породы не обеспечивают условия для повторного использования вентиляционного штрека, их проводят вприсечку к выработанному пространству
	2.3 С одновременным использованием одной примыкающей выработки при развороте комплексов в двух выемочных столбах		Угол падения пластов до 12, мощность от 1-1,3 до 4,5 м, при наличии фланговой вентиляционной выработки и необходимости разместить в пределах крыла панели два очистных забоя

3. Расположение транспортной выработки относительно магистральной выработки	3.1 С переходом примыкающей транспортной выработки при развороте комплекса		При наличии условий, перечисленных в п.п 1 и 2, и при изменении первоначального проекта отработки участка, когда установлено, что разворот комплекса обеспечивает высокую эффективность
	3.2 Без перехода примыкающей транспортной выработки при развороте комплекса		При наличии условий, перечисленных в п.п 1 и 2
4. Угол разворота комплекса относительно к очистному забою транспортной выработки	4.1 Полный разворот комплекса на 180°		При наличии условий, перечисленных в 1 и 2, и планировки горных работ, при которой возможен полный разворот комплекса
	4.2 Разворот комплекса на угол менее 180°		При наличии условий, перечисленных в п.п 1 и 2, а также планировки горных работ или наличии не переходимых геологических нарушений, когда поворот комплекса обеспечивает минимальные потери полезного ископаемого
5. Число изменений направлений движения очистного забоя относительно элементов залегания пласта	5.1 С одиночным разворотом (поворотом)		При наличии условий, перечисленных в п.п 1 и 2 участков, ограниченных размерами, допускающих только один разворот или наоборот участков большой длины, когда после отработки двух смежных столбов комплекс подлежит списанию
	5.2 С многократный одного вида разворотом (поворотом) комплекса		При наличии условий, перечисленных в п.п 1 и 2 на пластах повышенной мощности (2,5-4,5м) и участках относительно небольшой длины, но с размером по падению не менее трех длин лав, с наличием или без фланговой и транспортной выработок
	5.3 С многократным разворотом комплекса с повторением поворота другого вида		При наличии условий, перечисленных в п.п 1 и 2, а также сложной конфигурации участка, когда поворот комплекса обеспечивает минимальные потери угля

6. Длина очистного забоя	6.1. Без изменения длины очистного забоя в процессе разворота комплекса		При наличии условий, перечисленных в п.п. 1 и 2 длине очистного забоя не более 50-70 м и добыче малоценного полезного ископаемого, когда ущерб от их потерь в углах выемочного столба будет незначительным
	6.2. С изменением длины очистного забоя в процессе разворота комплекса	 l- величина смещения центра разворота, м	При наличии условий, перечисленных в п.п. 1 и 2 при длине лавы более 50-70м, при повышенной мощности пласта (более 2м) и добыче ценных полезных ископаемых, когда ущерб от их потерь в углах выемочного столба будет значительным.
7. Направление транспортирования угля относительно центра разворота (по характеру перемещения привода)	7.1 С изменением направления транспортирования угля в очистном забое		При наличии условий, перечисленных в п.п. 1 и 2 в том случае когда транспортный штрек обслуживает обе смежные лавы, т.е. используется повторно привод забойного конвейера перемещается или вокруг центра или по обводной выработке
	7.2 Без изменением направления транспортирования угля в очистном забое		При наличии условий, перечисленных в п.п. 1.2 и в том случае когда производится перемонтаж привода забойного конвейера, а каждая из лав обслуживается своим конвейерным штреком
8. Перемещение узла напряжения очистного забоя с замыкающей выработкой относительно центра разворота	8.1 С неподвижным центром разворота комплекса		При наличии условий, перечисленных в п.п. 1.2 и при слабых породах кровли когда проводится конвейерный штрек с параллельной выработкой
	8.2 С подвижным центром разворота комплекса		При наличии условий, перечисленных в п.п. 1.2 при наличии весьма устойчивой породы кровли, когда зона разворота надежно удерживается искусственной крепью (ангибрита, железа-бетонных тумб, физико-химического упрочнения и т.п.)
	8.3 Со скользящим (пльвущим) центром разворота комплекса		При наличии условий, перечисленных в п.п. 1.2 и породах средней устойчивости когда эффект "топтанья" крепью пород кровли сказывается отрицательно на ее устойчивости
	8.4 Со скользящим центром и разворотом комплекса в два приема		При наличии условий, перечисленных в п.п. 1и 2 при наличии весьма слабых пород кровли, когда повторное использование конвейера штрека полностью исключается и высокой обводненности пласта и вмещающих пород

9. Направление перемещения подвижной плоскости очистного забоя относительно элементов залегания пластов при развороте	9.1 С разворотом комплекса по падению пласта при отработке столба по простиранию		При наличии условий перечисленных в п.п. 1.2. и возможности сохранения вентиляционного штрека в выработанном пространстве с целью повторного использования при отработке смежного выемочного поля
	9.2 С разворотом комплекса по восстанию пласта при отработке столба по простиранию		При наличии условий перечисленных в п.п. 1 и 2. и необходимости проведения вентиляционного штрека вприсечку к выработанному пространству или проведения штрека вслед за лавой на тонких пластах (п.1.1)
	9.3 С разворотом комплекса при отработке столбов по падению (восстанию) в сторону выработанного пространства		При отработке пластов мощностью до 2-2,2м с углом падения до 6-8°, породах средней устойчивости проведения вентиляционного ходка вприсечку в выработанном пространстве
	9.4 С разворотом комплекса при отработке столба по восстанию (падению) в сторону массива ископаемого		При отработке пластов мощностью до 2-2,2м с углом падения до 6-8°, породах средней устойчивости и устойчивых, и возможности сохранения и повторного использования вентиляционного ходка при отработке смежного выемочного поля
	9.5 С разворотом комплекса при отработке столба по диагонали		При условиях перечисленных в п.п. 9.3,9.4 и конфигурацией выемочного поля, обусловленной планировкой горных работ и расположений геологических нарушений
10. Число комбайнов (струговых установок), работающих в очистном забое при развороте комплекса	10.1 С одним комбайном (струговой установки)		При наличии условий перечисленных в п.п. 1.2,9.3,9.4 при длине лавы до 120-150 м при комбайновой и до 200-250м при струговой выемке
	10.2 С двумя комбайнами		При наличии условий перечисленных в п.п. 1.2,9.3,9.4 при длине лавы более 120-150 м

Вторая группа классификации: - технологические схемы разворота комплексов делится на шесть подгрупп, отличающихся:

- углом разворота комплекса относительно примыкающей к очистному забою транспортной выработки;
- числом изменений направлений движения очистного забоя относительно элементов залегания пласта;
- длиной очистного забоя в процессе разворота;
- направлением транспортирования угля относительно центра разворота (характером перемещения привода);
- схемой перемещения угла сопряжения очистного забоя с примыкающей выработкой относительно центра разворота;
- направлением перемещения подвижной плоскости очистного забоя относительно элементов залегания пласта при развороте.

Для первой подгруппы разработаны варианты технологических схем с полным разворотом комплекса на 180° и поворотом его на угол менее 180° . Вторая подгруппа предусматривает применение технологических схем с одиночным разворотом (поворотом), с многократным одного вида разворотом комплекса и с многократным разворотом комплекса с повторением поворота другого вида. В зависимости от горно-геологических условий длина очистного забоя и направление транспортирования угля в процессе разворота (третья и четвертая подгруппы) может оставаться постоянной или изменяться.

Пятой подгруппой предусматривается возможность применения технологических схем с подвижным и неподвижным центром разворота. И наконец, в шестой подгруппе представлены технологические схемы:

- с разворотом комплекса при отработке столбов по падению (восстанию) в сторону выработанного пространства;
- с разворотом комплекса при отработке столба по восстанию (падению) в сторону массива полезного ископаемого;
- с разворотом комплекса при отработке столба по диагонали.

Третья группа в качестве классификационного признака использует число комбайнов (струговых установок), работающих в очистном забое при развороте комплекса. Она отражает практику использования как при отработке выемочных столбов, так и при развороте комплекса одного или двух комбайнов в забое лавы для очистной выемки.

Каждая перечисленная группа дополняется возможными вариантами технологических схем и технологии разворота комплекса, которые детализируют каждый из перечисленных признаков систематизации.

По времени повороты могут выполняться:

- сразу после первичного монтажа механизированного комплекса с целью снижения потерь у бремсбергов (уклонов), основных штреков. При этом возможны варианты поворотов лав с одновременным монтажом дополнительных секций;

- в процессе отработки выемочного столба;

- на концевых участках выемочных столбов с целью увеличения их суммарной длины;

- перед демонтажем механизированного комплекса на концевых участках столбов у бремсбергов (уклонов), основных штреков.

Для каждого варианта технологической схемы, приведенного в таблице 2.5 определена область возможного применения.

В рамках семиотического моделирования необходимо отметить, что анализ существующих классификаций будет производиться с позиций уровневого деления технологических схем. Этот момент является принципиальным по двум причинам. Во-первых, именно уровневая организация знаний о технологии реализует главный принцип методологии гибкой технологии - модульность. Дело в том, что сшивка модулей одного уровня дает технологический модуль следующего уровня. Причем технологические уровни имеют эмерджентную связь, т. е. переход на следующий верхний по иерархии уровень дает модулю новые качественные характеристики, что отражается в

делении классификационных признаков на одно -, двух - и трехуровневые. Это является второй причиной.

Известны две попытки классификации технологических схем с разворотом механизированной лавы. В первом случае [105] учтено три классификационных признака.

Наиболее полная классификация, включающая в себя отмеченную выше дается в работе [120]. В основу рассматриваемой классификации положены три основных признака, которые объединяются в группы: технологические схемы подготовки выемочных полей с разворотом комплекса; технологические схемы разворота комплекса; технология разворота комплекса. Нетрудно заметить, что выделенные группы соответствуют уровневому делению технологии, принятому в гибкой технологии. Однако, на наш взгляд, приводимая классификация с позиций методологического подхода гибкой технологии требует уточнения. Имеются замечания по трем пунктам:

1. Отдельные классификационные признаки отнесены не к соответствующей группе (не к тому технологическому уровню). Так, классификационный признак "Число изменений направления движения очистного забоя относительно элементов залегания пласта" отнесен ко второй группе (рис. 2.2). На наш взгляд, этот признак должен принадлежать к третьему уровню. Это связано с тем, что данный признак характеризует форму выемочного участка, показывая, из каких технологических модулей уровня прирезки и в каком порядке составлен выемочный участок.

2. Для отдельных классификационных признаков неправильно даны их значения. Для признака "Направление транспортирования угля относительно центра разворота" оба приведенных значения равнозначны (рис. 2.4). В обоих случаях во время разворота уголь по очистному забою транспортируется в одном направлении - к центру разворота. В другом случае для признака "Направление перемещения подвижной плоскости очистного забоя относительно элементов залегания пластов при развороте" указаны пять значений (рис. 2.5). Но для 3 и 4 значений с плюсом указывается еще один признак, который на наш взгляд,

должен быть выделен в самостоятельный - разворот лавы в сторону массива или выработанного пространства.

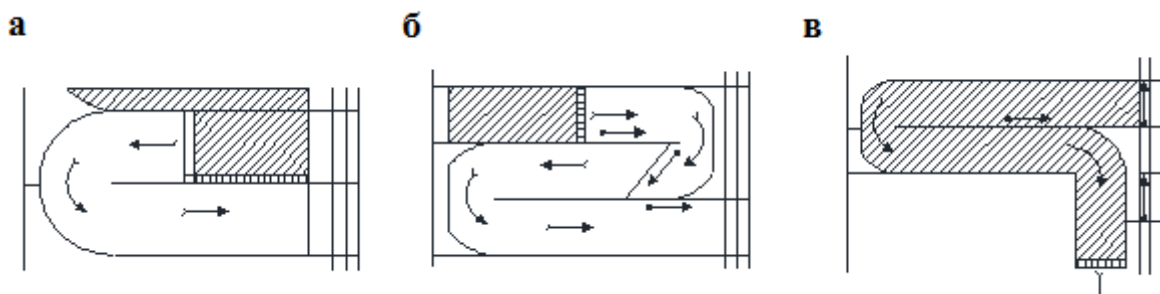


Рис. 2.2 - Классификация схем относительно признака «число изменений направлений движения очистного забоя относительно элементов залегания пласта»:

а - с одиночным разворотом; **б** - с многократным разворотом; **в** - с многократным разворотом комплекса с повторением поворота другого вида

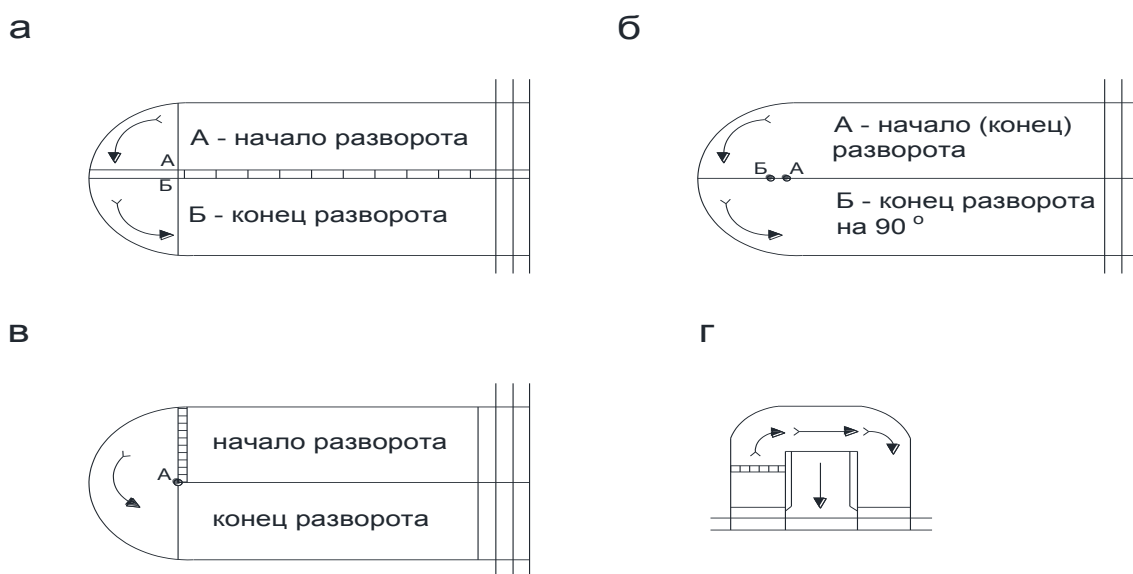


Рис. 2.3 - Классификация схем относительно признака «перемещение узла сопряжения очистного забоя с примыкающей выработкой относительно центра разворота»:

а - с неподвижным центром разворота; **б** - с подвижным центром поворота; **в** - со скользящим (плывущим) центром разворота ; **г** - со скользящим разворотом комплекса в два приёма

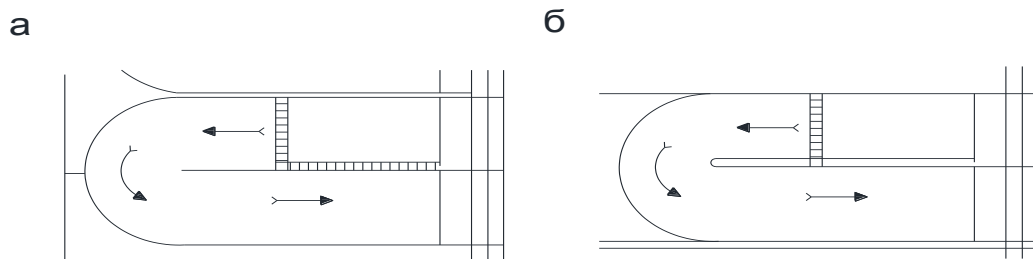


Рис. 2.4 - Классификация схем по признаку «направление транспортирования угля относительно центра разворота»:

а - с изменением направления транспортирования угля в очистном забое; **б** - без изменения направления транспортирования угля в очистном забое

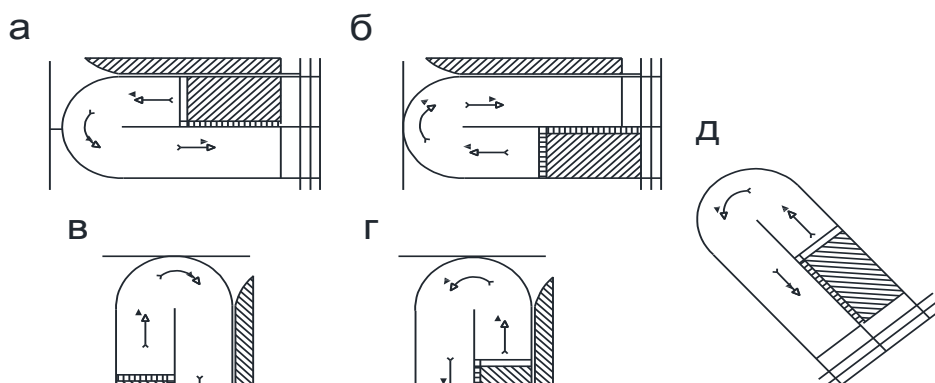


Рис. 2.5 - Классификация схем относительно признака «направление перемещения подвижной плоскости очистного забоя относительно элементов залегания пластов при развороте»:

а - с разворотом комплекса по падению пласта при отработке столба по простиранию; **б** - с разворотом комплекса по восстанию пласта при отработке столба по простиранию; **в** - с разворотом комплекса при отработке столбов по падению (восстанию) пласта в сторону выработанного пространства; **г** - с разворотом комплекса при отработке столба по восстанию (падению) пласта в сторону массива угля; **д** - с разворотом комплекса при отработке столба по диагонали

3. Для некоторых признаков необходимо давать помодульные и уровневые классификации. Так для признака "Перемещение узла сопряжения очистного забоя с примыкающей выработкой относительно центра разворота" указаны четыре значения: неподвижный центр разворота комплекса; подвижный центр разворота комплекса; скользящий (пывущий) центр разворота комплекса; скользящий центр и разворот комплекса в два приема (рис 2. 3).

В данном случае подвижным называется центр потому, что два модуля разворота по 90° разделены прямолинейным участком. Здесь центр будет подвижным относительно всего модуля разворота на 180° . Для каждого же модуля разворота на 90° центр будет неподвижным. Другими словами, говоря о подвижности центра разворота необходимо указывать модуль, относительно которого он подвижен или неподвижен, т. е. применять помодульную классификацию.

Говоря о "пывущем центре" - в данном случае он действительно является пывущим как в отношении полного (на 180°) разворота, так и для модулей разворота на 90° , однако, если рассматривать один или несколько циклов разворота, перемежаемых полными выемочными полосами (за счет которых и осуществляется "пывучесть" центра), то можно сказать, что данный технологический модуль является модулем с неподвижным центром. То есть данную технологическую схему можно рассматривать как набор модулей с неподвижными центрами разворота, перемежаемых одним или несколькими модулями прямолинейного движения комплекса. Здесь мы приходим к тому же выводу: указывая на "пывучесть" центра разворота, необходимо указывать, относительно какого технологического модуля она определяется.

Четвертое значение рассматриваемого признака - скользящий центр и разворот в два приема - представляет из себя с позиций модульного подхода сложный технологический модуль, состоящий из двух модулей разворота со скользящим центром и модуля прямолинейного движения, определяющего подвижность центра разворота для полного (на 180°) модуля разворота. В принципе, подобных комбинаций здесь может быть достаточное количество.

Уровневый подход к классификационным признакам будет рассмотрен в следующем параграфе.

Отдельно рассмотрим классификационный признак первого технологического уровня - "Число выемочных машин, работающих в очистном забое при развороте комплекса". Здесь рассматривается 2 значения: с одной и с двумя выемочными машинами. Как показал анализ, разворот лавы возможен и с тремя выемочными машинами (табл. 2. 5).

Обратим внимание еще на одну деталь предложенной классификации: все классификационные признаки даются относительно разворота комплекса, а не очистного забоя. На самом деле не всегда траектории перемещения флангов комплекса и лавы совпадают.

В данной работе классификация разрабатывается на основе выделенных признаков, характеризующих технологические схемы маневрирования лавой в плоскости пласта и с учетом существующих классификаций. Разработка классификации производится на основе принципов модульности и уровневого деления технологии. Выше отмечалось, что межуровневые связи имеют эмерджентный характер, т. е. при переходе от уровня к уровню имеет место изменение качественных признаков, характеризующих технологические модули, технологические модули каждого уровня имеют качественные признаки, содержание (функциональные характеристики) и форму.

Содержанием технологических модулей является формирование выемочного контура посредством определенных технологических способов (приемов). Выемочными контурами в свете уровневого деления технологии служат выемочная полоса, прирезка и выемочный участок. Технологическими способами первого технологического уровня являются: односторонняя или челноковая схема работы выемочной машины; количество выемочных машин в забое и порядок их работы; способ отбойки угля (шнеками комбайна или стругом); выемка прямоугольных или другого вида стружек и т.д. Технологическими способами второго уровня могут быть: прямой ход лавы; ее разворот; монтажно-демонтажные работы и т. д. К технологическим способам

третьего уровня можно отнести: взаимоотношения подготовительных и очистных работ рассматриваемого выемочного участка; положение выемочного участка относительно элементов залегания пласта; взаимоположение выемочного участка и выработанного пространства или угольного массива; количество выработок обслуживающих выемочный участок; сохранение или погашение выработок; взаимоположение выемочного участка и вскрывающих выработок и т.д. Все перечисленные способы должны отражаться в уровневых классификационных деревьях.

Геометрические характеристики технологического модуля определяют его форму. Форма технологических модулей первого уровня может быть: треугольной; прямоугольной; трапециевидной; пятиугольной. Формой модулей второго технологического уровня служат: треугольник; прямоугольник; сектор круга или кольца и другие геометрические фигуры. Формы модулей третьего уровня наиболее разнообразны и могут быть от простого прямоугольника до различных спиралей и лентовидных фигур, а также до любых произвольных очертаний. Возможные перечисленные формы технологических модулей должны быть представлены в уровневых классификационных деревьях.

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. 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.

В заключение повторимся и еще раз сформулируем принципы, цели и задачи разрабатываемой классификации.

Целью разработки классификации является приведение в порядок систематизации знаний о технологии, что служит основой построения формальной модели технологических знаний.

Принципами классификации являются:

- модульность;
- иерархичность соответственно уровням деления технологии.

В процессе разработки классификации должны быть решены 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.

Классификация технологических схем первого технологического уровня

При выделении классификационных признаков и разработке на их основе классификационного дерева будем учитывать лишь те из признаков, которые получили свою практическую реализацию в технологических схемах маневрирования.

Например, из всех способов разворота лавы будем учитывать лишь ступенчато-циклический способ, как наиболее эффективный и широко принятый в практических реализациях.

Также в качестве принятой будем считать одностороннюю схему работы выемочной машины. Эти и подобные им признаки в классификационном дереве учитываться не будут.

Разработанное классификационное дерево представлено на рис. 2.6. Учитывается четыре основных классификационных признака.

Между отдельными значениями классификационных признаков в дереве существуют горизонтальные связи, представляемые каузальными отношениями. Из рисунка видно, например, что если выемочным средством является струг, то это однозначно определяет количество выемочных машин. Это пример однозначной каузальной связи.

Существует и неоднозначная каузальная связь, представленная на рис. 2.6 отношением между подвижным центром и возможными формами выемочных полос, его реализующих.

Эти же отношения отражены в матрице (рис. 2.7). Кроме того, в матрице отражены возможные формы выемочной полосы с количественными параметрами, их определяющими.

Эти параметры с характеристиками и необходимыми расчетными формулами приводятся в табл. 2.6.

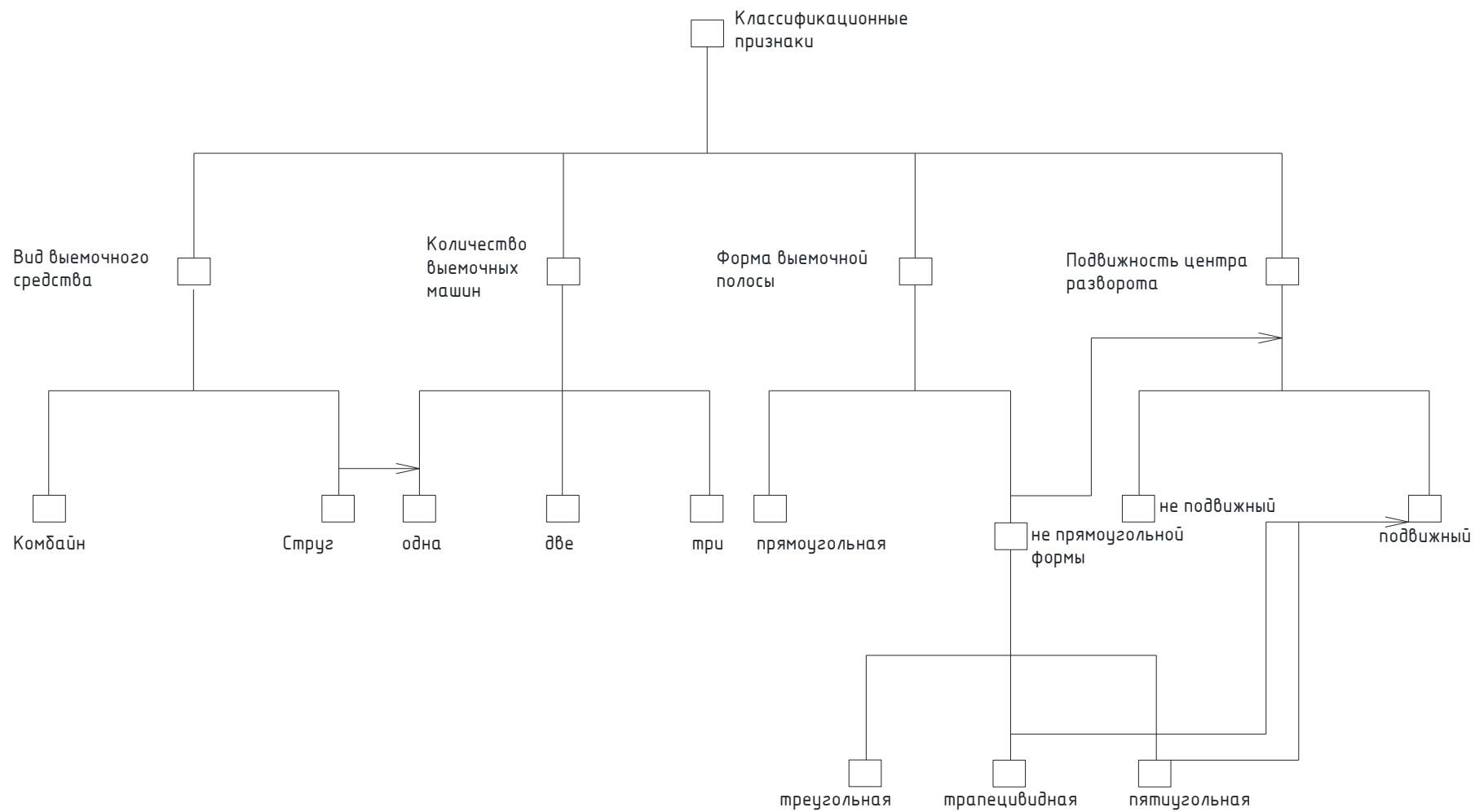


Рис. 2.6 - Классификация технологических схем первого уровня

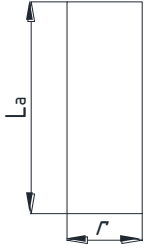
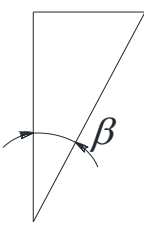
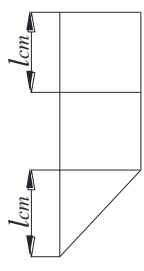
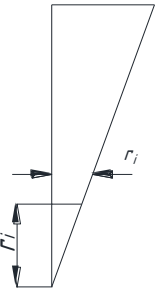
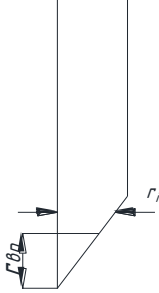
		ФОРМА И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ВЫЕМОЧНОЕ ПОЛЕ	
		ПРЯМОУГОЛЬНАЯ	
ПОДВИЖНОСТЬ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА НЕПОДВИЖНЫЙ ПОДВИЖНЫЙ			
		ТРЕУГОЛЬНАЯ	ТРАПЕЦИВИДНАЯ
			
		ТРАПЕЦИВИДНАЯ	ПЯТИУГОЛЬНАЯ
			

Рис. 2.7 - Матрица выемочных полос

Таблица 2.6 - Предлагаемые количественные параметры с расчетными формулами для характеристики модулей разворота лавы

Параметры	Единица измерения	Характеристика параметра	Расчетная формула	Порядковый номер формулы
1. c	м	1. Технологический уровень ширина захвата выемочной машины $r \in [0; r_M]$	-	-
2. r_M	м	Максимальная ширина захвата выемочной машины	-	-
3. r_i	м	Начальная ширина захвата при выемке полос неправильной формы $r_i \in [0; r]$	$r_i = r_{BH} \cdot r / l_{cm}$ или $r_i = 1/2 r_{BH} \cdot \sin \delta / 2$	(2.8) (2.9)
4. r_{BH}	м	Внутренний радиус разворота лавы при выемке полос неправильной формы; $r_{BH} \in [0; l_{CT}]$	$r_{BH} = r_i / r_{lcm}$ или $r_{BH} = r_i \cdot \operatorname{ctg} \delta / 2$	(2.10)
5. r_K	м	2. Технологический уровень Ширина модуля прямого хода	$r_K = r_1 + r_2 + \dots + r_K$ или если $r_1 = r_2 = \dots = r_K = r, \text{ то}$ $r_K = K \cdot r$	(2.11) (2.12)
6. K		Количество выемочных полос (модулей первого уровня) в модуле прямого хода.	-	-
7. α_M	град	Угол разворота в модуле	-	-

8. F	м	Подвигание внешнего фланга лавы в элементарном модуле разворота	$F=r \cdot x$	(2.14)
9. r _{вэ}	м	Радиус разворота внутреннего фланга лавы в элементарном модуле	(2.10) или (2.11)	-
10. r _в	м	Радиус разворота внутреннего фланга лавы в - простом модуле; - сложном модуле; α_m - угол разворота в модуле, следующим за модулем прямого хода	(2.10) или (2.11.) $rb = \frac{r_k}{2 \sin \cdot \alpha_m / 2}$	(2.15)
11. l _d	м	Величина сокращения лавы, обеспечивающая прямолинейное движение внутреннего фланга лавы	$L_d = r_6(1/\cos \alpha_m - 1)$	(2.16)
12. l ₁	м	Максимальная высота целика между спецвыработкой и средней	-	-
13. l ₂	м	Максимальная длина целика между средней и спецвыработкой	-	-
14. β	град	Угол между средней выработкой и крайним к границе выемочного поля отрезком спецвыработки	-	-
15. τ	град	Угол между средней выработкой и наклонным отрезком треугольной спецвыработки	-	-
16. γ	град	Угол между средней выработкой и крайним к границе выемочного поля отрезком спецвыработки	-	-
17. θ	град	Угол между линией очистного забоя и выработкой прилегающей с внешнего фланга		
18. l _в	м	Длина части лавы выходящей за контуры выемочного участка	-	-

19. L_k	м	Длина механизированного комплекса(механизированной части лавы)	-	-
20. L_u	м	Длина части лавы закрепленной индивидуальной крепью	$L_u = L_l - L_k$	(2.17)
21. l_{di}	м	Длина участка на которую сокращается лава за один прием при последовательном способе для механизированной лавы принимается обычно 2 секции	-	-
22. l_M	м	Длина участка на которую увеличивается лава за один прием при последовательном способе; для механизированной лавы принимается обычно 2 секции	-	-
23. l_d	м	Длина участка на которую увеличивается лава	$l_d = L_{л1} - L_{л2}$ или $l_d = d \cdot l_{di}$	(2.18) (2.19)
24. d	-	Количество приемов по уменьшению (увеличению)длины лавы при последовательном способе	-	-
25. l_M	м	Длина на которую увеличивается лава	$l_M = L_{л2} - L_{л1}$, $l_M = d \cdot l_{Mi}$	(2.20), (2.21)
6. l_{cm}	м	Величина смещения центра разворота(уменьшения длины лавы); обычно принимается $l_{cm} = 20-25$ см	-	-
27. l_{max}	м	Максимальная величина на которую увеличивается длина лавы; при прямоугольной форме выемочного поля эта величина равна $0,42L_l$	$l_{max} = L_l(1 - 1/\cos \alpha_m)$	(2.22)
28. $l_{cmб}$	м	Величина смещения центра разворота при большом смещении, обычно принимается $l_{cmб} = L_l/3$	-	-
29. l_c	м	Ширина целика между средней и параллельной ей выработками	-	-

Таблица 2.7 - Количественные параметры, характеризующие выемочные полосы

Форма выемочной полосы	Количественные параметры характеризующие выемочную полосу	Количественные параметры влияющих модулей второго уровня
1. Прямоугольная (1.1)	$l_{л}; r$	$l_{л}$
2. Треугольная (2.1)	$l_{л}; r; б$	$l_{л}$
3. Трапецевидная (2.2)	$l_{л}; r; б; l_{ст}; n$	$l_{л}$
4. Трапецевидная (3.1)	$l_{л}; r; б; r_{в}; r_{i}$	$l_{л}; r_{вн}$ или r_{i}
5. Пятиугольная (3.2)	$l_{л}; r; б; l_{ст}; n; r_{в}; r_{i}$	$l_{л}; r_{в}$ или r_{i}

Отметим, что в настоящей работе каждый количественный параметр имеет свой уникальный идентификатор, применение которого справедливо в любом пункте и главе.

Отсюда понятно, что если в таблице какой-то параметр не описан, то он уже определен где-то ранее.

В отношении выемочных полос 3.1 и 3.2 (рис.2.7) необходимо отметить, что их форма является оригинальной, впервые предлагаемой. В табл. 2.7 приводятся количественные параметры, характеризующие различные формы выемочных полос в плане.

Отдельно указываются те из параметров, изменение которых, от полосы к полосе составляющих технологический модуль второго уровня, сказывается на его форме.

Классификация технологических схем второго технологического уровня

Определимся с некоторыми понятиями, употребляемыми в данном пункте. В технологических схемах разворота очистного забоя один фланг является неподвижным (малоподвижным), а другой фланг имеет повышенную скорость перемещения. В связи с этим о малоподвижном фланге будем говорить как о внутреннем фланге разворачиваемой лавы, а о его окрестностях как о зоне центра разворота. Подвижный фланг будем называть внешним флангом разворачиваемого забоя. Выработку, по которой перемещался фланг забоя, ставший на момент разворота внутренним будем называть средней.

Выделенные признаки, характеризующие технологические схемы второго уровня (табл. 2. 5) можно разделить на две основные группы: относящиеся к зоне центра разворота (1, 3-7 признаки); относящиеся к внешнему флангу разворачиваемой лавы (8-10 признаки). Во второй группе отдельно выделяется подгруппа, определяемая схемами уменьшения потерь угля в угловых целиках выемочного поля.

Отдельно в первой группе можно рассматривать подгруппу, определяемую как специальные мероприятия для обеспечения эффективной и безопасной работы в период разворота лавы (5-7 признаки). Кроме того, отдельно

выделяется признак 2, относящийся к наличию выработки параллельной средней.

Содержанием технологических модулей второго уровня является формирование выемочных контуров посредством маневрирования лавой в плоскости пласта.

Такое маневрирование осуществляется за счет модулей: разворота, прямого хода, монтажно-демонтажных и других мероприятий, отраженных в классификационных деревьях (рис. 2.10, 2.14, 2.19, 2.21).

Форма модулей второго уровня определяется траекторией перемещения внутреннего и внешнего флангов лавы. Форма траекторий как внутренней так и внешней зависит от набора и последовательности расположения модулей первого уровня, из которых состоит рассматриваемый модуль второго уровня и от изменения длины лавы как со стороны внутреннего так и внешнего флангов.

В простейшем случае форма модулей второго уровня может иметь вид таких геометрических фигур как прямоугольник, треугольник, сектор круга, сектор кольца, трапеция. В принципе же форма модуля второго уровня может быть совершенно произвольной и определяться последовательностью и количественными характеристиками тех модулей, из которых собирается рассматриваемый.

С целью приведения в определенный порядок знаний о возможных формах технологических модулей второго уровня будем различать элементарные, простые и сложные модули второго технологического уровня.

Под элементарным технологическим модулем второго уровня будем понимать модули, дальнейшая декомпозиция которых дает модули первого технологического уровня. В частных случаях понятие элементарного модуля второго уровня может совпадать с модулем первого уровня.

Так, согласно данному определению, элементарным модулем прямого хода 1.1 (рис.2.8) является модуль прямого хода, состоящий из двух прямоугольных выемочных полос, последующая декомпозиция которого дает два модуля

прямого хода первого уровня. Однако, в некоторых модулях второго уровня выемочная полоса прямого хода и перемежает технологические модули второго уровня различной формы. Поэтому, в таких случаях удобнее рассматривать одну выемочную полосу как элементарный модуль второго уровня.

Аналогичная ситуация возможна и с выемочными полосами вида 1.2 и 1.3 (рис.2.8). Другими элементарными модулями второго уровня являются модули вида 1.2 и 1.3 (рис.2.8), которые разлагаются на модули первого уровня.

Простым модулем второго уровня называется модуль, состоящий из элементарных или простых модулей одной формы или же из элементарных или простых модулей различной формы, но рассмотрение которого со стороны следующего уровня сложности дает одну из элементарных геометрических фигур.

Таким образом, данное определение рекурсивно: простой модуль в зависимости от уровня рассмотрения может быть и простым и сложным и может собираться из модулей любой формы.

Поясним эти положения. Рис. 2.9 показывает сложность технологического модуля в зависимости от уровня рассмотрения его. На первом уровне рассмотрения представлены элементарные модули разворота 1.1 и 1.2, которые собираются из выемочных полос.

На втором уровне рассмотрения модули 2.1 и 2.3 состоящие из элементарных модулей одной формы и являются простыми. Модули 2.2 и 2.4 составляемые из элементарных модулей разных форм (модули разворота перемежаются модулями прямого хода) являются сложными.

Третий уровень рассмотрения, на котором модули 2.1-2.4 выступают как простые, из которых составляются более сложные модули дает иную картину. На третьем уровне рассмотрения модули 2.1-2.4 представляются в виде 3.1-3.4 как простые модули разворота лавы с плывущим центром. Из вышесказанного следует, что сложным модулем является модуль, состоящий из элементарных или простых модулей разной формы в зависимости от уровня рассмотрения.

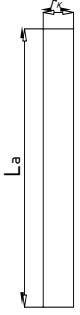
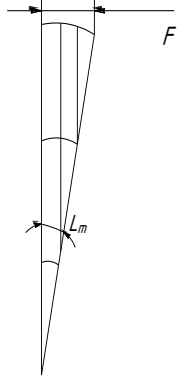
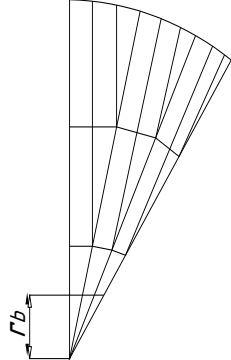
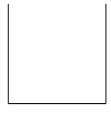
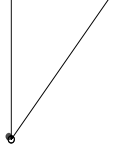
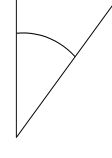
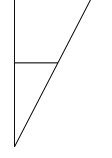
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МОДУЛИ			
ПРЯМОГО ХОДА	РАЗВОРОТА		
	С НЕПОДВИЖНЫМ ВНУТРЕННИМ ФЛАНГОМ	С ПЛЫВУЩИМ ВНУТРЕННИМ ФЛАНГОМ	
 <p>1.1</p>	 <p>1.2</p>	 <p>1.3</p>	
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ФЛАНГА			
ПРЯМАЯ	ТОЧКА	ДУГА ОКРУЖНОСТИ	ПРЯМАЯ
 <p>2.1</p>	 <p>2.2</p>	 <p>2.3</p>	 <p>2.4</p>

Рис. 2.8 - Элементарные модули и соответствующие им траектории перемещения внутреннего фланга лавы

В свете сформулированных положений разведем понятия "плывущий" и "подвижный" центр разворота, используемые в литературе различными исследователями, дающими их достаточно произвольно.

Будем рассматривать понятие "плывущий" и "подвижный" центр разворота конкретного технологического модуля с позиции форм модулей составляющих его и уровневого рассмотрения.

Под уровневым рассмотрением, как и ранее, будем понимать рассмотрение модуля как объекта, состоящего из модулей по сложности более низких (как сложного модуля) и как объекта, являющегося элементом более сложного модуля (как простой модуль).

Модуль разворота с перемещающимся центром рассматриваемый как простой будем называть модулем разворота с плывущим центром. Примерами

модулей с плывущим центром являются 2.1, 2.3 3.1-3.4 (рис.2.9). К модулям с плывущим центром относятся и элементарные модули 1.1, 1.2.

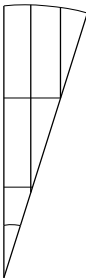
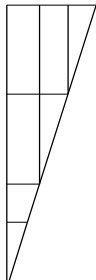
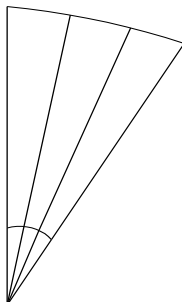
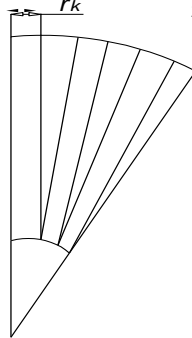
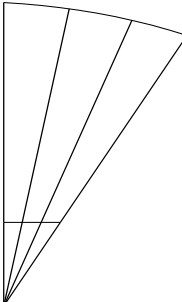
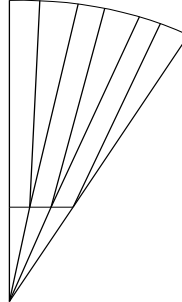
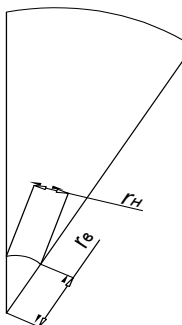
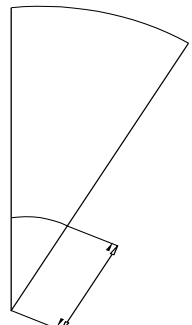
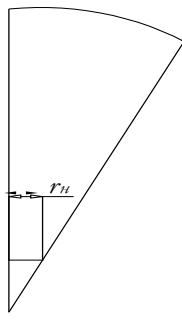
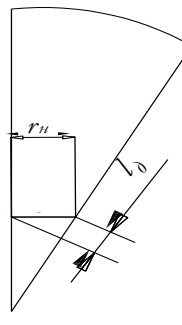
ПОДУРОВНИ	ТРАЕКТОРИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ФЛАНГА			
	ПО ОКРУЖНОСТИ		ПО ПРЯМОЙ	
	СЛОЖНОСТЬ МОДУЛЕЙ ПО ПОДУРОВНЯМ			
	ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ		ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ	
1 ПОДУРОВЕНЬ	1.1 		1.2 	
2 ПОДУРОВЕНЬ	ПРОСТОЙ 2.1 	СЛОЖНЫЙ 2.2 	ПРОСТОЙ 2.3 	СЛОЖНЫЙ 2.4 
	ПРОСТОЙ 3.1 	ПРОСТОЙ 3.2 	ПРОСТОЙ 3.3 	ПРОСТОЙ 3.4 

Рис. 2.9 - Модульное рассмотрение технологических схем разворота лавы

Модуль разворота с перемещающимся центром, рассматриваемый как сложный (состоящий из простых модулей различных форм) будем называть модулем с подвижным центром. Примерами модулей с подвижным центром являются 2.2 и 2.4.

Достаточно удачным примером уровневого рассмотрения технологических модулей разворота с позиций подвижности плавучести является модуль, отражающий разворот лавы 4-7-16 на шахте "Распадская" п/о Южкузбассуголь.

По схеме невозможно сказать, является ли центр разворота неподвижным, плавущим или подвижным.

Однако анализ схемы дает однозначное толкование, что модуль разворота является сложным, в котором присутствуют как модули с плавущим так и модули с подвижным центром разворота.

1. Классификационное дерево схем второго уровня по признакам зоны центра разворота представлено на рис. 2.10.

Имеются четыре основных классификационных признака: местоположение внутреннего фланга лавы; спецмероприятия, проводимые в зоне центра разворота; схема крепления сопряжения внутреннего фланга лавы с прилегающей выработкой.

Возможные места расположения внутреннего фланга лавы показаны на рис. 2.11. Для модулей разворота на 180° возможна одно- или двухсторонняя спецвыработка. При односторонней выработке возможен первоначальный отворот лавы или последующий доворот.

Для "большого смещения" возможны варианты перемещения внутренней части комплекса в виде ее разворота или перемонтажа. О подвижности центра разворота выше было сказано достаточно.

В качестве средства, обеспечивающего подвижность центра разворота может служить либо модуль прямого хода, перемежающего модули разворота, либо целик между смежными выемочными участками, либо целик между выработками: средней и параллельной ей.

Траектория, описываемая внутренним флангом лавы может иметь различные произвольные формы.

Однако, выделяются элементарные формы траектории, соответствующие элементарным модулям второго уровня (рис. 2. 8). Центр разворота может быть неподвижным.

В этом случае внутренний фланг лавы остается на месте - 2.2. В случае плывущего центра разворота внешний фланг лавы описывает дугу окружности - 2.3. Возможно, при плывущем центре разворота, движение внутреннего фланга лавы по прямой линии - 2.4.

В этом случае периодически необходимо демонтировать часть секций мехкрепей со стороны внутреннего фланга лавы.

В случае подвижного центра, когда средством подвижки внутреннего фланга лавы является модуль прямого хода, имеет место форма траектории в виде прямой линии - 2.1.

К спецмероприятиям, выполняемым в зоне центра разворота относятся: химическое закрепление пород зоны центра разворота; предварительный разворот ближайших к центру разворота секций мехкрепей; демонтаж части секций мехкрепей со стороны центра разворота. Прецедент использования химического закрепления пород зоны центра разворота описывается в работе [35], приводится пример использования демонтажа части секций со стороны центра разворота. Демонтаж производится последовательно. Возможен одноактный демонтаж секций мехкрепей.

Относительно последнего классификационного признака схем крепления внутреннего фланга лавы с прилегающей выработкой необходимо отметить, что в силу различия условий пока не существует ряда унифицированных паспортов.

Поэтому, в каждом конкретном случае рекомендуется разрабатывать оригинальный паспорт крепления сопряжения.

Между классификационными признаками зоны центра разворота существуют каузальные зависимости, реализующиеся в горизонтальной плоскости между признаками и их значениями (рис. 2.10).

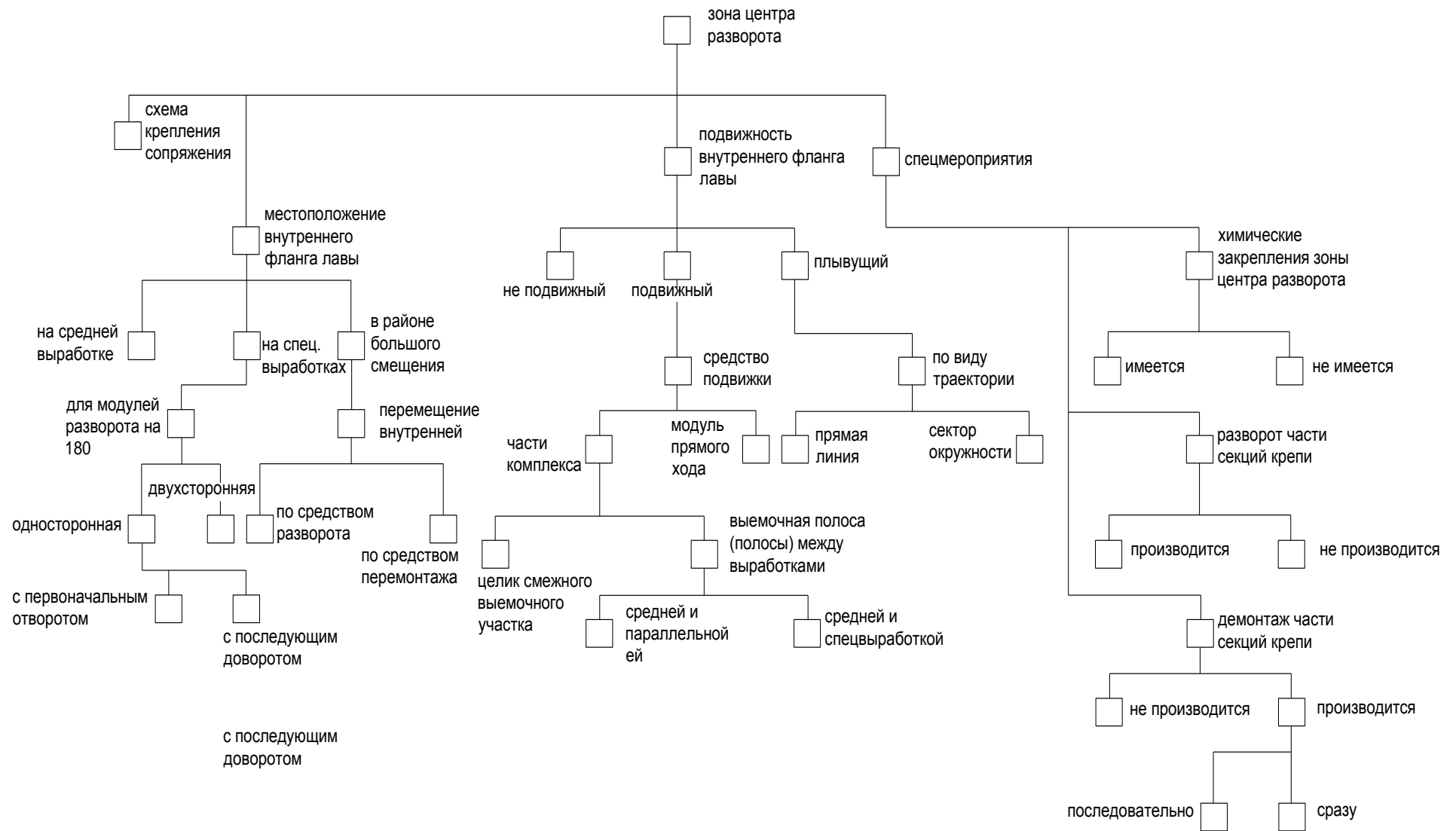


Рис. 2.10 - Классификационное дерево схем второго уровня по признакам зоны центра разворота


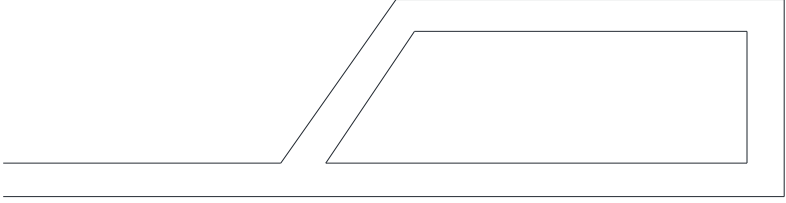

НА СРЕДНЕЙ ВЫРАБОТКЕ	
НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКЕ	
В РАЙОНЕ БОЛЬШОГО "СМЕЩЕНИЯ"	

Рис. 2.11 - Местоположение внутреннего фланга лавы

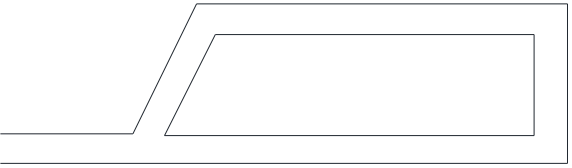
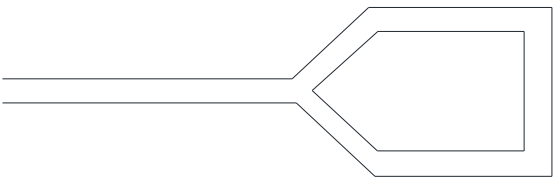
ОДНОСТОРОННЯЯ	
ДВУХСТОРОННЯЯ	

Рис. 2.12 - Форма спецвыработки для модулей разворота на угол 180°

Это связано с тем, что признаки местоположения внутреннего фланга лавы, его подвижности и спецмероприятий имеют единую целевую направленность улучшения состояния вмещающих пород зоны центра разворота.

Так, например, применение спецвыработки определяет, но не однозначно, подвижность или плавучесть центра разворота. С другой стороны применение химического упрочнения пород зоны центра разворота или демонтаж части секций крепи может повлиять на местоположение внутреннего фланга лавы. Возможная комбинация значений отмеченных признаков определяется с учетом условий применения схемы.

Закономерности реализующиеся между элементами схемы и конкретными условиями ее применения записываются в правилах принятия решения (ППР).

Отметим еще одну особенность признаков зоны центра разворота - их можно разделить на две группы.

Первую группу представляют признаки, которые обязательно присутствуют в любой схеме: - это местоположение внутреннего фланга лавы, его подвижность и схема крепления сопряжения. Спецмероприятия относятся к необязательным, которые могут отсутствовать в какой-либо схеме.

На рис. 2.8, 2.9, 2.13 приводятся количественные параметры, характеризующие элементарные модули второго уровня и отдельные элементы зоны центра разворота.

Спецвыработки в зоне центра разворота могут иметь различные формы - от прямой линии до любого многоугольника. На рис. 2.13 представлена матрица спецвыработок, форма которых изменяется от прямой линии до четырехугольника.

Матрица строилась по принципу изменения формы спецвыработки и углов их характеризующих. Кроме того, матрица отражает возможные формы односторонних (если говорить о модуле разворота на 180°) спецвыработок. Вообще говоря, возможно зеркальное отражение спецвыработки по другую сторону средней выработки или же возможны сочетания предложенных спецвыработок с обеих сторон от средней.

Из представленных в матрице спецвыработок, известны только лишь три - 1.2, 1.4 и 2.4, а остальные являются оригинальными.

Необходимо отметить, что конфигурация спецвыработки влияет на форму и количественные параметры модулей как первого так и второго уровней, из которых собирается полная схема разворота.

Причем, это влияние неоднозначно указывает на то, какие это будут модули, в какой последовательности и с какими изменениями количественных параметров.

Спецвыработки определяются следующими количественными показателями: (рис. 2.13). Варьирование этими показателями дает возможность изменять схему разворота.

	ФОРМЫ СПЕЦВЫРАБОТОК				
	ЛИНЕЙНЫЕ	ТРЕУГОЛЬНЫЕ	ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНЫЕ		
			$\gamma=90^\circ$	$\gamma<90^\circ$	$\gamma>90^\circ$
$\beta=90^\circ$	1.1 	1.2 	1.3 	1.4 	1.5
$\beta<90^\circ$	2.1 	2.2 	2.3 	2.4 	2.5
$\beta>90^\circ$	3.1 	3.2 	3.3 	3.4 	3.5

Рис. 2.13 - Матрица возможных форм выработки

В общем случае возможно увеличение количества сторон многоугольника (до пятиугольника и более) и варьирования углами между сторонами, что позволит менять набор модулей (и их количественных показателей), составляющих технологическую схему разворота.

2. Классификационное дерево схем второго уровня по признакам внешнего фланга разворачиваемой лавы предоставлено на рис. 2.14.

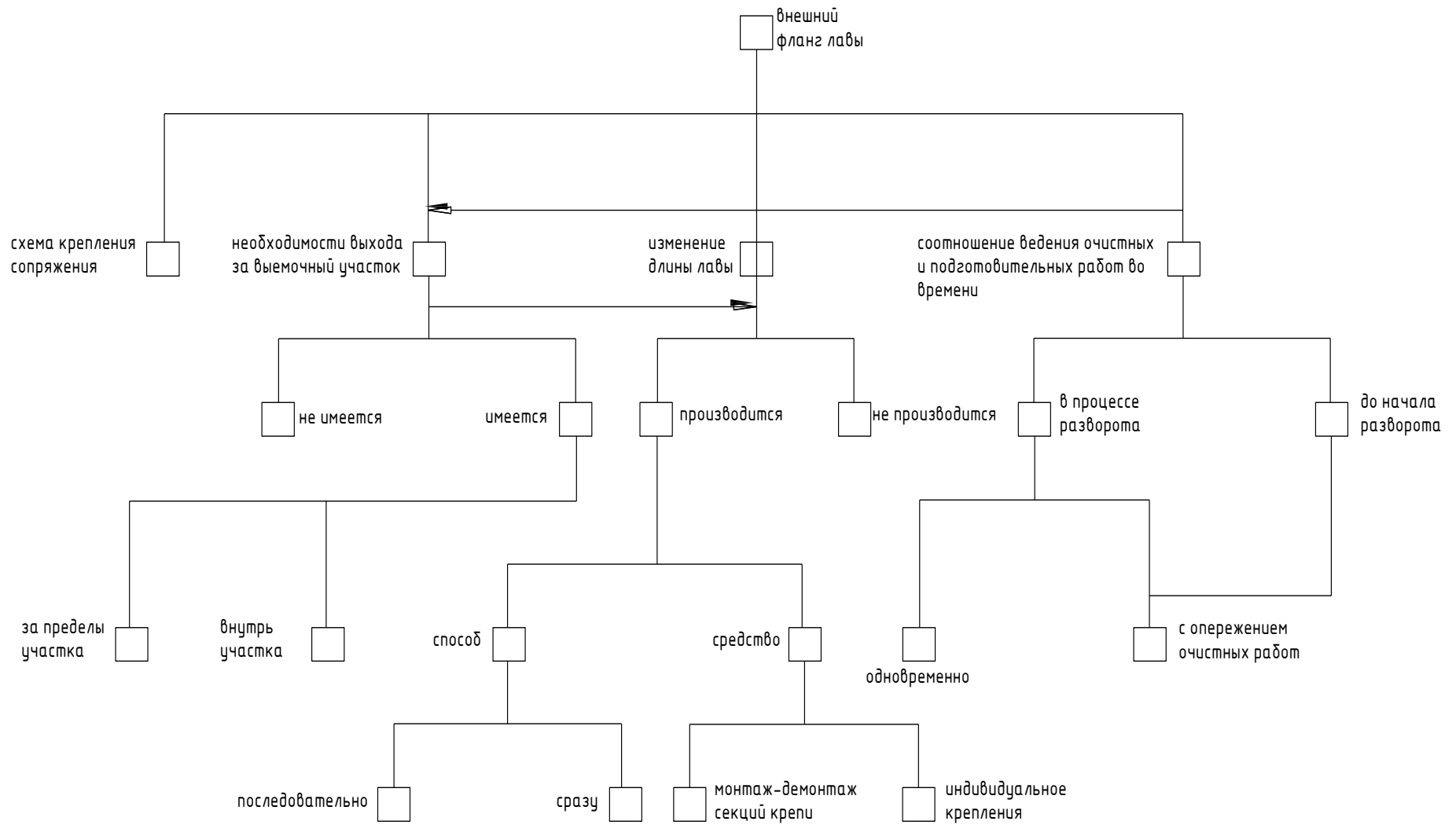


Рис. 2.14 - Классификационное дерево схем второго уровня по признакам внешнего фланга разворачиваемой лавы

Выделено четыре основных признака: необходимость выхода за контуры выемочного участка; изменение длины лавы; соотношение ведения очистных и подготовительных работ во времени; схема крепления сопряжения внешнего фланга лавы с прилегающей выработкой.

Условием для появления необходимости выхода внешним флангом за контуры выемочного участка является неперпендикулярность линии очистного забоя и прилегающей выработки.

Причем, если угол $(\sim) < 90^\circ$ то возможен выход внешнего фланга за пределы участка. Если же $(\sim) > 90^\circ$, то внешний фланг уходит внутрь участка.

Для целей исключения выхода внешнего фланга лавы за пределы выемочного, исключения потерь угля и др. применяют способ изменения длины лавы.

Средством изменения длины лавы (рис. 2.15.) могут служить секции механизированной крепи (1.1, 2.1) или индивидуальное крепление (1.2, 2.2).

При этом количественным показателем для первого средства будет служить изменяющаяся длина комплекса, а для второго средства - длина лавы, закрепленная индивидуальными стойками.

Существует два способа изменения длины лавы - последовательный и в один прием (рис. 2.16).

Количественным показателем, характеризующим второй способ является длина уменьшаемой (демонтируемой) части лавы или увеличиваемой (монтируемой) части лавы, первый способ изменения длины лавы, кроме того, характеризуется величиной одноактного увеличения (уменьшения) длины лавы.

В свете принципа модульности, модуль изменения длины лавы рассматривается как результат сшивки двух модулей любой сложности. Отсюда следует, что модуль изменения длины лавы существует лишь в сложных модулях.

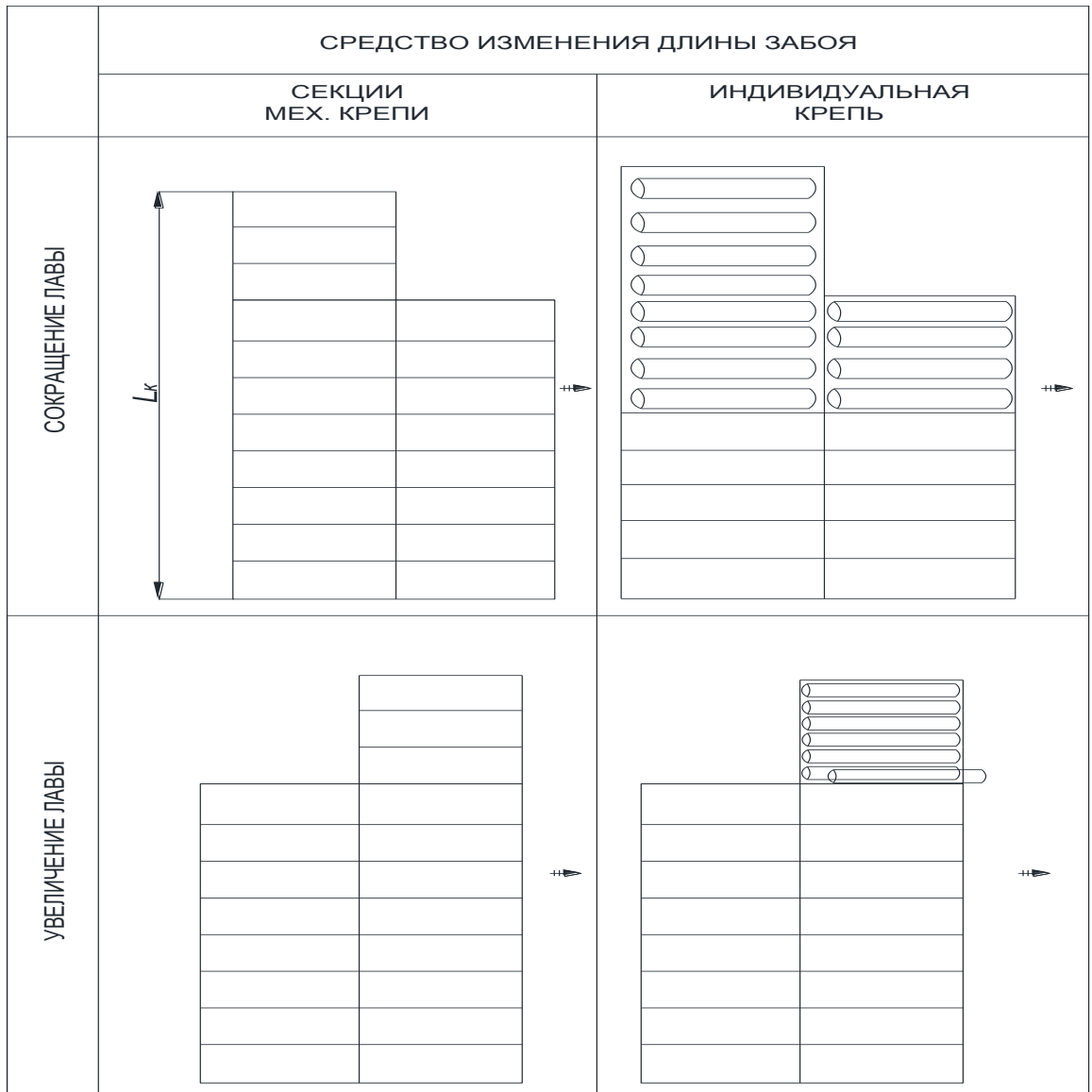


Рис. 2.15 - Средство изменения длины забоя

		МОДУЛИ			
		ПРЯМОГО ХОДА		РАЗВОРОТА	
		СПОСОБ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ЛАВЫ			
		ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ	СРАЗУ	ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ	СРАЗУ
ЛАВА	СОКРАЩЕНИЕ ЛАВЫ				
	УВЕЛИЧЕНИЕ ЛАВЫ				

Рис. 2.16 - Способы изменения длины лавы

По соотношению ведения очистных и подготовительных работ во времени (рис. 2.17) выделяются две возможные схемы: во время разворота (1.1, 1.2); до начала разворота (1.3). В первом случае возможны два варианта, когда выработка выкрепляется (1.1) и когда выработка проводится с опережением (1.2).



Рис. 2.17 - Соотношение ведения очистных и подготовительных работ

Относительно последнего классификационного признака внешнего фланга - схемы сопряжения можно отметить тоже, что и для сопряжения со стороны внутреннего фланга - не существует унифицированного ряда паспортов крепления, поэтому в каждом конкретном случае разрабатывается свой паспорт.

Необходимо отметить, что между признаками классификационного дерева (рис.2.14) реализуются и горизонтальные зависимости, представляемые каузальными отношениями.

Так, технология ведения работ на внешнем фланге при схеме, когда подготовительные работы ведутся с опережением очистных, практически совпадает с той, которая имеет место в схеме, когда участок полностью подготавливается до начала ведения очистных работ.

Между признаками соотношения ведения очистных и подготовительных работ и необходимостью выхода внешнего фланга лавы за пределы выемочного контура также существует неоднозначная каузальная связь выражающаяся в том, что если подготовительные работы ведутся совместно с очистными, то не всегда существуют строгие контуры выемочного участка и поэтому признак необходимости может быть проигнорирован.

Между признаками необходимости выхода внешнего фланга лавы за контуры выемочного участка и изменением длины лавы также существует нестрогая (неоднозначная) каузальная зависимость. Дело в том, что необходимость выхода фланга лавы за контуры участка вызывает изменение длины лавы.

Например, если существует необходимость выхода за пределы выемочного участка, но сделать этого невозможно (там выработанное пространство, то применяют укорачивание лавы).

3. Выше отмечалось, что из группы классификационных признаков внешнего фланга выделяется подгруппа, касающаяся схем уменьшения потерь угля в угловых целиках выемочного поля. На рис. 2.18 приводится классификационное дерево признаков схем уменьшения потерь угля, Данное классификационное дерево строилось следующим образом.

Анализ существующих схем уменьшения потерь угля позволил выделить основной принцип, взятый за основу в этих схемах. Им оказался принцип изменения радиуса разворота лавы в пределах рассматриваемого модуля. Кроме того, были выявлены признаки по которым изменяется радиус разворота лавы; способ изменения радиуса; фланг лавы; отношение к длине лавы. Способ изменения радиуса может быть последовательным и одноактным (рис. 2.16). Изменение радиуса разворота может производиться с внутреннего или внешнего фланга.

Радиус разворота может увеличиваться или уменьшаться. Горизонтальные зависимости между рассмотренными классификационными признаками представлены через матрицу (рис.2.19). Посредством комбинаторных операций с перечисленными признаками получены возможные схемы уменьшения потерь

угля (рис. 2.19). Все эти схемы уже описаны каузальными исследователями . Однако, матрица (рис.2.19) является продуктом реализации не всех возможных комбинаторных операций. Возможно, например, одновременное сочетание и последовательного и одноактного способов изменения радиуса разворота как с внутреннего так и с внешнего флангов лавы и т. п. С другой стороны, в рассматриваемой матрице (рис. 2.19) учитываются лишь прямоугольные формы выемочного поля, что не всегда соответствует действительности.

При других формах выемочного участка возможны и другие варианты. Взяв за основу принцип модульности, можно получать схемы разворота с уменьшением потерь угля, построенные с учетом различных признаков, учитываемых классификационным деревом (рис. 2.18). Эти вопросы решаются в каждом конкретном случае по своему.

Причем выделение принципа уменьшения потерь угля технологических схем, построенных с учетом различных признаков, учитываются классификационным деревом (рис. 2.18). Эти вопросы решаются в каждом конкретном случае по своему. Причем выделение принципа уменьшения потерь угля с его классификационными признаками (рис.2.18) дает возможность разработки формальной модели генерации схем уменьшения потерь угля для конкретных условий проектирования.

Набор существующих схем уменьшения потерь угля требует введения еще одной классификации по степени извлечения полезного ископаемого в угловых целиках выемочного поля. Выемка может быть (рис.2. 19):

- полной (1. 3);
- до экономически целесообразных величин (1.1, 1.2);
- без снижения потерь, когда не применяется приемов по уменьшению потерь угля.

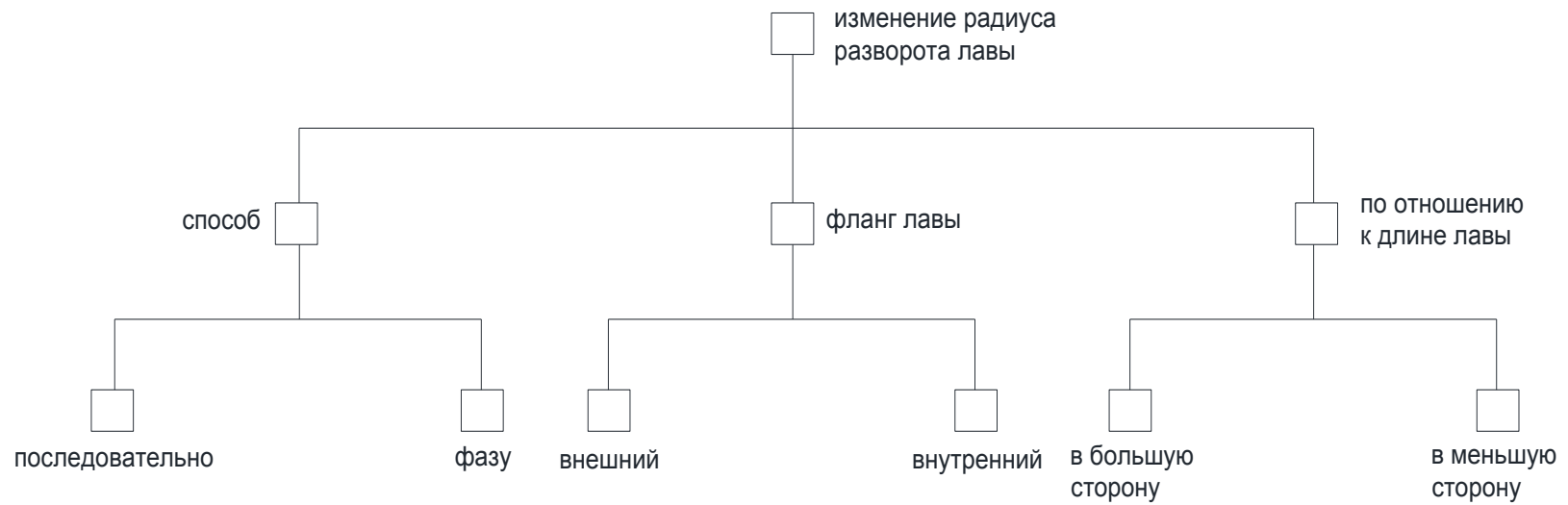


Рис. 2.18 - Классификационное дерево признаков схем уменьшения потерь угля в угольных целиках выемочного поля

Количественные параметры характеризующие схемы уменьшения потерь угля и необходимые расчетные формулы приводятся в табл. 2.7.

4. Для модулей разворота на 180° существует еще один классификационный признак - наличие выработки параллельной средней. Классификационное дерево для этого признака приведено на рис.2.20.

Если имеется выработка параллельной средней, то она может обеспечивать или не обеспечивать подвижности внутреннего фланга лавы. При этом целик между средней и параллельной ей выработками может отрабатываться или не отрабатываться.

На рис. 2.21 приводится матрица возможных сочетаний рассмотренных признаков. Единственным количественным параметром характеризующим представленные в матрице схемы является ширина целика $l_{ц}$.

В табл. 2. 7 сведены рассмотренные схемы модулей второго уровня и их части с количественными параметрами их описывающими. Отдельно выделены те из параметров, которые влияют на форму следующего по сложности модуля второго уровня и те, которые влияют на форму модулей третьего уровня.

Классификация технологических схем третьего уровня

Выше был дан достаточный анализ выделенных из БД классификационных признаков третьего уровня. Технологические схемы этого уровня интересуют нас постольку, поскольку они являются продуктом сшивки технологических модулей второго уровня.

В силу того, что в настоящей работе решается задача формального конструирования технологических схем разворота (второй уровень), поэтому глубже решать задачи организации знаний о схемах третьего уровня, не будем. На основе выделенных классификационных признаков было построено классификационное дерево (рис.2.22), учитывающее лишь только те признаки, которые связаны с появлением технологии разворота очистного забоя.

		ИЗМЕНЕНИЕ РАДИУСА РАЗВОРОТА			
		В СТОРОНУ МЕНЬШУЮ ДЛИНЫ ЛАВЫ		В СТОРОНУ БОЛЬШУЮ ДЛИНЫ ЛАВЫ	
		СПОСОБ ИЗМЕНЕНИЯ РАДИУСА РАЗВОРОТА			
		ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО	СРАЗУ	ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО	СРАЗУ
ФЛАНГ ЛАВЫ	ВНЕШНИЙ	<p>1.1</p>		<p>1.3</p>	
	ВНУТРЕННИЙ		<p>2.2</p>		

Рис. 2.19 - Возможные сочетания признаков по уменьшению потерь угля в угольных целиках выемочного поля

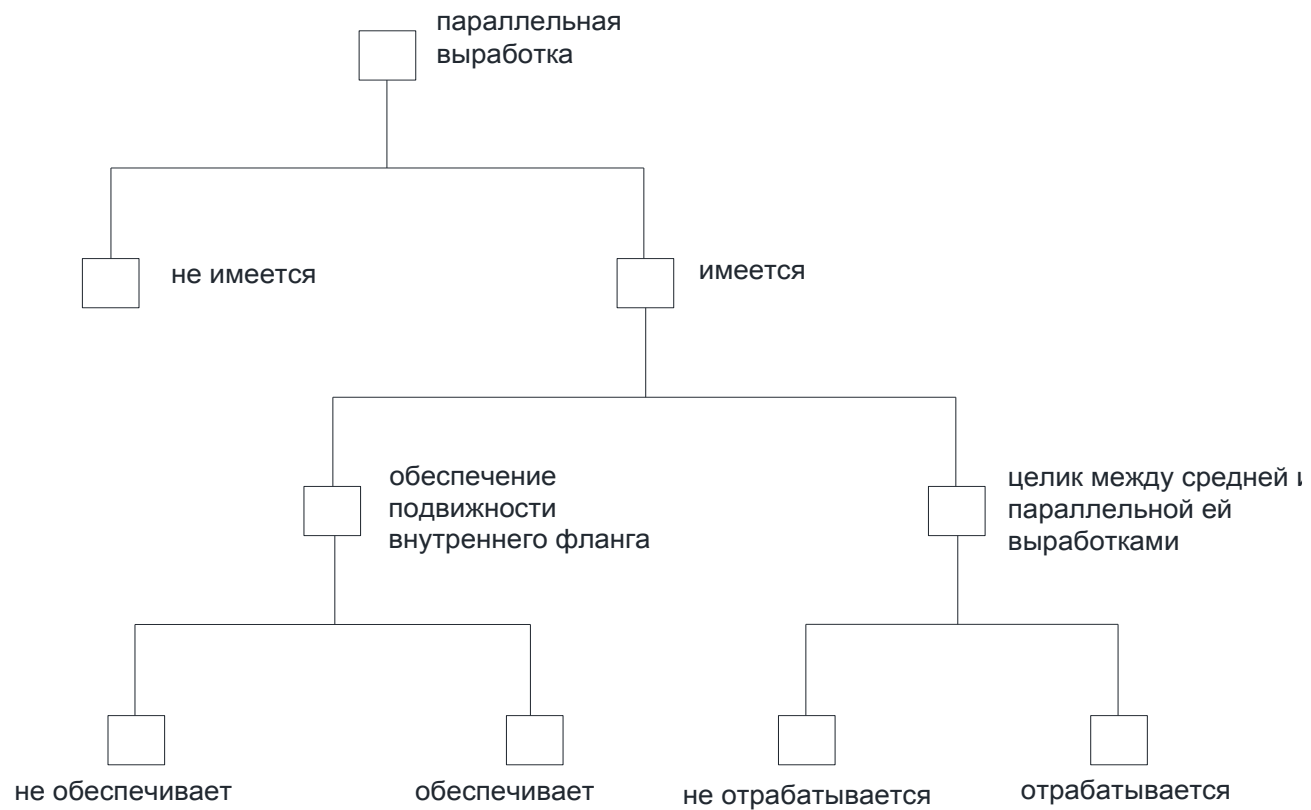


Рис. 2.20 - Классификационное дерево схем второго уровня по признаку «наличие выработки параллельно средней» (для модулей разворота на 180°)

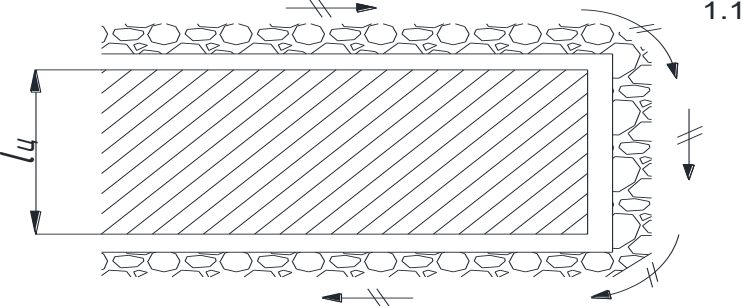
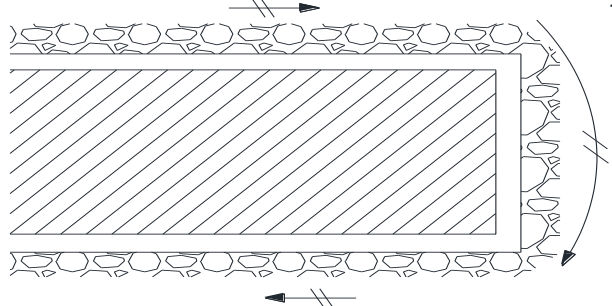
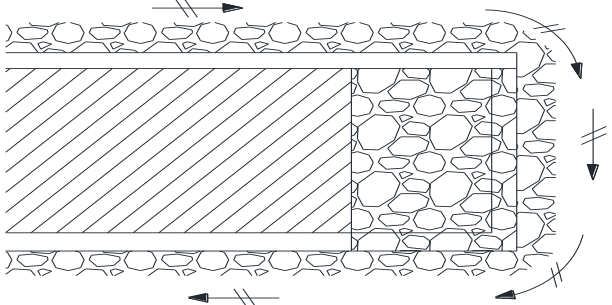
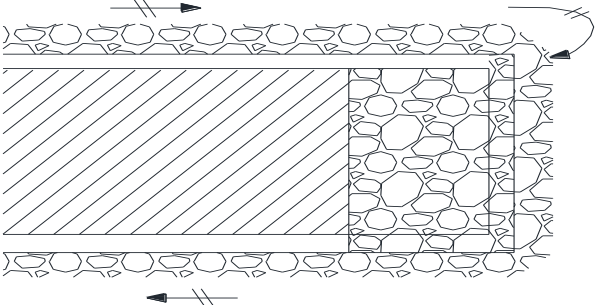
		ПОДВИЖНОСТЬ ВНУТРЕННЕГО ФЛАНГА ЗА СЧЕТ ЦЕЛИКА	
		ОБЕСЧИВАЕТСЯ	НЕ ОБЕСЧИВАЕТСЯ
ЦЕЛИК МЕЖДУ ВЫРАБОТКАМИ	НЕ ОТРАБАТЫВАЕТСЯ	 <p>1.1</p>	 <p>1.2</p>
	ОТРАБАТЫВАЕТСЯ	 <p>1.3</p>	 <p>1.4</p>

Рис. 2.21 - Матрица технологических модулей при наличии средней выработки (для модулей разворота на 180°)

Таблица 2.7 - Количественные параметры характеризующие технологические модули второго уровня

Группа классификационных факторов	Рассматриваемые формы модулей второго уровня и их частей	Количественные параметры	Параметры, влияющие на форму следующего по сложности модуля второго уровня	Параметры, влияющие на форму модулей третьего уровня
1	2	3	4	5
1. Модуль второго технологического уровня	1.1. Любая форма модуля разворота		-	
2. Элементарные модули второго уровня	2.1. Модуль прямого хода (1.1)	$l_{л}; r_{к}$	$l_{л}$	-
	2.2. Модуль разворота (1.2)	$l_{л}; F; \alpha_{м}$	$l_{л}$	-
	2.3. Модуль разворота (1.3)	$l_{л}; F; \alpha_{м}; r_{в}$	$l_{л}$	-
3. Зона центра разворота	3.1. Траектория перемещения внутреннего фланга лавы при простых модулях разворота	$r_{в}$	-	-
	Сектор окружности (3.1)	$r_{в}$	-	-
	Сектор окружности (3.2)	$r_{в}; l_{д}$	-	-
	Прямая линия (3.3)	$r_{в}; l_{д}$	-	-

	Прямая линия (3.4) Конфигурация специальной выработки Прямая (1.1;2.1;2.2.) Треугольник (1.2;2.2;3.2) Четырехугольник (1.3;1.4;1.5;2.3;2.4;2.5;3.3;3. 4;3.5)	$l_1 ; \beta$ $l_1 ; l_2 ; \beta ; \tau$ $l_1 ; l_2 ; \beta ; \gamma$	- - -	- - -
4. Внешний фланг разворачиваемой лавы	Выход лавы за контур выемочного участка Выход лавы за контур участка (1.2) Выход лавы внутрь участка (1.3) Средства изменения длины лавы Механизированная крепь (1.1;1.2) Индивидуальная крепь (1.2;2.2;) Способы изменения длины лавы Последовательный способ (1.1;1.3;2.1;2.3)	$\theta ; l_B$ $\theta ; l_B$ $\theta ; l_B$ l_K $l_K ; l_U$ $l_{di} ; l_d$ $l_{Mi} ; l_M$	- - - - - - -	- - - - - - -

	<p>За один приём (1.2;1.4;2.2;2.4)</p> <p>Схемы уменьшения потерь угля</p> <p>С уменьшением длины лавы (1.1)</p> <p>Сувеличением длины лавы (1.3)</p> <p>«Большое смещение» центра разворота (2.2)</p>	$l_{см}$ l_{max} $l_{смб}$	- - -	- - -
5.Наличие целика между средней и параллельной ей выработками	5.1.Целик имеется (1.1-2.2)	$l_{ц}$	-	-

Межуровневые зависимости между классификационными признаками

Выше отмечалось, что верхние по иерархии классификационные признаки могут накладывать определенные ограничения на нижние. В связи с этим была поставлена задача выявления межуровневых зависимостей между признаками и их ранжирование по уровням.

Установление этих зависимостей позволит сократить пространство поиска решений при реализации на ЭВМ задач автоматической раскройки части шахтного поля и конструирования технологических схем всех трех уровней. В результате анализа выделенных классификационных признаков (рис. 2.6, 2.10, 2.14, 2.18, 2.20) была построена табл. 2.8.

Все признаки не получившие отражения в табл. 2.8 относятся к рангу одноуровневых, т. е. действующих на своем уровне и не накладывающих ограничений на другие уровни.

Из табл. 2.8 видно, что к рангу трехуровневого действия относится лишь признак «угол разворота лавы». Все остальные признаки двухуровневого действия и накладывают ограничения на содержание, форму и количественные параметры модулей первого технологического уровня.

Необходимо отметить, что приведенное ранжирование обладает свойством асимметричности, т.е. действует лишь при рассмотрении ограничений со стороны верхних уровней на нижние, но не наоборот.

Ранее отмечалось, что возможны случаи, когда технологический модуль второго уровня, набранный из модулей первого уровня одной формы, но различающихся по количественным параметрам имеет форму отличную от формы образующих его модулей первого уровня.

Другими словами, форма модулей первого уровня не однозначно определяет форму модуля второго уровня. В связи с этим была поставлена задача выявления количественных параметров, характеризующих модули и выделение тех из них, изменение которых от модуля к модулю оказывает влияние на форму следующего по сложности или уровню модуля. Это производилось в табл. 2. 6, 2.

7. Табл. 2.9 является сводной таблицей количественных параметров, оказывающих влияние на форму и содержание модулей следующего уровня или сложности.

Из таблицы видно, что только три параметра являются межуровневыми. Остальные параметры являются одноуровневыми, оказывающими влияние на модули следующего уровня сложности. Интересно отметить, что длина лавы (l_n) является одновременно и межуровневым и одноуровневым параметром.

Подводя итоги классификации технологических схем маневрирования лавой в плоскости пласта отметим, что поставленные задачи выполнены полностью.

Иными словами на основе принципов модульности и уровневого деления технологии решены задачи:

- определения и паспортизации форм и содержания технологических модулей на основе выявленных классификационных и других зависимостей;
- определения и паспортизации количественных параметров технологических модулей;
- ранжирование классификационных признаков по уровням действия;
- ранжирование количественных параметров по уровням действия и сложности.

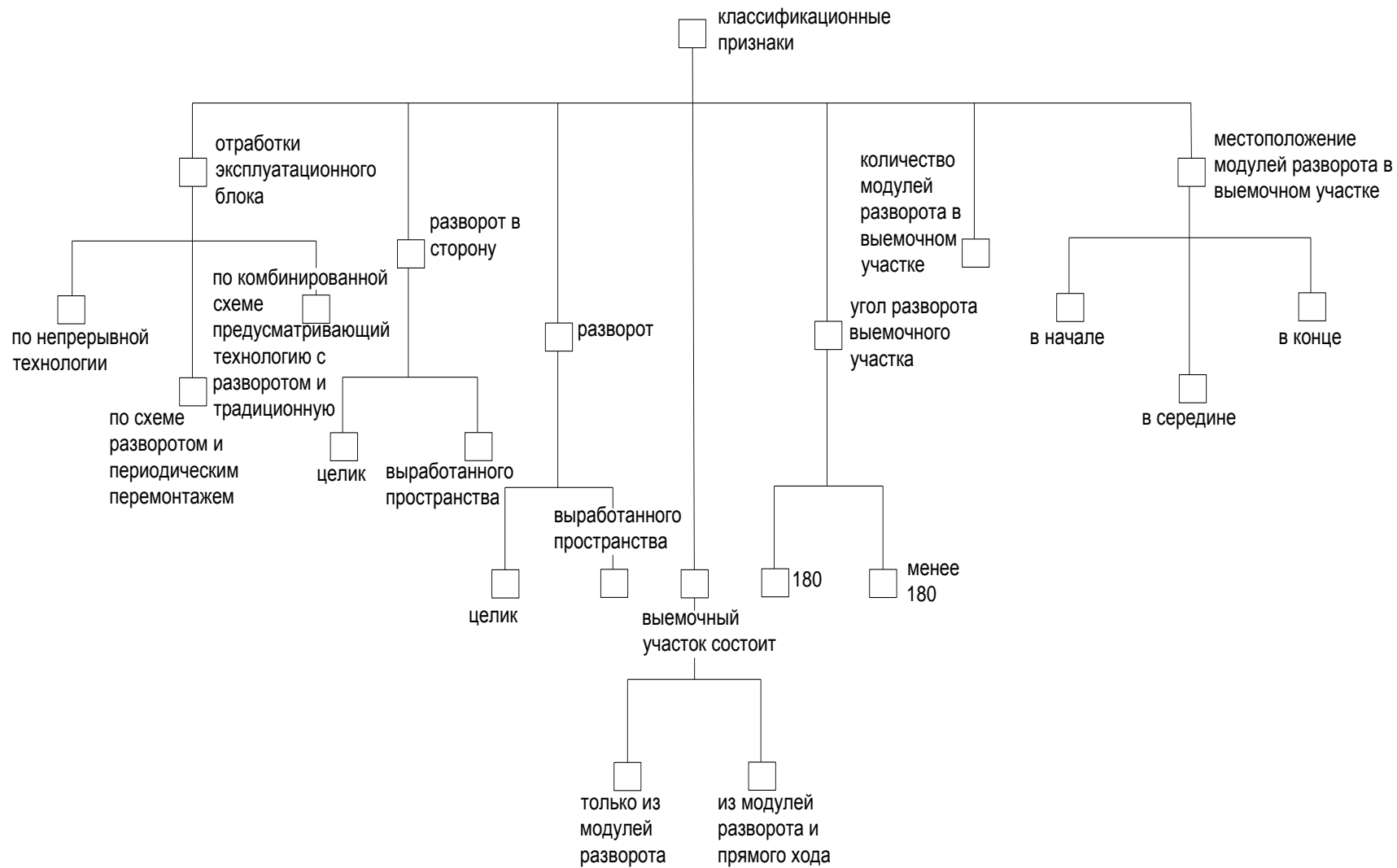


Рис. 2.22 - Классификационное дерево технологических схем третьего уровня

Таблица 2.8 - Ранжирование классификационных признаков по уровням действия

Признаки	Уровень признака	Классификационное дерево	Уровни, на которые признак накладывает ограничения	Накладываемые ограничения
1. Угол разворота лавы	III	-	II; I	На сумму углов разворота в модулях нижнего уровня
2. Местоположения внешнего фланга разворачиваемой лавы	II	2.10	I	На форму и количественные параметры модулей, составляющих рассматриваемый модуль
3. Подвижность внутреннего фланга лавы	II	2.10	I	На форму модулей, составляющих рассматриваемый
4. Химическое закрепление пород зоны центра разворота	II	2.10	I	На форму и количественные параметры модулей, составляющих рассматриваемый
5. Демонтаж части секций механизированной крепи со стороны центра разворота	II	2.10	I	На форму и количественные параметры модулей, составляющих рассматриваемый

6. Необходимость выхода внешнего фланга лавы за контуры выемочного участка	II	2.14	I	На количественные параметры модулей, составляющих рассматриваемый
7. Изменение длины лавы в модуле	II	2.14	I	На количественные параметры модулей, составляющих рассматриваемый
8. Соотношение ведения очистных и подготовительных работ во времени	II	2.14	I	На содержание модулей, составляющих рассматриваемый
9. Схемы уменьшения потерь угля	II	2.19	I	На количественные параметры модулей, составляющих рассматриваемый
10. Наличие выработки параллельной		2.21		На форму и количественные параметры модулей, составляющих рассматриваемый

Таблица 2.9 - Количественные параметры модулей, оказывающие влияние на форму и содержание модулей следующего уровня

Параметры	Идентификаторы	Технологический уровень модуля	Таблица (номер)	На каком уровне модули оказывают влияние	Оказываемое влияние
Длина лавы	$l_{л}$	I		II	На форму модуля
Радиус разворота внутреннего фланга лавы при выемке одной выемочной полосы	$r_{вн}$	I		II	На форму модуля со стороны внутреннего фланга
Начальная ширина захвата при выемке полосы	r_i	I		II	На форму модуля со стороны внутреннего фланга
Длина лавы	$l_{л}$	II		II	На форму модуля с обеих сторон лавы
Радиус разворота внутреннего фланга лавы	$r_{в}$	II		II	На форму модуля со стороны внутреннего фланга
Параметры специальной выработки в зоне центра разворота	$l_1; l_2; \beta; \tau; \gamma$	II		II	На содержание и форму модуля с обеих сторон лавы
Угол между линией забоя лавы и выработкой прилегающей с внешнего фланга	θ	II		II	На форму модуля со стороны внешнего фланга

ВЫВОДЫ

1. Классификация технологических схем с разворотом механизированных комплексов должна разрабатываться на основе выделенных признаков, характеризующих технологические схемы маневрирования лавой в плоскости пласта и с учетом существующих классификаций. Разработка классификации должна производиться на основе принципов модульности и уровневого деления технологии, причем межуровневые связи должны иметь эмерджентный характер, т. е. при переходе от уровня к уровню должно иметь место изменение качественных признаков, характеризующих технологические модули.

2. Целью разработки классификации является приведение в порядок систематизации знаний о технологии, что служит основой построения формальной модели технологических знаний.

Принципами классификации являются:

- модульность;
- иерархичность соответственно уровням деления технологии.

В процессе разработки классификации должны быть решены 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.

3. В свете принципа модульности, модуль изменения длины лавы рассматривается как результат сшивки двух модулей любой сложности. Отсюда следует, что модуль изменения длины лавы существует лишь в сложных модулях классификации.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

3.1. Формализация и этапы решения поставленной задачи в рамках семиотического моделирования

Ранее было показано, что диалектика развития методологических принципов решения технологических задач заключается в применении к организации технологических знаний гибкого подхода, обеспечивающего их модульную перестройку, а в отношении формализации технологических знаний - в применении методов ИИ [121]. Подход в рамках проблематики ИИ, в свою очередь, требует применения семиотического и имитационного моделирования, а при необходимости - использования экспертных знаний и оценок. Согласно поставленной цели и сформулированным задачам исследований решаемую проблему можно разбить на несколько этапов.

На первом этапе необходимо определить подход, на основе которого будет решаться поставленная задача. Другими словами, ответить на вопрос, подходит ли сформулированная проблема для решения ее в рамках проблематики ИИ. Это представляет значительную трудность. Неформализованность задач, решаемых в рамках ИИ, отсутствие завершенной теории ИИ и ЭС в рамках методологии их проектирования приводит к необходимости модифицировать принципы и способы построения ЭС в ходе процесса проектирования по мере того, как увеличиваются знания ЭС о ПрО [122]. Учитывая отмеченные сложности при проектировании ЭС необходимо использовать концепцию "быстрого прототипа" [123], суть которой будет изложена ниже.

Отбираются шахты, на которых реализовались технологические схемы с разворотом лав. Для разработки начальных версий прототипов ЭС предполагается сначала использовать опыт, содержащийся в научных публикациях и различных технологических документах, а также консультации ученых - специалистов в данной ПрО.

В некоторых отношениях трудность задачи связана с тем, в какой степени знания и решения задачи точны и хорошо структурированы. Этот вопрос решается на этапе разработки прототипа, реализация которого требует организации и структуризации знаний.

Можно с уверенностью сказать, что разработка системы автоматизированного конструирования технологических схем с разворотом лавы удовлетворяет всем необходимым условиям. Технологические схемы с разворотом механизированного комплекса - относительно новый вид технологии. Специалистов в области разработки технологических схем с разворотом лавы мало. Кроме того, у них нет возможности проведения вычислительного эксперимента для определения эффективности того или иного вида технологии и для выбора наилучшего [124, 125].

Таким образом, конечные результаты работы построены на основе серии последовательных экспериментов с все более усложняющимися версиями модели ПрО.

Процесс разработки ЭС состоит из пяти сильно взаимодействующих и перекрывающих друг друга этапов: идентификации, концептуализации, формализации, реализации, верификации [126, 127]. На рис. 3.1 показано, как эти этапы влияют друг на друга. Хотя эти этапы и выделены, нельзя строго указать порядок, в котором они следуют. Разработка действительно всегда начинается с идентификации и заканчивается верификацией, однако в любой момент в ходе разработки может появиться необходимость перейти к любому из этих этапов.

На этапе идентификации определяются существенные особенности задачи. К ним относятся сама задача, цели и задачи создания ЭС, а также требуемые ресурсы и участники разработки.

Первым шагом здесь является знакомство с проблемой, изучение литературы и производственной документации, связанных с технологией разворота очистного забоя. Эти задачи уже решены в первой главе.



Рис. 3.1 - Этапы исследования и разработки ЭС

При знакомстве с проблемой изучаются также типы логических задач, которые будет решать ЭС, выделяются основные и второстепенные задачи исследования.

Этап концептуализации по-другому называют процессом систематизации, структуризации, классификации.

Таким образом, на этапе концептуализации необходимо определить, какие понятия, отношения и механизмы нужны для описания решения задач в ПрО. Исследуются также подзадачи, стратегии и ограничения, связанные с деятельностью по решению задач.

На стадии концептуализации решается вопрос о гранулярности, т.е. в какой степени подробности необходимо рассматривать поставленные задачи.

Приведение знаний в некую структуру есть процесс установления множества понятий и тех качественных и количественных закономерностей, которые существуют между этими понятиями.

В связи с этим профессор Д. А. Поспелов отмечает: "... Наука начинается с изменения и вычисления. Эта традиция идет от физики. В действительности же наука начинается с классификации... Управление сложными объектами принципиально невозможно без привлечения информации, которая не может быть выражена количественно. Это семантическая, т. е. смысловая, качественная информация" [128].

На этапе организации знаний сами знания разбиваются на виды [129]. Для ПрО комплексно-механизированной выемки угля и принятия решений в этой ПрО знания логически разбиваются на три типа: знания о технологии разворота очистного забоя; знания о факторах, влияющих на принятие решения; знания, обеспечивающие процесс принятия решения.

Знания первых двух типов организуются посредством выделения в них ключевых понятий и установления между этими понятиями отношений, которые приводят их в порядок, т.е. классифицируют.

Выявляются отношения между факторами, влияющими на принятие решения, и технологическими схемами или их элементами.

Формализация состоит в выражении понятий и отношений между ними некоторым формальным способом. Как уже было отмечено, наиболее признанным являются семантические сети, фреймы и продукционные системы, а также их комбинации.

Наиболее подходящими формализмами для знаний первого и второго типа являются семантические сети и фреймы. Этапам концептуализации и формализации в традиционном подходе соответствует этап разработки математической модели.

На этапе реализации формализованные знания записываются в работающую систему научно-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 реализации – это проверка результатов проведенных исследований и принятых на их основе проектных решений. Это означает, что с большой вероятностью первая версия прототипа будет пересмотрена.

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.

В качестве тестов можно использовать прецеденты реализации технологических схем с разворотом механизированной лавы.

Желательно как можно больший объем задач пропустить через ЭС. Это позволяет точнее поставить диагноз "плохой" работы системы и более точно выявить ошибку.

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

3.2. Исследование структуры процесса принятия проектных технологических решений при семиотическом моделировании

В общепринятом смысле процесс принятия решений при семиотическом моделировании в рамках поставленной задачи подразумевает наличие следующих составляющих:

1. База данных о технологических схемах маневрирования лавой в плоскости пласта.
2. База данных о факторах, влияющих на принятие проектного решения.
3. База данных о порядке (алгоритме) процесса принятия проектного решения.

В настоящей работе для проведения исследований приняты (табл. 3.1) [130]:

1. Нормативные технологические документы в виде каталогов и альбомов разработанных технологических схем.
2. Производственная документация, а именно планы горных работ, паспорта крепления и управления кровлей и дополнения к ним.
3. Научная литература, представляемая монографиями, статьями в научных сборниках и журналах.
4. Патентные источники в виде авторских свидетельств на изобретения.
5. Эксперты.

На первых этапах исследования применялись первые четыре источника, для последующих этапов привлекались эксперты.

Относительно источников знаний: сложность их извлечения оценивается как:

- простая;
- сложная.

К первому типу относятся первые четыре источника (табл. 3.2).

Сложность извлечения по видам знаний оценивается по той же шкале. К первому типу относятся знания о технологии. Ко второму типу - знания о факторах, влияющих на принятие решения, и о процессе принятия решения.

Такое деление знаний по сложности их извлечения относительно источников связано с тем, что информация, хранящаяся в первых четырех источниках, представлена в явном виде, т.е. в графических схемах и понятийном описании. В терминах ИИ - это знания первого рода (объективизированные знания). Этот вид знаний не представляет особых сложностей для извлечения. Они хранятся в том виде, который требуется как исходный для процесса их организации. Знания же человека-эксперта зачастую находятся в интуитивной, эвристической форме, затруднительной для вербального выражения. В терминах ИИ это знания второго рода (неточные, неформальные, экспертные). Эти знания относятся также к субъективным знаниям. При извлечении экспертных знаний существует так называемый парадокс экспертизы, отмеченный Уотерменом [136]. Суть его в следующем: чем более компетентным становится эксперт, тем менее способен он описать те знания, которые он использует для решения задачи.

Причины разбиения знаний по сложности извлечения относительно видов знаний заключаются в следующем. Знания о технологии являются точными (знания первого рода), так как они выражаются в графическом виде и процесс производства работ при той или иной схеме свободно алгоритмизируется. Напротив, знания о факторах, влияющих на принятие решения, представляют собой достаточно расплывчатую систему с неизвестным числом элементов и расплывчатыми отношениями, которые плохо вербализуются и зачастую используются экспертом неявно на этапе процесса принятия решения. Это знания второго рода.

На первых этапах исследования использовались знания первых четырех видов источников информации. Для удобства проведения процесса организации знаний был разработан бумажный вариант БД по технологии разворотов очистных забоев. Проводимые исследования выполняются в рамках методологии гибкой технологии выемки угля. Поясним основные положения данного подхода. Гибкая технология - модульная технология. Основная категория гибкой технологии – модуль [130, 131]. Модули делятся на

ситуативные и технологические. Технологические модули решают сложившиеся ситуации (ситуативные модули). 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) [41, 48]. 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 изделие.

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.

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.

Таблица 3.1 - Характеристика источников знаний

Место накопления знаний	Формы представления знаний	Виды представляемых знаний	Способ представления знаний	Достоинства способа представления	Недостатки способа представления
1. Нормативные технологические документы	Каталоги, альбомы технологических схем	а) Знание о технологии	Графический, в виде технологических схем и их понятийного описания	Удобство восприятия	-
		б) Знание о факторах, влияющих на принятие решения	Текстовый, в виде области применения технологических схем	Удобство восприятия	Недостаточное количество учитываемых факторов
		в) Знание о процессе принятия решения	Неявный. Подразумевается сравнение конкретных показателей с принятыми для технологических схем	Удобный способ принятия решения	Даются наиболее общие рекомендации, составляющие значительную долю принятия решений человеком
2. Производственная документация	Планы горных работ, паспорта крепления и управления кровлей и дополнения к ним	а) Знания о технологии	Графический, в виде технологических схем и их понятийного описания	Удобство восприятия	-
		б) Знания о факторах, влияющих на принятие решения	Текстовый и графический, в виде условий применения технологических схемы	Удобство восприятия	Недостаточное количество учитывания

		в) Знания о процессе принятия решения	Ссылки на нормативные технологические документы	Удобный способ принятия решений	Недостаточный анализ ситуации
3. Научная литература	Монографии, статьи в научных сборниках и журналах	В каждом случае свой набор видов знаний о предмете исследования	Графический и текстовый способ представления, в виде технологических схем, понятийного описания объектов и процессов, качественных и количественных закономерностей	-	Исследования обычно посвящаются достаточно узким областям
4. Патентные хранилища	Свидетельства на изобретение	В каждом случае свой набор знаний. Чаще знания о технологии	Графический и текстовый способ представления, в виде технологических схем, понятийного описания объектов и процессов, качественных и количественных закономерностей	Удобство восприятия	Неподкрепленность исследованиями и практической реализацией
5. Человек (производственник или ученый)	Индивидуальная структура человеческой памяти	Все виды знаний	Графические образы, понятийные модели мира, процессы логического и эвристического (индуктивного) выводов	Эффективная структура представления	-

Таблица 3.2 - Оценка сложности извлечения знаний

Шкала сложности	Относительно источников знаний	Относительно видов знаний
1. Простое	а) нормативная технологическая документация б) производственная документация в) научная литература г) патентные источники	Знания о технологии
2. Сложное	Эксперты	а) знания о факторах, влияющих на принятие решения б) знания о процессе принятия решения

Выше отмечалось, что знания о факторах, влияющих на принятие решения являются неявными, само множество факторов - расплывчато. Поэтому ставятся задачи определения: множества факторов; типа шкалы каждого фактора; уровней шкалы фактора. Поставленная задача решается с помощью информационных источников.

Большинство шкал факторов относятся к типу качественных, но есть и те, которые относятся к типу количественных.

Все множество факторов можно разделить на два подмножества. К первому подмножеству относятся независимые факторы, ко второму - зависимые. На подмножестве зависимых факторов реализуются каузальные отношения. Отношения выделялись для двух факторов, первый из которых является причинным, а второй фактором следствия. Суть зависимости представляется в вербальном виде. Все реализующиеся на подмножестве зависимых факторов отношения классифицируются по свойствам строгости и симметричности.

Зависимость (отношение) будем называть строгой, если для появления значений фактора-следствия необходимым является наличие значений фактора-причины.

Зависимость (отношение) будем называть нестрогой, если для появления значений фактора-причины с некоторой возможностью вызывает появление значений фактора-следствия.

Если факторы обозначать как квадратики, а отношения между ними в виде прямых линий, то возможно графическое представление структуры отношений реализующихся на подмножестве зависимых факторов (рис. 3.2). Как видно из рисунка, подмножество имеет сетевую структуру, причем ненаправленную, а произвольную.

Отметим, что в подмножестве зависимых факторов имеются подмножества независимые между собой.

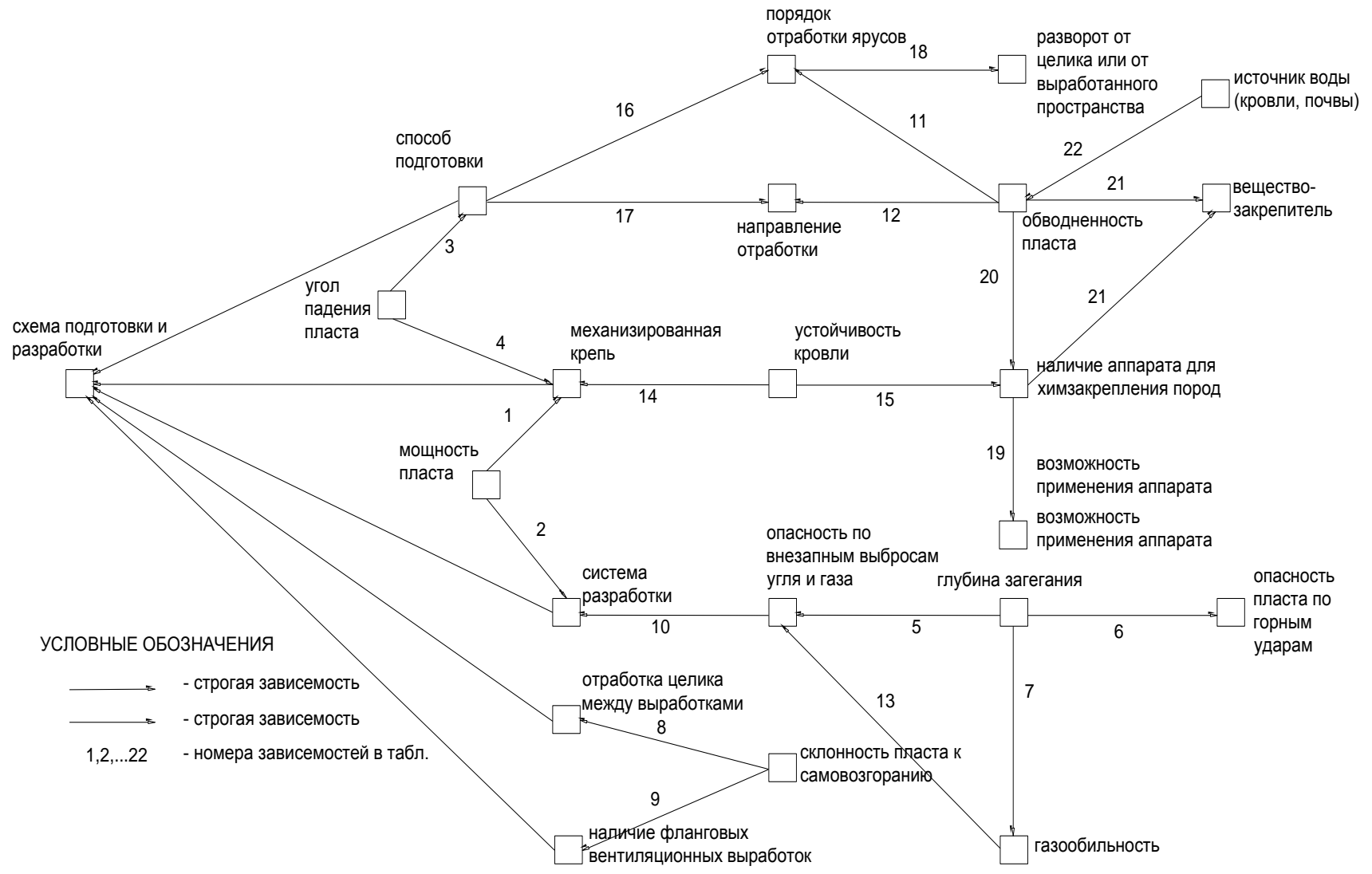


Рис. 3.2 - Структура зависимостей, реализующихся на подмножестве факторов

Ранее отмечалось, что знания о правилах принятия решения являются неявными, экспертными. В связи с этим необходимо решить следующие задачи: определить подмножества факторов, которые влияют на элементы технологической схемы разворота; определить насколько сильно значение каждого фактора влияет на элемент схемы; определить шкалу, в значениях которой указывается влияние фактора на принятие того или иного элемента схемы.

Полученные зависимости выявились на основе некоторых экспертных оценок. Знак "+" говорит о том, что данный фактор влияет на данный элемент технологической схемы, а знак "-" указывает на то, что данный фактор не оказывает никакого влияния на выбор данного элемента схемы.

Где знак стоит во всех колонках, то это означает, что данный фактор влияет на элементы верхнего по иерархии технологического уровня или же на другие мероприятия, применяемые при развороте.

Все зависимости, реализующиеся между факторами и элементами технологической схемы относятся к каузальным и являются нестрогими.

Отметим, что принимаемые факторами значения влияют по разному на элементы технологической схемы. 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.

Заметим, что использование экспертных эвристических правил принятия решения позволяет значительно сократить пространство поиска решений и сделать задачу практически разрешимой.

Причем, если используются знания высококлассного специалиста-эксперта, то данная задача будет решаться на уровне высокой компетентности. Кроме того, использование правил позволяет при принятии решения учитывать как угодно большое количество факторов, влияющих на принятие решения, т. е.

реализовать системный анализ ситуации с последующим принятием рационального решения.

Подсчитано, что если ситуация описывается с помощью 63 факторов, то максимально возможное количество ситуаций, отличающихся хотя бы одним из значений факторов будет равняться $6,2590759 \cdot 10^6$. Минимально возможное количество ситуаций (с учетом реализующихся на множестве факторов отношений) равняется $6,191736 \cdot 10^{10}$.

При подсчете возможных ситуаций учитывались следующие ограничения: в каждый момент времени каждый фактор может принимать только одно значение из своей шкалы; в каждый момент времени каждый фактор, участвующий в описании ситуации, обязательно принимает значение. На практике, в силу неопределенности и неточности знаний о среде и правилах принятия решений, эти два ограничения могут не выполняться.

Понятно, что при такой большой размерности пространства возможных ситуаций, а при решении многих задач приходится учитывать гораздо больше факторов, практически невозможно применение метода поиска, когда заранее устанавливаются возможные ситуации (каталог ситуаций) и для них подбираются возможные технологические решения (каталог решений). Другими словами, возможные решения должны представляться в ЭВМ не в декларативной (описательной) форме, а в декларативно - процедуральной.

При этом декларируются факторы и элементы технологических схем, над которыми работают процедуры распознавания ситуации, генерации технологических схем и процедуры, устанавливающие соответствие между факторами и решениями, т.е. правила принятия решений.

В задачах принятия технологических решений возможны следующие неопределенности: неопределенность знаний о факторах, влияющих на принятие решения, описывающих ситуацию; неопределенность знаний, заложенных в правилах принятия решения вследствие их субъективности и вследствие неопределенности знаний о ситуации (о значениях факторов).

3.3. Формализация семиотической модели технологических схем разворота лавы

Принятые ограничения при разработке формальной модели

При формализации технологических аспектов технологических схем с разворотом комплексов использовались ограничения на структуру технологических схем. Принимается, что технологические схемы разворота лавы состоят из элементов зоны центра разворота, внешнего фланга разворачиваемой лавы и наличия (отсутствия) выработки параллельной средней (рис.3.3). Зона центра разворота описывается: местоположением внутреннего фланга лавы, его подвижностью, демонтажем части секций крепи на время разворота и химзакреплением вмещающих пород зоны центра разворота. Со стороны внешнего фланга разворачиваемой лавы рассматриваются лишь некоторые схемы уменьшения потерь угля в угловых целиках выемочного поля. При этом считается, что выемочное поле имеет прямоугольные очертания со стороны разворота.

Кроме того, принимается, что факт наличия или отсутствия выработки параллельной средней устанавливается на третьем технологическом уровне, когда решается вопрос о системе разработки, принимаемой на данном выемочном участке.

Знания о факторах, влияющих на принятие решения, участвуют в разрабатываемой модели в полном объеме. В полном объеме учитываются и взаимосвязи между факторами и элементами технологической схемы.

Формализация проектных технологических решений

Из рис. 3.3 видно, что знания о технологических схемах разворота лавы имеют иерархически организованную строгую структуру понятий, между которыми реализуются отношения "часть - целое" [129]. Для формализации подобным образом организованных знаний о ПрО применяется фреймовое представление [132].

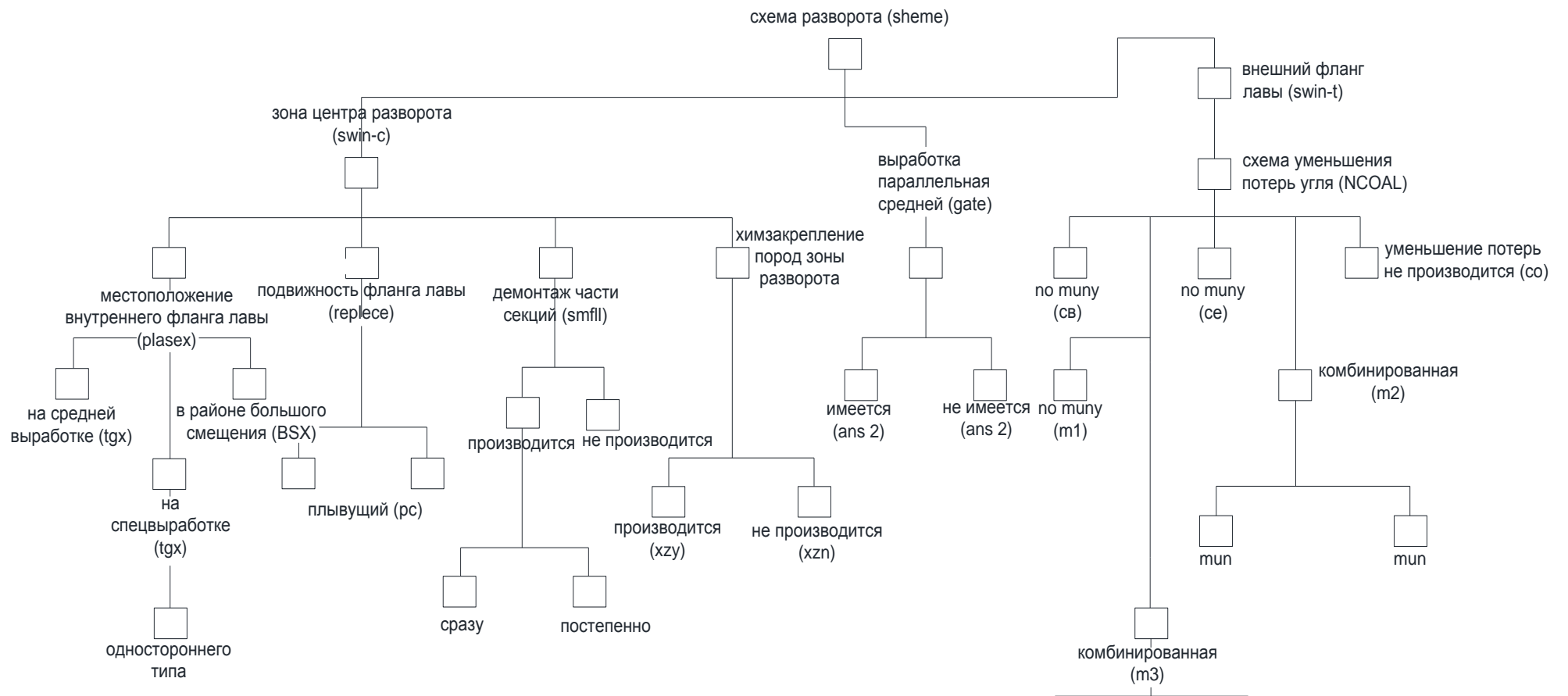


Рис. 3.3 - Структура технологических схем разворота очистного забоя

Дело в том, что понятия представляют собой неформальные знания о ПрО, а фреймы - формализованные. В данном случае они рассматриваются как семантический блок или модуль семиотической модели. Теоретические основания фреймового представления описаны в [99,103,111,124,141,142,144].

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

$$\{n, (v_1, g_1, p_1), (v_2, g_2, p_2), \dots, (v_k, g_k, p_k)\} \quad (3.1)$$

где n - имя фрейма;

v_j - имя слота;

g_j - значение слота;

p_j - процедура моделирования.

Имена фреймов используются как мнемонические элементы для конструирования сети фреймов. В качестве значений слотов могут выступать имена других фреймов, что обеспечивает связи между фреймами, их "вкладываемость" друг в друга.

Например, можно определить фрейм с именем *Scheme*.

Он запишется как

$$\begin{aligned} & \mathbf{scheme}, (\mathbf{swin-c}, \langle p_1 \rangle, \\ & \mathbf{gate}, \langle \mathbf{ans}_1, \mathbf{ans}_2 \rangle, \\ & \mathbf{swin-t}, \langle p_2 \rangle), \end{aligned} \quad (3.2)$$

где p_1, p_2 - процедуры, инициализирующие запуск фреймов *swin-c*, *swin-t*.

В свою очередь слот *swin-c* определяется как фрейм с тем же именем.

Фрейм *swin* имеет запись

$$\begin{aligned} & \mathbf{swin-c}, (\mathbf{placex}, \langle \mathbf{tgx}, \mathbf{sspx}, \mathbf{bsx} \rangle, \\ & \mathbf{replace}, \langle \mathbf{pc}, \mathbf{nc} \rangle, \\ & \mathbf{small}, \langle \mathbf{mdy}, \mathbf{mdn} \rangle, \\ & \mathbf{cons}, \langle \mathbf{xzy}, \mathbf{xzn} \rangle). \end{aligned} \quad (3.3)$$

Таким образом обращение к слоту с именем *swin-c*, значениями которого являются переменные инициализирует фрейм с тем же именем.

В нашем случае возможно определение еще одного фрейма. Он запишется в виде

$$\mathbf{swin-t}, (\mathbf{ncoal}, \langle \mathbf{c_0, m_3, cb}, \mathbf{cee, m_1} \rangle) \quad (3.4)$$

В каждый момент времени слоты инициализированного фрейма могут принимать одно из возможных значений. Например, инициализированный фрейм **swin-c** может принять следующие значения

$$\begin{aligned} &\mathbf{swin-c}, (\mathbf{placex}, \langle \mathbf{tgx} \rangle, \\ &\mathbf{replace}, \langle \mathbf{nc} \rangle, \\ &\mathbf{small1}, \langle \mathbf{mdn} \rangle, \\ &\mathbf{cons}, \langle \mathbf{xzy} \rangle). \end{aligned} \quad (3.5)$$

Фрейм вида (3.5), у которого значения всех слотов в момент времени **t** являются терминальными называется фактом (конкретным фреймом). Множество фактов $\mathbf{Fi} \in \mathbf{swin-c}$, $\mathbf{I} \in \mathbf{1, \dots, E}$, зафиксированных в БД модели ПрО в момент времени **t** называется экстенсионалом фрейма **swin-c**, т.е.

$$\mathbf{EXT}(\mathbf{swin-c}, \mathbf{t}) = \{\mathbf{Fi} \in \mathbf{swin-c}\}, \mathbf{i} = \mathbf{1, \dots, Etc}, \quad (3.6)$$

где: **Etc**- мощность **EXT(swin-c)**.

Соответственно экстенсионалом фрейма **swin-t** в момент **t** является запись вида

$$\mathbf{EXT}(\mathbf{swin-t}, \mathbf{t}) = \{\mathbf{Fi} \in \mathbf{swin-t}\}, \mathbf{i} = \mathbf{1, \dots, Ett}. \quad (3.7)$$

Множество экстенсионалов фрейма образуют его суперэкстенсионал **SEXT**. При этом

$$\mathbf{EXT}(\mathbf{swin-c}, \mathbf{t}) \in \mathbf{SEXT}(\mathbf{swin}, \mathbf{c}), \quad (3.8)$$

$$\mathbf{EXT}(\mathbf{swin-t}, \mathbf{t}) \in \mathbf{SEXT}(\mathbf{swin-t}). \quad (3.9)$$

Мощности суперэкстенсионалов имеют размерности:

$$\mathbf{E_c}(\mathbf{SEXT}(\mathbf{swin-c})) = \mathbf{24}; \mathbf{E_t}(\mathbf{SEXT}(\mathbf{swin-t})) = \mathbf{6}.$$

Указанные характеристики существуют и у фрейма более высокого уровня, чем рассмотренные.

$$\mathbf{EXT}(\mathbf{sheme}, \mathbf{t}) = \{\mathbf{Fi} \in \mathbf{sheme}\}, \mathbf{i} = \mathbf{1, \dots, Ets}, \quad (3.10)$$

$$\mathbf{EXT}(\mathbf{sheme}, \mathbf{t}) \in \mathbf{SEXT}(\mathbf{sheme}), \quad (3.11)$$

$$\mathbf{E_s}(\mathbf{SEXT}(\mathbf{sheme})) = \mathbf{6}.$$

Под интенционалом фрейма *swin-c* будем понимать функцию **INT (swin-c)**, которая вырабатывает множество фактов $\{Fi\} = \text{SEXT (swin-c)}$, являющихся конкретизацией фрейма-прототипа. Аналогичным образом определяются интенционалы других фреймов.

Запись вида

$$\text{SCH}(n_i) = (n_i \dots \langle V_j \rangle \text{DOM}(n_i; V_j) \dots), J=1, \dots, N_i, \quad (3.12)$$

$$n_i \in \{n_1, \dots, n_N\}$$

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**;

N_i- местность, или арность, фрейма.

У нас в модели имеется три фрейма - **sheme, swin-c, swin-t** , т.е. **T=4**. Схемой фрейма **sheme** будет являться его приведенная формальная запись. Арность **N_s=3**. Соответственно схемами фреймов **swin-c** и **swin-t** являются записи (3.4) и (3.5),

их арности - **N_c=4 ,N_t=1**.

Факт

$$\text{Fig} = (\langle \text{метка-факта} \rangle n_i \dots \langle \text{Vig}_{ijk} \rangle \dots) \quad (3.13)$$

является конкретом схемы **SCH(N_i)** , если

$$\forall gik \in \text{DOM}(n_i; V_j).$$

Таблица 3.3 - 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												+	+	+	+	+	+	

Примером конкрета схемы фрейма swin-с служит (3.13).

Прототипом фрейма N_i называется фрейм, имеющий структуру факта F_{ik} , но в котором помимо терминальных $gDOM(n; V_j)$ допускается g_{ijk} вида ($:\langle$ имя переменной \rangle).

Заметим, что работа интенционалов 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 определяет: экстенционалы фреймов; силу связей, существующих в фактах экстенционалов фреймов; экстенционал фреймовой сети; силу связей, существующих в фактах экстенционала фреймовой сети.

В табл. 3.3 приводится попарная совместимость элементов технологической схемы. Здесь знаком "+" отражается полная структурная совместимость. Цифрами со знаком "-" отражается тот факт, насколько нежелательно совместное присутствие элементов в рамках одной схемы. Цифры назначаются в шкале [0; 100]. Соответственно там, где на перекрестии двух элементов указано "- 100", это означает, что данные элементы в рамках одной схемы присутствовать не могут. Значения ослабления силы связей между элементами назначаются экспертами.

При работе интенционала возможны следующие результаты: создание факта с силой связей 100; создание факта с силой связей меньше 100; несоздание факта (сила факта 0).

Знания о структурной совместимости элементов хранятся в модели постоянно в процедуральной форме.

При проектировании технологической схемы для конкретных условий, определяемых факторами, влияющими на принятие решения, связи между отдельными элементами могут ослабляться или усиливаться. Этот эффект назовем ситуационной совместимостью технологических элементов.

Соответственно, под ситуационной совместимостью понимается возможность и эффективность присутствия технологических схем в рамках одной технологической схемы с учетом условий проектирования.

Заметим, что выработка экстенционала фреймовой сети начинается в условиях, когда ситуативная совместимость элементов процедурально определена с помощью правил принятия решения. Причем для пересчета силы связей, существующих между отдельными элементами на всю технологическую схему (на весь факт экстенционала) применяется специальная алгебра, которая будет рассмотрена ниже.

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

Формализация знаний о факторах, влияющих на принятие решения

Множество факторов, влияющих на принятие проектного решения в области технологических схем разворота механизированных комплексов делится на два составных подмножества: независимых и зависимых. На подмножестве зависимых факторов реализуются каузальные отношения организующие подмножество зависимых факторов в сеть. Сеть факторов имеет неиерархическую, нестрогую, ненаправленную и несимметричную структуру, что позволяет назвать ее сетью произвольной. Для представления подобной структуры в адекватном виде применяется формализм, называемой семантической сетью.

Под семантической сетью понимается граф с помеченными вершинами (узлами) и дугами. Вершинам ставятся в соответствие конкретные объекты, а дугам - семантические отношения между ними. В нашем случае объектами являются факторы с возможными значениями, а дугами - каузальные отношения, существующие между факторами.

Теоретические основы семантических сетей описаны в [133,134,136,137,138,139,140,142, 147-149].

Рассмотрим характеристики семантической сети подмножества зависимых факторов. Факторы обозначим посредством множества символов

$$A = \{A_1, \dots, A_r\}, \quad (3.14)$$

где A_i - фактор, стоящий в таблице под номером $i, i=1, \dots, r$.

Согласно таблице количество факторов $r=63$. На подмножестве зависимых факторов реализуется множество $R = \{R_1, \dots, R_m\}$ отношений,

где R_j -отношение, стоящее в таблице под номером $j, j=1, \dots, m$. Согласно таблице $m= 22$.

Схемой или интенционалом отношения R_i будем называть набор пар

$$INT(R_j) = \{\dots, [A_i, DOM(A_i)], \dots\}, \quad (3.15)$$

где R_j - имя отношения; $DOM(A_i)$ – домен A_i ; т. е. множество значений атрибута отношения R_j .

Объединение всех доменов называют базовым множеством модели или множеством объектов (у нас факторов) на которых задаются отношения R_j .

Например, интенционал отношения R_1 запишется в виде

$$INT(R_1) = \{[A_1, a_{1j}], [A_{23}, a_{231}, a_{232}]\}, \quad (3.16)$$

где a_{1j} - значение из промежутка $[0; 5]$

a_{231} - легкая;

a_{232} - тяжелая.

Интенционал отношения R_{16} -

$$INT(R_{16}) = \{[A_{15}, a_{151}, a_{152}, a_{153}], [A_{16}, a_{161}, a_{162}]\}, \quad (3.17)$$

где a_{151} - панельная;

a_{152} -этажная;

a_{153} -погоризонтная;

a_{161} - восходящий;

a_{162} - нисходящий.

Экстенционалом отношения R_j , называют множество

$$EXT(R_j) = \{F_1, \dots, F_p\}, \quad (3.18)$$

где $F_k (k=1, \dots, p)$ – факт отношения R_j .

Под фактом понимают конкретизацию определенного отношения между указанными объектами. В графической интерпретации факт - это подграф семантической сети, имеющий звездообразную структуру.

Например, экстенционал отношения R_j запишется в виде

$$\text{EXT}(R_{16}) = \{a_{151}-a_{161}, a_{151}-a_{162}, a_{152}-a_{161}, a_{152}-a_{162}\} \quad (3.19)$$

Экстенциональная семантическая сеть описывает экстенциональные знания о моделируемых объектах (у нас - об условиях проектирования технологических схем с разворотом механизированных комплексов), являясь как бы фотографией его текущего состояния. При этом факторы множества A принимают какие-либо конкретные значения. Как уже отмечалось, интенциональная семантическая сеть, с количеством узлов $r = 63$ допускает около $6 \cdot 10^{26}$ экстенциональных сетей.

Формализация знаний о процессе принятия решений

Правила принятия решения представляют собой процедуральные алгоритмы, распознающие сложившуюся ситуацию и определяющие наиболее рациональные варианты ее решения [141]. Такого рода алгоритмы наиболее удачным образом формализуются в продукционных моделях представления. Основным понятием в продукционных моделях является понятие продукционных правил принятия решения. Продукционные правила с одной стороны близки к логическим моделям, что позволяет организовать эффективные процедуры вывода, с другой стороны, более наглядно отражают взаимосвязи, чем классические логические модели, так как в них отсутствуют жесткие ограничения, характерные для логических исчислений. В общем виде под продукционным правилом понимается выражение следующего вида:

$$(P_i); K; M; \alpha \rightarrow \beta; N, \quad (3.20)$$

где P_i - имя продукционного правила;

K -сфера применения продукционного правила; $\alpha \rightarrow \beta$ - ядро продукционного правила;

M - условие применимости ядра продукционного правила;

N - ограничение продукционного правила.

Часто продукционное правило имеет более простой вид и состоит из одного лишь ядра:

$$P_i : \alpha \rightarrow \beta \text{ (" если } \alpha \text{ , то } \beta \text{ ")} \quad (3.21)$$

В нашем случае для синтеза технологических схем с разворотом механизированных комплексов использовались продукционные правила вида (3.21), и в дальнейшем говоря о правилах будет иметь именно эту запись. Более подробно продукционные правила и продукционные системы описаны в работах [136, 137, 142].

Согласно принятой классификации нами для целей формализации технологической задачи использовались недетерминированные альтернативные правила. Это означает, что правая часть правила может выполняться или не выполняться, т.е. секвенция реализуется по возможности. Возможность в нашем случае описывается коэффициентом адаптивности, алгебра которого будет описана ниже. Кроме того в правой части правила указываются альтернативные возможности выбора, которые также отражаются Cf (коэффициентом адаптивности). Из базы правил приведем пример разработанной нами системы "РАЗВОРОТ"

rule:roofr₁

if:ans₁₁₁=1

then: replace +={"pc"cf₆₀, "nc"cf₈₀}

reason:

кровля устойчивая. Этот факт увеличивает cf неподвижного центра разворота (cf_{80}) и снижает подвижного центра разворота (cf_{60}).

В данном выражении подчеркнутые слова - это служебные слова оболочки "Интерэксперт". **rule** - правила; **if**- оператор "если", **then**- оператор "то"; **reason** - интерпретация правила на естественном языке.

Из правила **roofr₁** видно, что правая его часть (**then**) реализуется с некоторой возможностью, причем даются альтернативные варианты заключения, один из которых "**nc**" cf_{80} сильнее второго "**pc**" cf_{60} .

Интеллектуальная система, знания которой формализованы в продукционных правилах называется продукционной системой. Формально продукционная система запишется следующим образом:

$$PS=\{F,P,I\} \quad (3.22)$$

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 ЭС приводится на рис.3.4. БД не следует путать с БД в общепринятом смысле слова. Это некая динамическая зона памяти, которую можно рассматривать как динамическую систему, изменяющую свое состояние $X(t)$ под воздействием продукционных правил.

Множество продукционных правил суть БЗ. Из БЗ система управления выбирает по определенной стратегии нужные правила для воздействия на БД и переводит ее из состояния $X(t)$ в состояние $X(t+1)$. Продукционная система функционирует пока не дойдет до терминального состояния, что может означать либо задача решена, либо задача не решена.

Стимулом работы системы управления является различие между текущим состоянием $X(t)$ и терминальным состоянием. Таким образом, формально функционирование продукционной системы можно записать в виде

$$X(t+1)=f(x(t),P_i(x)), \quad (3.23)$$

где $P_i \in P$.

БЗ системы разрабатывалась следующим образом.

В табл.3.3 в левой части указаны факторы, влияющие на принятие решения со своими шкалами, в правой части - элементы технологических схем разворота. На пересечении факторов и элементов схем указано посредством знака “ - ” что данный фактор не влияет на выбор данного элемента схемы и знаком “ + ” что данный фактор влияет на выбор элемента схемы.

Была составлена таблица, в которой каждое значение шкалы всех влияющих факторов соотносилось с элементами схем разворота и с помощью

экспертов были расставлены значения в промежутке $-100; 100$ с какой силой какое значение шкалы фактора влияет на выбор того или иного элемента схемы. Причем значение 100 говорит о том, что при данном значении шкалы фактора необходимо выбирать именно этот элемент схемы и наоборот -100 означает, что в данной ситуации нельзя принимать именно этот элемент схемы.

После этого писались сами правила: в левую часть (**if**) ставились значения шкал фактора, в правую часть (**then**) – **cf** выбора элементов схемы. Кроме того, отдельно писались правила, которые имели в левой части (**if**) сложное логическое условие, учитывающее сразу несколько факторов.

Необходимо отметить, что в процессе отладки системы неоднократно правила переписывались, писались новые, стирались уже имеющиеся и часто изменялись первоначально выставленные **cf**.

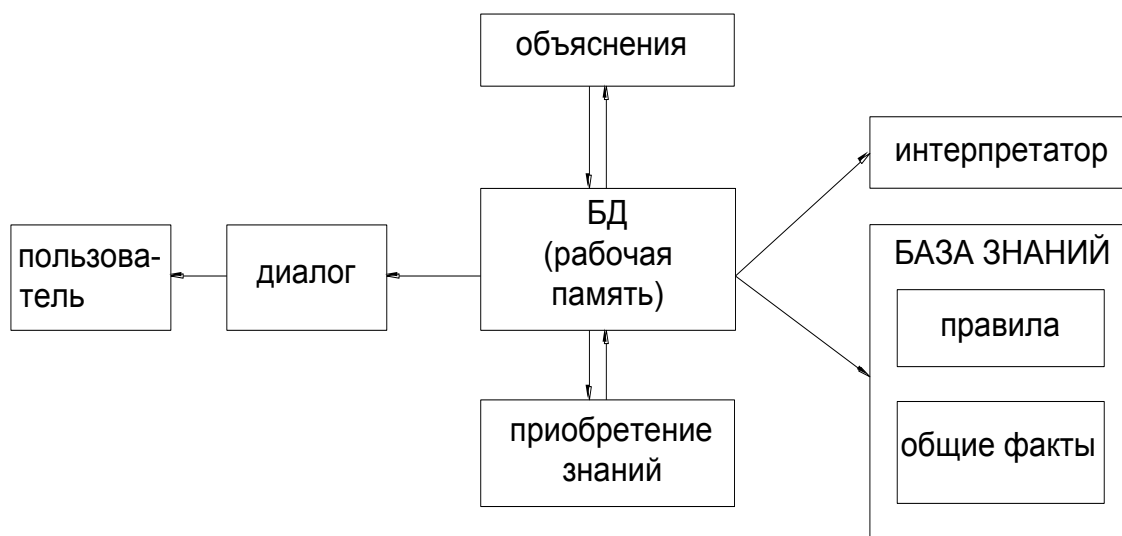


Рис. 3.4 - Структура ЭС

Факторы были обозначены через $A = \{A_1, \dots, A_r\}$. Это тот набор факторов, сумма значений шкал которых будет являться конечным набором факторов, которыми оперирует продукционная система, т.е. $a = \{a_1, \dots, a_n\}$. Понятно, что $F \subset a$.

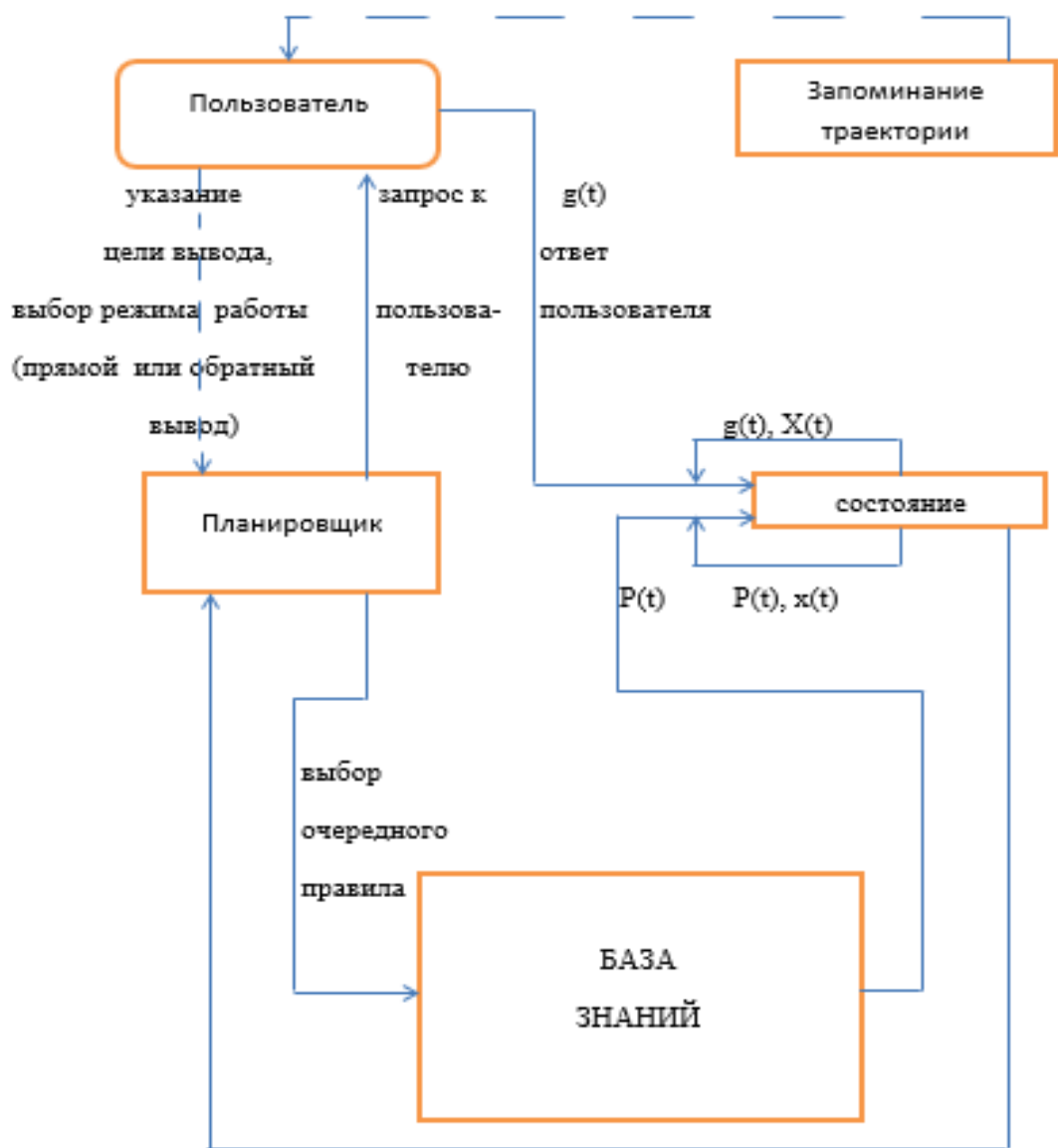


Рис. 3.5 - Процесс функционирования продукционной ЭС

Тогда формулу (3.23) можно переписать в виде

$$P_i: a_{i1} \wedge a_{i2} \wedge \dots \wedge a_{is} \rightarrow g_{i1} \wedge g_{i2} \wedge \dots \wedge g_{ik} \quad (3.24)$$

где \wedge - знак конъюнкции;

$g_{i1} \dots g_{ik}$ - значения слотов фреймовой сети. Запись (3.24) означает, что из фактов $a_{i1} \dots a_{is}$ выводится либо значение (значения) слотов фреймовой сети, либо изменяются Cf существующих в БД в момент времени t значения слотов.

Заметим, что различные факторы из "А" или даже факты из "а" имеют содержательные связи. Для того чтобы сохранить главное свойство продукционных систем - независимость применения отдельных правил - связи

между факторами и фактами были описаны отдельно (рис.3.24). Это описание относится к метазнаниям по отношению к базе правил.

Поскольку модель выбора рациональных схем разворота относится к человеко-машинным системам, то многие факты $\mathbf{a}=\{\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_n\}$ поступают в модель от пользователя. Чтобы получить эти факты пользователю посылается запрос в виде альтернативного меню

$$\gamma_j = \{aj1 \vee aj2 \vee \dots \vee ajr\} \quad (3.43)$$

где \vee - знак дизъюнкции;

$gj \in Q$, Q - множество запросов к пользователю.

После выбора пользователем какого-либо факта a_{ji} могут быть применены правила. Кроме того семантическая сеть содержит знания о допустимых непротиворечивых состояниях среды (у нас максимальное их количество $\sim 25 \cdot 10^{26}$, минимально возможное $\sim 6,19 \cdot 10^{10}$). Допустимость какого-либо состояния среды определяется также посредством связей существующих между факторами. Все остальные состояния считаются недопустимыми, а вывод из них - противоречивым. Таким образом непротиворечивость работы модели достигается на уровне метазнаний.

В процессе вывода из правил образуются сложные цепочки в виде графов или сетей. Существует множество методов поиска решения задач в пространстве возможных состояний. Рассмотрим как этот вопрос решается в настоящей модели.

Задача поиска в пространстве состояний формулируется следующим образом. Пусть задана тройка

$$(\mathbf{S}_0, \mathbf{E}, \mathbf{S}_T), \quad (3.44)$$

где \mathbf{S}_0 - множество начальных состояний (условие задачи)

\mathbf{E} -множество операторов задачи, отражающих одни состояния в другие;

\mathbf{S}_T - множество конечных (целевых) состояний (решений задачи).

В этой постановке решить задачу - значит определить такую последовательность операторов (правил), которая преобразует начальные

состояния в конечные. Процесс решения можно представить в виде графа

$$G=(X,Y) \quad (3.45)$$

где $X=\{x_0,x_1,\dots\}$ - множество вершин графа, каждая из которых отождествляется с одним из состояний;

Y - множество, содержащее пары вершин $(x_i,x_j), x_i, x_j \in X$. В зависимости от типа графа - такие пары называют ребром или дугой графа.

Процесс поиска решений в графе может производиться как в глубину, так и в ширину, а также как в прямом (от исходных данных к цели) так и в обратном (от цели к исходным данным) направлении. Методы поиска в глубину и в ширину называют слепым поиском, поскольку в этих методах порядок раскрытия вершин предопределен и никак не зависит от расположения цели. При увеличении пространства поиска данные методы требуют чрезвычайных затрат времени и (или) памяти. Чтобы избежать этих неудобств были созданы эвристические методы поиска, т.е. методы, использующие некоторую информацию о ПрО для рассмотрения не всего пространства, а таких путей в нем, которые с наибольшей вероятностью приводят к цели. Заложенные в продукциях знания являются по своей природе эвристическими, что и позволяет реализовать модель выбора схем разворота лавы с минимальными затратами времени.

Сложные задачи, требующие большого количества правил не совсем удобно решать, используя одно пространство поиска, которое является достаточно большим. В этом случае целесообразно разбить это пространство на подпространства и осуществлять поиск сначала в них. Такой подход к решению задачи называется поиском в иерархии пространств. В нашей модели пространство поиска разбито на пять подпространств: **placex**, **replace**, **small**, **cons**, **ncoal**. Каждому пространству соответствует свой набор правил. Общее количество правил фиксированно, а по подпространствам они развиваются следующим образом: **placex-**, **replace-**, **small-**, **cons-**, **ncoal-**. В нашем случае все пространства поиска являются фиксированными априори. Такой метод использует идею абстрактного поиска. Абстракция подчеркивает важные

особенности задачи, позволяет разбить задачу на более простые задачи и определить последовательность их решения. Такой вид поиска рекомендуется для задач планирования и конструирования.

Однако описанные методы поиска основываются на молчаливой предпосылке, что знания о ПрО и данные о решаемой задаче являются точными и полными, т.е. признаются справедливыми следующие положения:

1) все утверждения, описывающие состояние пространства поиска, являются истинными;

2) применение оператора к некоторому состоянию формирует некоторое новое состояние, описание которого состоит из истинных факторов. Однако при решении любых практических задач и особенно при решении трудноформализуемых задач имеет место обратная ситуация. Эксперту приходится работать в условиях неполноты и неточности знаний (данных), и как правило, в условиях дефицита времени. Когда эксперт решает задачу, он использует методы, отличные от формальных математических рассуждений. В математических рассуждениях каждое заключение должно следовать из предыдущей информации. В противоположность этому, в правдоподобных рассуждениях, основанных на здравом смысле, заключения основываются на частичной информации. В этом случае эксперт делает пробные правдоподобные предположения, которые он не может доказать. Тем самым вопрос об их истинности остается открытым. Все утверждения, полученные на основе этих правдоподобных предположений, также не могут быть доказаны.

Важным аспектом в построении умозаключений является понятие немонотонности. Любая формальная система является монотонной если A, B, C есть некоторые высказывания, такие, что B выводится из A , то B будет выводиться и из $A \wedge C$. Система немонотонна, если B выводится из A , но B не выводится из $A \wedge C$. Немонотонные рассуждения особенно важны при решении задач планирования и конструирования. В этих задачах пространство поиска обычно высоко, и нет возможности предвидеть все последствия сделанного выбора. В такого рода задачах предположения выступают в виде пробных

решений, последствия которых затем анализируются с точки зрения их пригодности (непригодности) .

Таким образом, для того чтобы система могла делать умозаключения основанные на здравом смысле, при работе с неполными (неточными) знаниями и данными, она должна быть способна делать предположения, а при получении новой информации, показывающей ошибочность предположений отказываться от них и от умозаключений, полученных на основе этих предположений. Мнение системы о том, какие факты имеют место, изменяется в ходе рассуждения, т.е. можно говорить о ревизии мнения. Итак, неполнота (неточность) знаний и данных влечет за собой рассмотрение ПрО при различных предположениях, что в свою очередь приводит к представлению системы знаний в виде альтернативных возможных пространств, соответствующих различным мнениям и предположениям.

При формализации знаний о процессе выбора технологической схемы разворота использовался метод поиска в альтернативных пространствах. Он реализован следующим образом. В каждом подпространстве поиска решений возможно выдвижение одновременно несколько предположений.

В пространстве **placex**- три предположения, а именно **tgx, spx, bsx**, в пространстве **replacex**- и **pc**, **vsmall** - **tdy** и **tdп**, в **cons-xzy** и **xzp**, в **pscoal**- **c**, **m₃**, **m₂**, **cb**, **ce**, **m₁**. В верхнем по иерархии пространстве одновременно возможно сделать 144 предположения, соответствующие максимально возможному количеству технологических схем.

В процессе работы модели возможность выбора каждого изначально выдвинутого предположения может: 1) увеличиваться, 2) уменьшаться; 3) исключаться. Увеличение производится посредством оператора " += ". При этом увеличивается **cf** предположение. Уменьшение **cf** и исключение предположения из рассмотрения производится посредством оператора " -= ". Кроме того, новые предположения могут возникать в процессе работы модели, т.е. не обязательно выдвигать сразу все предположения.

При выдвижении предположений моделью используется специальный вид обоснования, называемый немонотонным. Он базируется на следующих предположениях: обоснованием может служить не только мнение, но и отсутствие такого мнения.

Так, например, обоснованием предположения **К** может являться отсутствие обоснования для **к**.

Заметим, что для формализации знаний, участвующих в процессе решения задачи выбора технологической схемы разворота использованы три языка описания предметной области: - фреймы, семантические сети и продукционные правила. Их совместное использование позволило формализовать весь процесс решения отмеченной задачи.

Для выбора решения в пространстве возможных состояний использовались три метода поиска, реализованные в следующей последовательности. Все пространство разбито на иерархию подпространств. В каждом подпространстве поиск производится в альтернативных пространствах правдоподобных предположений. Для целей сокращения пространства поиска применен эвристический метод поиска, учитывающий опыт экспертов.

Поиск решения в пространстве состояний производится от цели (выдвигаемых предположений) к данным. Такой метод называется обратным.

Рассмотрим работу управляющей компоненты, т.е. вопрос о том, как осуществляет работу формальным образом сама ЭС. Необходимость использовать в ЭС нетрадиционные методы управления вызвана в первую очередь трудноформализуемостью решаемых ими задач. Особенности таких задач с точки зрения организации управления приводят к тому, что процесс решения задачи не удастся представить в виде детерминированной последовательности программных модулей. Здесь в некоторый текущий момент к исполнению пригодно несколько модулей, причем не существует надежной информации, позволяющей предпочесть один модуль другому. Задача управляющей компоненты состоит в том, чтобы обеспечить функционирование системы в подобных условиях.

Основное отличие управляющей компоненты ЭС от традиционных механизмов управления состоит в следующем:

- 1) Отдельные модули вызывают не по имени, а по описанию ситуации;
- 2) способ взаимосвязи модулей формируется в процессе решения задачи, так как выбор очередного модуля зависит от текущей ситуации и не может быть сформирован заранее.

Общая схема функционирования управляющей компоненты (интерпретатора) ЭС приведена на рис.3.28. 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). По окончании работы текущего правила интерпретатор проверяет условия окончания задачи, и если они не удовлетворены, то выполняется очередной цикл.

Интерпретатор может быть представлен четверкой

$$I = \{V, S, R, W\} \quad (3.46)$$

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.3.6, а функции интерпретатора, выполняемые на каждом этапе, даны в табл.3.4. Наличие конфликтов - неизбежная плата за автономность правил.

Имеется достаточное многообразие стратегий разрешения конфликтов. Рассмотрим ту, которая принята в рассматриваемой модели. На первом этапе используется стратегия, основанная на метазнаниях. В основе ее лежит принцип, когда первыми активируются те правила, факты левых частей которых были получены ранее. На втором этапе порядок активизации правил зависит от того, в каком порядке они поступили на этапе выборки (табл.3.4).



Рис. 3.6 - Схема функционирования управляющей компоненты ЭС

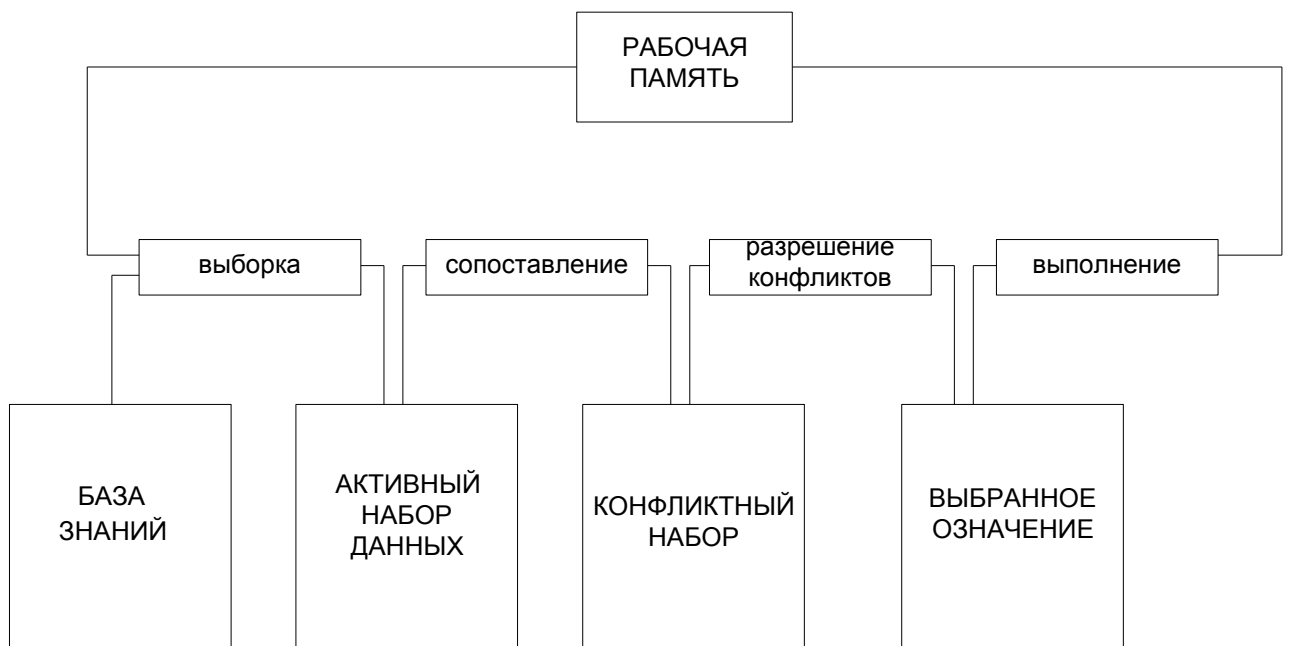


Рис. 3.7 - Цикл работы интерпретатора

Таблица 3.4 - Функции интерпретатора

Этап работы интерпретатора	Выполняемые функции
1.Выборка	Задача этапа состоит в сокращении количества возможных путей поиска решения за счет того, что в каждом цикле работы интерпретатора рассматриваются не все, а только часть данных и правил. Иногда этап выборки делается один раз на несколько следующих друг за друга циклов (рис.3.7). Обычно выделяют: простую выверку и иерархическую
2.Сопоставление	Задача данного этапа состоит в том, чтобы сопоставить выбранное множество активных правил (P_v) выбранному подмножеству элементов БД(F_v) и определить конфликтный набор правил, т.е. определить, какие правила P_v и на каких данных из F_v удовлетворены. Конфликтный набор состоит из множества упорядоченных пар: $\langle \text{правило } p_i \in P_v; \text{ список элементов из } F_v, \text{ удовлетворяющих } p_i \rangle$ Упорядоченные пары называют означиваниями.
3.Разрешение конфликтов	В ходе этапа разрешения конфликтов интерпретатор выбирает одно или несколько означиваний, которые должны быть выполнены в текущем цикле
4.Выполнение	На этом этапе осуществляется исполнение правил, выбранных на этапе разрешения конфликтов. В ходе этапа осуществляется: модификация БД; выполняются операции ввода/вывода; осуществляется проверка условия окончания, т.е. не является ли текущее состояние БД целевым

Формализация неопределенностей в технологических задачах

Рассматриваемая задача относится к числу трудноформализуемых. Для таких задач характерным является то, что решения приходится принимать в условиях неопределенности. Введем некоторые понятия.

Будем называть высказывание неточным, если его истинность (ложность) не может быть установлена с определенностью.

Основополагающим понятием при построении моделей неточного вывода является понятие вероятности. Поэтому все рассматриваемые методы связаны вероятностной концепцией [139].

Модель оперирования с неточными данными и знаниями включает две составляющие: язык представления неточности и механизм вывода, основанный на неточных знаниях.

Обычно в качестве формы представления неточности выбирают скаляр, интервал, распределение, лингвистическое выражение, множество. Механизмы оперирования с неточными высказываниями делятся на два типа.

Рассмотрим механизм принятый в нашем случае, который носит "присоединенный" характер - пересчет мер неточности как бы сопровождает процесс вывода, ведущийся на точных высказываниях.

Для разработки присоединенной модели неточного вывода в системе основанной на правилах необходимо задать функции пересчета, позволяющие вычислять:

а) меру неточности X антецедента правила (его левой части) по мерам неточности X_i составляющих его высказываний:

$$X = f(X_1, \dots, X_n) \quad (3.47)$$

б) меру неточности y консеквента правила (его правой части) по мерам неточности правила (r); и посылки правила (x);

$$Y = h(r, X) \quad (3.48)$$

в) объединенную меру неточности высказывания A по мерам, полученным из правил, консеквентом которых является

$$y^0 = g(y_1, \dots, y_m); \quad (3.49)$$

Для возможности пересчета значений неопределенностей при дедуктивном выводе достаточно функций $f(.)$ и $h(.)$.

Введение меры неточности позволит привнести в процесс вывода нечто принципиально новое - возможность объединения силы нескольких свидетельств, подтверждающих или опровергающих одну и ту же гипотезу. Другими словами, при использовании мер неточности целесообразно выводить одно и тоже утверждение различными путями с последующим объединением значений неточности, что совершенно бессмысленно в традиционной дедуктивной логике. Для объединения свидетельств требуется функция пересчета $g(.)$, занимающая центральное место в пересчете.

Трудность, возникающая при использовании численных методов решения задач в условиях неопределенности состоит в необходимости правильного выбора и назначения начальных значений числовых величин.

Выбранные числовые характеристики должны отражать степень уверенности в тех или иных утверждениях или какую-то систему убеждений.

При этом исходные значения соответствующих коэффициентов должны исходить от экспертов, утверждения которых образуют конкретную БЗ. При назначении этих коэффициентов эксперты обосновывают свои суждения.

В нашем случае для формализации неточностей использовались возможности предоставляемые средой "Интер-эксперт", которая предлагает широкий набор функций для пересчета **cf**.

Рассмотрим те из них, которые были использованы в настоящей работе. В "Интерэк-эсперте" введено понятие нечетной переменной [140,143-149,]. Переменная, которая одновременно может иметь несколько значений, каждое со своим **cf** является нечеткой.

Операторы "+ =" и "- =" используются для добавления и удаления значений нечеткой переменной или же для увеличения и уменьшения значений **cf** нечеткой переменной.

Настройка среды "Интер-эксперт" осуществляется с помощью параметров среды. За **cf** отвечают 4 параметра среды: **e.cfco**, **e.cfjo**, **e.cfva**, **e.unku**. С помощью алгебр **cf**, имеющихся в распоряжении параметров **e.cfco** и **e.cfjo** реализуются все три вида функций: **f**, **g** и **h**. Параметр **e.cfva** двухместный и составляется из алгебр параметров **e.cfco**, **e.cfjo**.

С помощью параметра **e.unku** устанавливается порог неизвестности в принятом интервале. Заметим, что **cf** может принимать значения в интервале [0,100], где 0 - заведомо ложь, 100 - заведомо истина.

С помощью параметра **e.cfjo** можно реализовать пересчет **cf** для следующих выражений: выражения отношения, логические выражения, численные и строчные выражения.

Параметр **e.cfco** реализует пересчет выражений: логических, дополнительного назначения значения нечеткой переменной, исключения значения нечеткой переменной.

Под управлением двухместного параметра **e.cfva** происходит реализация функций **h** и **g**. Причем функция **h** реализуется на основе параметра **e.cfjo**, а функция **g** на основе **e.cfco**.

Пересчет **cf** левой части правила (посылки) производится с помощью **e.cfjo** и с помощью **e.cfco**. Табл.3.5 показывает, в каких случаях под управлением какого параметра производится пересчет **cf**.

В табл.3.5 **A** и **B** - реляционные выражения. **And, or, xor** и **not**- булевы операторы. Поскольку **not** оператор, выполняющий операции только над одним реляционным выражением, то в данном случае никакого пересчета значений **cf** не происходит.

Для пересчета **cf** были приняты следующие алгебры **cf** "Интер-эксперта". Параметр **e.cfjo** реализует функцию

$$x = x_1 \cdot x_2 / 100; \quad (3.50)$$

а параметр **e.cfco** функцию

$$x = (x_1 + x_2 - x_1 \cdot x_2) / 100; \quad (3.51)$$

Согласно параметру **e.cfva** функция **cf** реализуется как

$$y = r \cdot x; \quad (3.52)$$

а функция **g** как

$$y^0 = (y_1 + y_2 - y_1 \cdot y_2) / 100; \quad (3.53)$$

Заметим, что в случае оператора "**-**" пересчет **cf** осуществляется под управлением параметра **e.cfco**, но с использованием инверсии (**1 - cf**).

Коэффициенты адаптивности в разработанной схеме "РАЗВОРОТ" используются для:

- отражения степени уверенности пользователя в исходных данных, вводимых на запрос системы;
- реализации процесса вывода в условиях неопределенности;

– отражения структурной и ситуативной совместимости элементов технологических схем разворота.

Таблица 3.5 – Пересчет выражений, исключения значений нечеткой переменной

	A and B	A or B	A xor B	not A not B
A= true B= true	<i>e.cfjo</i>	<i>e.cfco</i>	<i>e.cfjo</i>	-
A= true B= false или A= false B= true	cf выражение, значения которого false становится общим	cf выражение, значения которого true становится общим	e.cfjo	
A= false B= false	e.cfco	e.cfjo	e.cfjo	

3.4. Программное обеспечение реализация разработанной формальной семиотической модели выбора технологических схем с разворотом механизированных комплексов

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

"Интер-эксперт" имеет два основных раздела - раздел инициализации и база правил. В разделе инициализации производится:

- настройка среды;
- описание переменных и присвоение им начальных значений; описание факторов, влияющих на принятие решения с реализующимися на их множестве качественными закономерностями (дерево контекстов);
- описание правил управляющих поиском в иерархических пространствах (**places, release, small, cons, ncoal-**);
- описание правил, синтезирующих технологические схемы из элементов, выбранных в иерархических пространствах;
- описание процесса формирования файла принятых решений для передачи их на графическую интерпретацию.

В базе правил описываются правила принятия решения.

При установке параметров среды указываются принимаемые алгебры для пересчета **cf** вывод (в нашем случае обратный), максимальное количество значений нечетных переменных (у нас 144), порог неизвестности (у нас 0) и др. В разделе инициализации описываются все переменные четкие и нечеткие, качественные и количественные и указываются их начальные значения.

Дерево контекстов управляет процессом диалога системы с пользователем. В зависимости от текущего состояния базы данных (рабочей памяти) задается пользователю тот или иной вопрос.

В дереве контекстов нами написан механизм передачи **cf** от значения к значению, задаваемых пользователем. Дерево контекстов формировалось на

основе факторов, влияющих на принятие решения и тех отношений, которые существуют между элементами подмножества зависимых факторов.

Правила, управляющие поиском в иерархических пространствах задают последовательность поиска по каждому элементу технологической схемы. На верхнем уровне иерархии находится технологическая схема (фрейм **sheme**). Синтез технологических схем, 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. В зависимости от ситуации системой может задаваться до 60 вопросов за сеанс консультации.

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.

В каждом подпространстве поиск производится в альтернативных пространствах, здесь же производится и генерация технологических схем из выбранных системой элементов.

Данная генерация производится на основе интегрированного пакета продукционных правил (ППП).

ВЫВОДЫ

1. Установлены виды знаний, участвующих в процессе выбора технологической схемы разворота лавы, информационные источники этих знаний. Определена сложность получения знаний относительно источников их накопления и по их видам.

2. Исследованы структуры знаний, участвующих в процессе принятия решения, на основе чего разработаны классификации технологических решений разворота очистного забоя, определена номенклатура факторов, влияющих на принятие решения с набором возможных значений, установлены качественные зависимости существующие между факторами, а также выявлены зависимости, описывающие непосредственно процесс выбора технологической схемы разворота для конкретных условий.

3. Выбраны и обоснованы адекватные методы формализации для каждого вида знаний процесса выбора технологической схемы разворота, разработана формальная модель этого процесса.

4. Принята компьютерная среда для реализации формальной модели, разработана ЭС "РАЗВОРОТ" по выбору технологической схемы разворота для конкретных условий. Проведен цикл исследований ЭС "РАЗВОРОТ" в виде ее тестирования на контрольных задачах с постановкой задач на исследование после каждого цикла тестирования. Такой подход к исследованию и позволил сформулировать вышеперечисленные пункты настоящих выводов.

ГЛАВА 4. ВЕРИФИКАЦИЯ И АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

4.1. Процедура реализации методического обеспечения выбора и обоснования проектных технологических решений ведения очистных работ с разворотом механизированных комплексов

В данной главе отразим те положения, которые являясь обобщением проведенных исследований, делают упор на разработку технологических решений, ориентированных на решение именно организационно-технологических задач подземной разработки пологих угольных месторождений механизированными и автоматизированными комплексами [121].

Для того, чтобы определить применимость результатов исследований для решения конкретной технологической задачи необходимо определить, является ли эта задача трудноформализуемой.

В результате исследования установлено, что процедуры, необходимые для решения технологических задач подразделяются на:

1. Процедура выявления факторов, влияющих на принятие проектного решения;
2. Процедура формирования альтернативных технологических решений;
3. Процедура процесса принятия проектного решения.

Для реализации этих процедур необходимо пользоваться следующими информационными источниками, составляющими информационную основу процесса принятия проектного решения:

1. Нормативные технологические документы;
2. Производственная документация;
3. Научная литература;
4. Патентные источники;
5. Люди-эксперты.

Далее поставленная задача структурируется и классифицируется, затем формализуется и реализовывается в программном виде.

Структуризация технологических решений производится в виде дерева, между элементами уровней которого реализуются отношения "часть- целое" и "являться". Для того, чтобы такое классификационное дерево было наиболее универсальным необходимо собрать как можно большее количество технологических решений, решающих поставленную задачу. Важно чтобы эти решения были презентативными и отличались друг от друга хотя бы одним элементом. Тогда довольно просто будет анализировать собранный набор технологических решений. Элементы, по которым будут различаться разные схемы и будут являться элементами классификационного дерева технологических решений, т.е. они будут связаны с понятием технологическая схема (элемент технологической смены) отношением " часть-целое". Если сравнивать различные технологические схемы, то можно заметить, что многие из них различаются схемой крепления сопряжения лавы с конвейерным штреком. Тогда понятие «схема крепления сопряжения лавы с конвейерным штреком» мы будем считать элементом технологической схемы отработки выемочного участка, а его возможными значениями будут различные схемы крепления. В данном примере можно выделить еще более абстрактное понятие - схема крепления сопряжения лавы с прилегающими выработками. Тогда значениями этого элемента будут варианты - схема крепления сопряжения лавы с конвейерным штреком и схема сопряжения лавы с вентиляционным штреком.

Чем лучше структурировано такое дерево, тем большее количество технологических схем на нем можно построить при минимальной конфигурации самого дерева.

Процедуральной составляющей является процедура, реализующая генерацию технологических схем на декларативной составляющей. При таком способе представления технологических знаний нет необходимости заранее формировать базу данных технологических решений, из которых затем

выбираются наилучшие. В каждый момент времени такая технологическая схема генерируется на дереве технологических решений.

Факторами, влияющими на принятие решения служат факторы, отраженные в условиях и области применения рассматриваемых, в том или ином документе технологических решений, а также причины, обуславливающие появление того или иного технологического решения. Однако, как показали проведенные в рамках настоящей работы исследования, этих факторов для выбора в конкретной ситуации технологического решения недостаточно. Они отражают наиболее благоприятные условия применения некоторых типизированных технологических решений. Но, в производственной деятельности каждого предприятия важную роль на выбор технологического решения оказывают конкретные горно-технологические условия (а не типизированные), сложившаяся экономическая и производственная ситуация на момент принятия решения, а также наличие оборудования, реализующего ту или иную технологию работы. По этой причине технологические решения, содержащиеся в имеющихся нормативных технологических документах не находят широкого применения. Например, наиболее подходящая для данных горно-геологических условий технологическая схема не может быть применена на шахте в силу отсутствия необходимого оборудования. Или же имеется необходимое оборудование, но предприятие находится в таком экономическом положении, которое не позволяет провести необходимый объем подготовительных работ, связанных с этой схемой и поэтому приходится применять технологическое решение, обеспечивающее в сложившейся ситуации выход из экономического затруднения.

В связи с этим при принятии проектного решения необходимо учитывать, достаточно большое количество факторов, обеспечивающих принятие наиболее рационального технологического решения в сложившейся ситуации. Весь необходимый объем факторов, влияющих на принятие решения можно получить анализируя производственную документацию, обосновывающую

необходимость применения каких-то технологических решений и из опроса экспертов.

По мере выявления факторов, влияющих на принятие решения необходимо определять шкалу значений каждого фактора. Эта шкала может быть как количественной, так и качественной. Кроме того, в процессе разработки системы шкала может меняться. Как показали исследования, большинство факторов имеют качественные шкалы.

Установление отношений, реализующихся на множестве факторов является очень важным моментом. Это позволит сократить пространство поиска решения и упростить процесс выявления противоречий в базе правил.

Знание о процессе принятия решения в нормативных технологических документах и научной литературе выражаются обычно следующим образом. Определяется область применения некоторой типизированной схемы. Тогда человеку остается сравнить конкретные условия с областью применения схем и выбрать наиболее подходящую. Но как уже выше упоминалось, в реальных условиях человеку приходится оценивать гораздо большее количество факторов и тогда принимать решение. При этом он оценивает степень влияния каждого фактора и принимает то решение, которое удовлетворяет целой группе критериев.

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 [150]: 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 перегружателя; 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 можно отнести: экономическая ситуация на предприятии; возможность снижения или повышения добычи в определенные промежутки времени и др.

Необходимо отметить, что такое множество перечисленных факторов необходимо для стимуляции работы эксперта по назначению оценок. Очевидно, что в процессе назначения оценок эксперт многие из перечисленных факторов отвергнет как несущественные. В то же время эксперт обязательно добавит новые факторы, которые он учитывает при принятии конкретного технологического решения. Для этих целей в конце таблицы необходимо оставить достаточное количество места. Кроме того, эксперта наверняка не будут устраивать некоторые из предложенных шкал значений факторов. Эти замечания он должен отражать в колонке "Примечание". В этой же колонке он обосновывает свои оценки.

Таблица 4.1 - Пример 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 4.2 - Пример 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	-

Из табл.4.1 можно заметить, что эксперт выставляет свои оценки из промежутка $[-100; 100]$, где 100 - означает возможность применения рассматриваемого вида технологии без ограничений, -100 - означает полную невозможность применения этой технологии, 0 - означает, что данный фактор (или его значение) не влияет на рассматриваемую технологию. Значения из промежутка $[0, 100]$ показывают желательность применения технологии, а из промежутка $[-100;0]$ - нежелательность применения технологии.

Далее устанавливаются зависимости между факторами, влияющими на принятие решения и элементами технологических решений. Для этой цели строится таблица подобная табл.4.2. В качестве процедуральных можно принять факторы, описанные выше. Как и в предыдущем случае многие из них будут исключены, некоторые добавлены. У некоторых факторов будет изменена шкала значений. Оценки назначаются из интервала, описанного выше. Однако в данном случае будет оцениваться влияние значений факторов на выбор элементов технологических схем.

В данной методике необходимо отразить и такой важный момент. Эксперт при выставлении оценок, показывающих влияние фактора на применимость схемы или на выбор элементов технологических решений должен учитывать следующее - оценка должна выставляться с учетом силы влияния фактора на принятие решения. Например, на выбор порядка отработки ярусов обводненность оказывает более сильное влияние чем, скажем, гипсометрия пласта. Соответственно этому влиянию должны назначаться оценки.

В заключении определяется структурная совместимость элементов технологических схем. Для этих целей составляется таблица. 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, а 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.

Согласно проведенным исследованиям на подмножестве зависимых факторов, влияющих на принятие решения реализуются как строгие, так и не строгие каузальные зависимости. Зависимости подобного вида эффективно формализуются в моделях семантической сетевой структуры. Например отношение, реализующееся между факторами мощность пласта и механизированная крепь на самом деле существует между отдельными значениями мощности и группой крепей, которые могут работать на пластах этой мощности. Также и отношение нисходящего порядка отработки реализуется между критичными показателями обводненности и порядком отработки ярусов, т.е. значение обводненности превышает некий предел, то нисходящий порядок отработки ярусов применять не рекомендуется. В противном случае можно

применять любой порядок обработки. Выявление таких отношений и их последующая формализация является важным моментом реализации алгоритма. Дело в том, что при работе такие системы позволяют:

1. Отслеживать противоречивые ответы пользователя. Например, если пользователь ввел значение мощности пласта равное 1,1 м., и указал комплекс для его обработки УКП, который на таких мощностях не работает, то система сможет заметить это противоречие и сообщить его пользователю. Или, например, пользователь ввел глубину разработки 60 м (при этом он мог просто ошибочно ввести вместо 600 м - 60 м) и указал, что существует опасность внезапных выбросов, то система засомневается в этом ответе и предложит пользователю свои сомнения. В этом случае, кроме того система проверит газовая ли шахта или запросит этот показатель у пользователя. Это нужно для того что системе посредством определенного отношения известно, что опасность по внезапным выбросам может существовать только лишь на газовых шахтах.

2. Сокращать пространство поиска решения.

Если, например, кровля неустойчивая и имеется аппарат для химзакрепления пород, породы кровли обводненные и вещество закрепитель не работает в обводненных условиях, то система поймет, что при выборе решения обращать внимание на технологические решения, предусматривающие химическое закрепление пород кровли, не следует, т.к. это не даст эффекта. Таким образом пространство поиска решения будет значительно сокращено.

3. Упростить проверку БЗ (базы правил) на непротиворечивость. Из настоящей работы видно, что процесс формализации знаний в семантических сетях производится достаточно просто. Каждому значению шкалы каждого фактора ставится в соответствие уникальный идентификатор (*ai*).

Строится таблица попарных отношений между значениями факторов. Указывается строгость этого отношения. Графическая интерпретация таких попарных отношений даст семантическую сеть, где факторы и отношения между значениями их шкал будут обозначены уникальными идентификаторами, присвоенными им. Заметим, что идентификатор может быть строкой символов.

Тогда возможно такому понятию как "угол падения пласта" поставить в соответствие идентификатор "угол падения пласта". В настоящей работе были даны буквенно-цифровые идентификаторы из соображений уменьшения технической работы по вводу программы в ЭВМ.

Проведенные исследования [151] показали, что менее формализованными знаниями являются знания о процессе принятия технологических решений. Эти знания выполняют функции распознавания ситуации, которая была задана пользователем совместно с системой на семантической сети факторов и выбор для сложившейся ситуации наилучшего по мнению системы (а значит и эксперта) решения. Решение такой проблемы традиционным способом, как было уже сказано, невозможно, т.к. например, в нашем случае с учетом всех отношений на семантической сети факторов возможно построение более $6 \cdot 10^{26}$ возможных ситуаций. И этим ситуациям необходимо поставить 144 технологических решения. Далее, если удастся синтезировать, проанализировать и ранжировать все эти ситуации и поставить каждой группе ситуаций свое технологическое решение, то процесс идентификации конкретной ситуации потребует невероятно большого объема времени. Для этих целей применяются эвристические экспертные знания. Формализация этих знаний производится следующим образом. В левую часть правила записывается значение (значения) фактора (факторов), а в правую часть - вид технологии или значения элементов технологических решений со своими *cf*. В роли *cf* здесь выступают экспертные оценки. Если экспертом оценка была выставлена со знаком " - " значит *cf* записывается под знаком " - =", а если без знака, то *cf* записывается под знаком " + = ". Желательно для одного значения фактора записывать несколько правил, которые бы размещались своей правой частью, т.е. разнести оценки для значений элементов по разным правилам с тем, чтобы затем эти правила можно было бы сгруппировать для организации поиска в иерархических пространствах. Набор всех записанных правил и будет представлять собою БЗ системы, моделирующую процесс принятия технологического решения человеком - экспертом.

Реализация модели предполагает переводение ее в термины языка программирования или выбранной среды программирования.

Обобщая результаты проведенного исследования сформулируем требования к программным средам, которым эти среды должны удовлетворять, делая быстрым и эффективным процессы программирования разработанной модели.

1. Среда должна поддерживать следующие модели представления знаний: продукционные, фреймовые и на семантических сетях.

2. Среда должна поддерживать коэффициенты адаптивности и алгебры их пересчета, а именно: расчет *cf* левой части правила по *cf* его составляющих; расчет *cf* правой части правила по *cf* -его левой части и самого правила; расчет объединенного *cf* правых частей, которые одинаковы во всех правилах *cf*, которых объединяются.

3. Среда должна поддерживать иерархические продукционные системы, что позволит организовать поиск в иерархических пространствах. Другими словами, должна обеспечиваться вложенность консультаций с отдельными наборами правил, когда из более верхнего по иерархии правила инициализируется поиск в более нижнем наборе правил, а результаты поиска передаются обратно в верхний набор.

4. Желательно чтобы поддерживались не только *cf*, но и нечеткие переменные, позволяющие проще организовать БЗ. Нечеткие переменные – переменные, могущие иметь сразу несколько значений, каждое со своим *cf*.

5. Среда должна обеспечивать удобные средства для программирования семантических и фреймовых сетей.

6. Среда должна поддерживать компьютерную графику. Кроме того, чтобы диалог с пользователем был наиболее удобным желательно задавать графическое меню.

7. Среда должна поддерживать развитые средства компоненты объяснения логических выводов. Как минимум объяснительные способности системы должны ограничиваться ответами на вопросы: "Как?" и "Почему?".

Объяснительная компонента упрощает тестирование и отладку системы, и что очень важно, пользователь начинает больше доверять решениям системы. Ответ на вопрос "Как?" обычно заключается в выводе на экран на естественном языке согласно каким логическим рассуждениям система пришла к некоторому выводу. А ответ на вопрос "Почему?" содержит обычно информацию о том, почему система (для каких целей) задает некоторый вопрос. Причем эти объяснения имеют вложенную структуру, поэтому можно проследить весь логический путь последовательности задаваемых вопросов.

8. Желательно, чтобы среда обладала возможностью создавать загрузочные модули, тогда отпадет необходимость перепрограммирования.

Учитывая данные ограничения реализации программного обеспечения в работе формальным образом был описан процесс принятия решения с последующим программированием разработанной формальной модели в принятой компьютерной среде "Интер - эксперт". Проведен большой объем работы по тестированию ЭС "РАЗВОРОТ", в результате чего компетентность принимаемых решений и эффективность работы системы постоянно улучшались.

**4.2. Текст исходного файла демонстрационного прототипа ЭС «РАЗВОРОТ
ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА» в среде
интегрированного ППП ИНТЕРЭКСПЕРТ (GURU).....
Текст исходного кода демонстрационного прототипа ЭС «РАЗВОРОТ
ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА» в среде
интегрированного ППП Интерэксперт (GURU) (фрагмент с набором
правил)**

Процедура запуска экспертной системы prob.ipf

Установка параметров среды

INITIAL: load fullform e.cfco="p" e.cfjo="a" e.best=144 e.auto=true
e.lstr=75 e.rigr="a" e.icf=true e.unkn=0

Фрагмент описания переменных

VAR: ans111	VAR: ans112	VAR: ans113	VAR: ans121
VAR: ans122	VAR: ans123	VAR: ans131	VAR: ans132
VAR: ans141	VAR: ans142	VAR: ans151	VAR: ans152
VAR: ans153	VAR: ans161	VAR: ans162	VAR: ans163
VAR: ans171	VAR: ans181	VAR: ans182	VAR: ans191
VAR: ans1101	VAR: ans1111	VAR: ans1112	VAR: ans1113
VAR: ans211	VAR: ans212	VAR: ans213	VAR: ans2121
VAR: ans2122	VAR: ans231	VAR: ans232	VAR: ans241
VAR: ans242	VAR: ans311	VAR: ans312	VAR: ans313

Фрагмент установки начальных значений переменных

scheme=unknown	s4=unknown	s3=unknown	s2=unknown
sl=unknown	s11=unknown	s22=unknown	s33=unknown
s44=unknown	placex=unknown	small=unknown	ncoal=unknown
cons=unknown	replace=unknown		
ans111=0	ans112=0	ans113=0	ans121=0
ans122=0	ans123=0	ans131=0	ans132=0
ans141=0	ans142=0	ans151=0	ans163=0
ans171=0	ans181=0	ans182=0	ans191=0
ans1101=0	ans1111=0	ans1112=0	ans1113=0
ans211=0	ans212=0	ans213=0	ans2121=0

ans2122=0 ans232=0 ans241=0 ans242=0
ans311=0 ans312=0

Фрагмент дерева контекстов

```
y=0 while y=0 do putform f17 getform f17 clear f17 perform "contra.ipf"
using "ans411", "ans412", "0", "0" endwhile release f17 if ans411=1 then
```

```
y=0 while y=0 do putform f18 getform f18 clear f18 perform "contra.ipf"
using "ans421", "ans422", "0", "0." Endwhile release
f18ans421=ans421*ans41i ans422=ans422*ans411 endif if ans421=1 then"
```

```
y=0 while y=0 do. putform f4 getform f4 clear f4 perform "contra.ipf"
using "ansl41", "ansl42", "ansl43", "0" endwhile release f4
ansl41=ansl41*ans421
```

```
ansl42=ansl42*ans421 ansl43=ansl43*ans421 endif if ansl41 = 1 or ansl42 =
2 then
```

```
y=0 while y=0 do putform f181 getform f181 clear f181 perform
"contra.ipf" using "ans461", "ans462", "0", "0" endwhile release f181
x=max(cfn(ansl41,1), cfn(ansl42,,1)) x=1 cf x ans641=ans461*x
ans642=ans462*x endif if ans462=2 then
```

```
y=0 while y=0 do putform f46 getform f46 clear f46 perform "contra.ipf"
using "anslll1" . "ans1112" , "anslll3"..
```

Правила управления поиском в иерархических пространствах

```
RULE: AIM1 IF: n1=1 THEN: consult placex n2=2
RULE: A1M2 IF: n2=2 THEN: consult replace n3=3
RULE: AIM3 IF: n3=3 THEN: consult small n4=4
RULE: AIM4 IF: n4=4 THEN: consult cons n5=5
RULE: AIM5 IF: n5=5 THEN: consult ncoal n6=6
```

Фрагмент примера из базы знаний

GOAL:placex

```
/*НАЧАЛО НАБОРА ПРАВИЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА*/
```

```
/*НАЧАЛО НАБОРА ПРАВИЛ УЧИТЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ*
```

Rule: Roofx1 IF: ans111=1 THEN: placex+={"tgx" cf 70,"spx" cf 70,"bsx" cf 40} NEEDS :ans111
CHANGES:placex

REASON: КРОВЛЯ УСТОЙЧИВАЯ. ЭТОТ ФАКТ ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ВЛИЯЕТ НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА, ПОЭТОМУ ВСЕМ АЛЬТЕРНАТИВАМ -ПРИСВОЕНЫ ЗНАЧЕНИЯ cf 70,70.40.

RULE: ROOFX2 IF: ans112=2 THEN: placex+={"tgx" cf 40,"spx" cf 60,"bsx" cf 35} NEEDS: ans212

CHANGES: placex

REASON: КРОВЛЯ СРЕДНЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА - НА СРЕДНЕЙ ВЫРАБОТКЕ(cf 40), НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКЕ, (cf 60), В РАЙОНЕ -"БОЛЬШОГО СМЕЩЕНИЯ", (с:

RULE: ROOFX3 IF: ans113=3 THEN: placex+={"tgx" cf 20,"spx" cf 20,"bsx" cf 40} NEEDS: ans113

CHANGES: placex

REASON: КРОВЛЯ НЕУСТОЙЧИВАЯ. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА - НА СРЕДНЕЙ ВЫРАБОТКЕ (cf 20), НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКЕ (cf 20), В РАЙОНЕ "БОЛЬШОГО СМЕЩЕНИЯ" (с:

RULE: FOOTX1 IF:ans121=1 THEN: placex+={"tgx" cf 60,"spx" cf 60,"bsx" cf 40}

REASON: ПОЧВА ПРОЧНАЯ. ЭТОТ ФАКТ ВЛИЯЕТ НА АЛЬТЕРНАТИВЫ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА, УСИЛИВАЯ cf АЛЬТЕРНАТИВ НА 60,60,40.

RULE: FOOTX2 IF:ans122=2

THEN: placex+={"tgx" cf 30,"spx" cf 50,"bsx" cf 30}

REASON: ПОЧВА СРЕДНЕЙ КРЕПОСТИ. ЭТОТ ФАКТ ВЛИЯЕТ НА АЛЬТЕРНАТИВЫ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА, УСИЛИВАЯ cf АЛЬТЕРНАТИВ НА 30,50,30.

RULE: FOOTX3 IF: ans123=3 THEN: placex+={"tgx" cf 15,"spx" cf 15,"bsx" cf 30}

REASON: ПОЧВА СЛАБАЯ (НЕПРОЧНАЯ). ЭТОТ ФАКТ ВЛИЯЕТ НА АЛЬТЕРНАТИВЫ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА

ПРАКТИЧЕСКИ РАВНОЗНАЧНО. УСИЛИВАЯ cf АЛЬТЕРНАТИВ НА 15,15,30.

RULE: UPFOOTX1 . IF:..ansl31 = 1 THEN: placex+="{ "tgx" cf 20,"spx" cf 25,"bsx" cf 20 }

REASON: ПОЧВА НЕ ПУЧАЩАЯ. ЭТОТ ФАКТ ВЛИЯЕТ НА АЛЬТЕРНАТИВЫ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА ПРАКТИЧЕСКИ РАВНОЗНАЧНО, УСИЛИВАЯ cf АЛЬТЕРНАТИВ НА 20,25,30.

RULE: UPFOOTX2 IF:ansl32=2 THEN: placex+="{ "tgx" cf 5,"spx" cf ,10, "bsx" cf 15 }

REASON: ПОЧВА ПУЧАЩАЯ. ЭТОТ ФАКТ ВЛИЯЕТ НА АЛЬТЕРНАТИВЫ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗОНЫ ЦЕНТРА РАЗВОРОТА ПРАКТИЧЕСКИ РАВНОЗНАЧНО, УСИЛИВАЯ cf АЛЬТЕРНАТИВ НА 5,10,15. '

/*КОНЕЦ НАБОРА ПРАВИЛ УЧИТЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ*/

Фрагмент правил, управляющих синтезом технологических схем разворота

```
RULE: aimll IF: n3=3 THEN: i=1 while cfn(placex,i)>0 do
s11=valn(placex,i) cf cfn(placex,i) sl+=s11+replace i = i + 1
endwhile i = 1 while cfn(s1,i)>0 do ncf=numval(s1)
if valn(sl,i) in ["tgxpc"] then sl-=valn(sl,i) cf 20 if numval(s1)<ncf then
i=i-1 endif endif i = i + 1 endwhile i=1 while cfn(sl,i)>0 do
ncf=numval(s1) if valn(sl,i) in ["spxnc"] then sl-=valn(sl,i) cf 15
if numval (si) <ncf then i = i-1 endif endif i = i + i endwhile
i = 1' while cfn(sl,i)>0 do ncf=numval(s1) if valn(sl,i) in ["bsxpc"] then
si-=valn(s1,i) cf 50 if numval (s1)<ncf then i = i-1 endif endif
i = i + 1 endwhile
```

Данный демонстрационный прототип был апробирован в условиях отработки запасов шахты «Галдинская-Западная 1». Для этой шахты были синтезированы одна основная и четыре технологические схемы, повышающие полноту извлечения запасов, которые представлены на рис. 4.1 и 5.10.

По схеме (рис. 4.1) общее выемочное поле делится по падению на три выемочных столба 5,6,7, подготовленных конвейерными и вентиляционными

штреками 1,2,3,4. Процесс подготовки и отработки запасов предусматривает проведение обводной выработки 8 по дуге с радиусом, равным ширине столба. Отработка запасов выемочного столба начинается от монтажной камеры 9. Дойдя до линии АБ комплекс начинают разворачивать, причем один фланг лавы движется вдоль дугообразной выработки 8, а второй фланг (плавающий центр) разворачивается вокруг точки А.

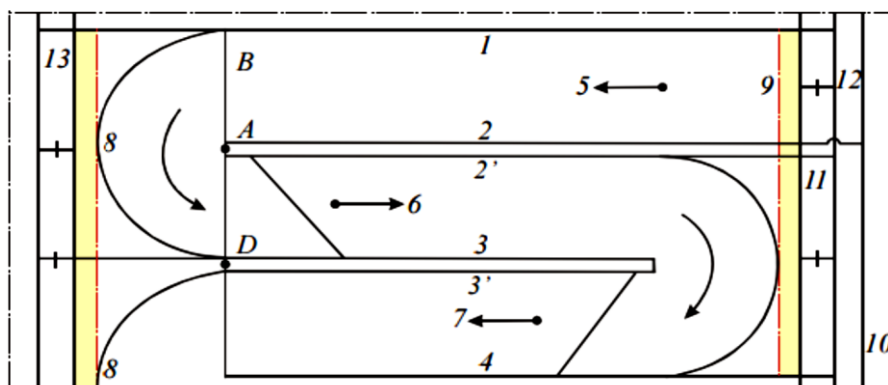


Рис.4.1 – Синтезированная технологическая схема разворота механизированного комплекса для условий шахты «Талдинская-Западная 1» с использованием демонстрационного прототипа ЭС «РАЗВОРОТ ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА» в среде интегрированного ППП ИНТЕРЭКСПЕРТ (GURU)

Разворот заканчивается в положении АД и отработка запасов следующего выемочного столба производится во встречном направлении и цикл разворота продолжается. Транспортирование угля производится по конвейерному штреку до конвейерного бремсберга 11 и далее по транспортной цепочке на поверхность.

Проветривание осуществляется по вентиляционному стволу, по вентиляционному штреку 2' в лаву, из которой отработанная вентиляционная струя через штрек 1 поступает на фланговый вентиляционный ствол и выдается на поверхность. После процедуры перевода механизированного комплекса в смежный столб 6 транспортирование горной массы осуществляется по предыдущей схеме, а схема проветривания претерпевает следующие изменения. Вентиляционная струя со штрека 4 попадает в разрезную печь, далее по штреку 3 в лаву и по штреку 2' на конвейерный бремсберг 11. По конвейерной линии штрека 2' горная масса транспортируется из двух столбов 5 и 6. Следует

отметить, что синтезированный вариант полностью совпал с реализованной схемой разворота, что доказывает высокую надежность и эффективную работоспособность ЭС «РАЗВОРОТ МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА».

4.3. Тестирование программных версий системы «РАЗВОРОТ»

В методике выполнения работы отмечалась важность этого этапа. После того как запрограммирована следующая версия системы, она тестируется и на этом этапе ставятся задачи для дальнейшего исследования. В таком цикле, когда система сама себя позволяет развивать, производилось постепенное исследование ПрО, выявлялась ее структура, формализовались структурированные значения и снова производилось тестирование уже следующей версии системы.

Можно выделить три основных версии системы, которые существовали в ходе ее разработки. Первая работала на четкой логике (без cf) и имела БЗ в несколько десятков правил. Вторая версия уже работала на нечеткой логике (с применением cf) и имела порядка сотни правил. Третья версия, окончательная, содержит около 250 правил, имеет структурированную БЗ, в которой все правила разбиты на группы, разбитые в свою очередь на подгруппы. В табл.4.3 приводятся в обобщенном виде те действия, которые производились с системой после тестирования очередной версии прототипа.

Интересно отметить следующий факт.

На этапе реализации алгоритма синтеза технологических схем из элементов с графической интерпретацией была получена новая технологическая схема разворота лавы.

Любая технологическая схема требует параметризации, расчета плановых подвигов забоя и технико-экономических показателей. В связи с этим была разработана схема, обеспечивающая взаимодействие таких подсистем с системой принятия решения. Основным связующим звеном при этом являются знания о технологических решениях.

Таблица 4.3 - Пути и способы совершенствования системы "РАЗВОРОТ", определенные на этапах тестирования прототипов

Совершенствование системы		Обеспечиваемые преимущества
Путь	Способы	
1. Реорганизация знаний	<p>1.1. Изменение количества факторов, влияющих на принятие решения и их шкал. Чаще появлялась необходимость увеличения их количества. Однако были случаи и исключения отдельных факторов. Часто приходилось вводить новые и заменять имеющиеся отношения реализующиеся на множестве факторов</p> <p>1.2. Изменения в организации знаний о технологических решениях, в частности, в организационной структуре схем уменьшения потерь угля и подвижности центра разворота. Кроме того, была выявлена необходимость введения понятий структурной и ситуативной совместимых элементов технологических схем</p> <p>1.3. Наибольшее количество производилось со знаниями о процессе принятия решения, формализуемых в правилах дописывались новые правила, исключались и модифицировались старые. Кроме того правила группировались определенным образом и производилась их перегруппировка.</p>	<p>В результате диалог системы с пользователем становится конически правильным и исключается необходимость задавать пользователю лишние вопрос</p> <p>Упростился алгоритм генерации технологических схем</p> <p>Компетентность системы постоянно увеличивалась. Становилось проще отлаживать систему, повышалась эффективность ее работы</p>
2. Реорганизация программных реализаций модулей системы	2.1. БЗ системы постоянно реорганизовывалась. В результате все правила были разбиты на пять групп по составляющим элементам технологических схем, которые в свою очередь разбиты на группы по влияющим факторам	Упрощался процесс отлаживания системы
3. Увеличение компетентности системы	<p>3.1. Изменение состава правил и факторов, влияющих на принятие решения</p> <p>3.2. Постоянное изменение коэффициентов уверенности, отражающих экспертные оценки</p>	Упрощался процесс отлаживания системы
4. Улучшение пользовательского интерфейса	<p>4.1. Переформулирование вопросов, задаваемых пользователю, введение необходимых для пользователя сообщений</p> <p>4.2. Переформулирование части правил</p>	Диалог с точки зрения пользователя становится логически правильным

	4.3. Изменение количества и последовательности задания вопросов пользователю	
5. Увеличение функциональных возможностей системы	<p>5.1. Запоминание исходных данных, вводимых пользователем при диалоге с системой</p> <p>5.2. Если опрашивались несколько экспертов, то сделать так, чтобы можно было проконсультироваться по одной и той же ситуации, как со знаниями каждого из экспертов, так и с обобщенными знаниями экспертов</p> <p>5.3. Система должна выдавать пользователю не только рекомендуемую ею технологическую схему, но и наиболее подходящие в данных условиях элементы технологических решений</p>	<p>Впоследствии можно провести анализ решенных системой задач</p> <p>Если эксперты работали в разных условиях, то каждый из них более компетентен в одних ситуациях и менее в других. Тогда зная условия, в которых работал каждый из экспертов можно выбрать более подходящего</p> <p>Поэлементно удобнее отлаживать БД</p> <p>Улучшаются объяснительные способности системы</p>
6. Определение к инструментальном у средству	В ходе разработки системы определялась необходимая определенная и достаточная конфигурация инструментария для решения технологических задач	Это исключит трудности, связанные с инструментальным средством
7. Разработка методики экспертного опроса		Обеспечит быструю и эффективную разработку системы

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика исследований, предусматривающая поэтапное выполнение работ. Исследование представляет итерационный процесс, при котором дальнейшие задачи для исследования ставятся после проведения очередного эксперимента.

2. Выбраны методы исследования: статистические, анализ и обобщение, инженерные, семиотическое моделирование, машинные. Для семиотического моделирования приняты языки инженерии знаний: семантические сети, фреймы, продукционные правила.

3. На первом этапе исследуется применимость методов инженерии знаний для задач автоматизации процесса проектирования технологических схем очистной выемки угля. Для решения этого вопроса решаются задачи возможности, оправданности и уместности применения методов инженерии знаний для выбранной ПрО.

4. На втором этапе исследования знания о ПрО систематизируются, классифицируются, выделяются понятия, используемые в ПрО, исследуются качественные закономерности, реализуемые между этими понятиями. Следующим шагом исследования являются определение адекватности и формализация знаний в выбранном языке инженерии знаний. Разработанная модель ПрО реализуется в программном варианте для компьютера и исследуется на ЭВМ. Ставятся новые задачи исследования.

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С РАЗВОРОТОМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ОБОСНОВАНИЯ ИХ ПАРАМЕТРОВ

5.1. Исследование факторов, влияющих на время непрерывного использования механизированных комплексов

В связи с ростом числа применяемых на угольных шахтах механизированных комплексов, возрастающими темпами отработки выемочных столбов, длина которых постоянно уменьшается, задача увеличения времени эффективного использования очистного оборудования приобретает особую актуальность [6].

Рассматривая структуру затрат времени в добычные смены в комплексно-механизированных лавах, можно отметить, что на производительную работу комплексов, включая выемку угля и зачистку забоя, передвижку крепи и конвейера, подготовительно-заключительные операции, приходится 61,1% времени от продолжительности добычной смены [112, 117]. Удельный вес производительной работы комплексов в течение суток заметно снижается из-за наличия ремонтных смен.

Анализируя время использования механизированных комплексов за весь период отработки всего выемочного столба, можно отметить, оно будет ещё меньше.

Это объясняется тем, что в этот период комплекс будет находиться в так называемых "состояниях", продолжительность которых различна. Можно выделить следующие, основные состояния (рис. 5.1): доставка комплекса к месту монтажа, монтаж, ожидание окончания других работ на участке, развитие добычи в выемочном столбе, относительно стабильная работа комплекса (t_{4-5}), затухание добычи при доработке выемочного столба (t_{5-6}), ожидание монтажа (t_{6-7}), демонтаж (t_{7-8}). Выдача комплекса совмещается с работами по демонтажу. Отдельные из перечисленных "состояний" могут отсутствовать.

Есть "состояния", которые являются неизбежными при любых обстоятельствах, например, монтаж и демонтаж комплекса, периоды работы развития, относительно стабильной работы и свертывания добычи. Продолжительность этих "состояний" при прочих равных условиях зависит от типа комплекса, длины лавы и выемочного столба и колеблется для различных бассейнов, шахт и отдельных пластов в довольно широких пределах.

Так, как уже отмечалось выше, средние сроки монтажа и демонтажа механизированных комплексов превышают нормативы, что в целом по отрасли равносильно бездействию в течение года около 100 комплексов при потерях добычи в 2 млн.т угля.

Смонтированные комплексы дополнительно простаивают, ожидая окончания работ по монтажу транспортного и другого оборудования участка. Вследствие этого на шахтах Кузбасса забои комплексно-механизированных лав в среднем простаивают до 10 суток.

После отработки выемочного столба комплексы в ряде случаев простаивают, ожидая демонтажа, что также снижает коэффициент их использования. Кроме того, длительное ожидание начала демонтажа оборудования приводит к резкому увеличению трудоемкости этих работ, а иногда и к невозможности извлечения отдельных секций крепи. В результате средние затраты времени по отрасли на монтаж оборудования комплексно-механизированного участка превышают нормативные в 1,0 раза, а на демонтаж - в 2-4 раза.

Факт наличия периодов развития и свертывания добычи при отработке выемочного столба установлен многими исследователями. Продолжительность периода развития составляет от 15 до 30 дней, при этом добыча составляет 75-80% от нагрузки в стабильный период. Затухание добычи происходит в течение 5-8 дней с тем же, примерно, уровнем ее снижения, что и при развитии.

Проведенные на шахтах статистические исследования также свидетельствуют о значительных затратах времени перечисленных выше "состояний":

$t_{0-1}, t_{1-2}, \dots, t_{7-8}$.

В результате обработки статистических данных установлено, что фактический коэффициент использования комплексов составляет 0,6-07, причем продолжительность периода относительно стабильной работы при прочих равных условиях напрямую зависит от длины столба.

С учетом вышеизложенного производительная работа комплекса будет снижаться, что можно подтвердить следующими расчетами.

Они произведены применительно к следующим исходным данным: мощность пласта $m = 2,5$ м, плотность угля $\gamma = 1,35$ т/м³, длина лавы $l = 150$ м, длина выемочного столба $Z = 400 - 1400$ м, коэффициент извлечения угля в лаве $C = 0,98$; нагрузка на лаву (добыча) $A = 1500$ т/сут., подвигание очистного забоя $V_{0,3} = 3$ м/сут. (при ширине захвата выемочного органа $r = 0,6$ м). Промышленные запасы в пределах выемочного столба изменяются от 200 до 700 тыс.т.

Принимаем следующие продолжительности отдельных «состояний» комплекса: доставка комплекса к месту монтажа (с учетом совмещения с монтажными работами) $t_{0-1} - 3$ сут. (рис. 5.1); монтаж комплекса $t_{1-2} - 26$ сут., ожидание окончания других работ на участке $t_{2-3} - 10$ сут., освоение комплекса и развитие добычи $t_{3-4} - 20$ сут., затухание добычи (завершение отработки выемочного столба) $t_{5-6} - 6$ сут., ожидание демонтажа комплекса $t_{6-7} - 6$ сут., демонтаж комплекса $t_{7-8} - 25$ сут. Продолжительность относительно стабильного периода отработки выемочного столба, в зависимости от его длины, изменяется от 112 до 446 суток. При увеличении длины выемочного столба растет коэффициент непрерывного использования забойного оборудования с 0,66 при длине 400 м до 0,87 - при 1400 м, асимптотически приближаясь к величине 0,9, которая является предельной, поскольку будет происходить физический износ комплекса и существенно снижаться его производительность.

Поэтому, наряду с совершенствованием техники и технологии работ по ремонту комплексов, актуальным является решение вопроса разработки и внедрения в производство технологических схем, предусматривающих разворот

комплексов на 180° , с целью их перевода в смежный выемочный столб и уменьшения объема монтажно-демонтажных работ, увеличения коэффициента непрерывного использования забойного и транспортного оборудования.

Накопленный опыт по развороту механизированных комплексов на шахтах РФ и за рубежом позволяет сделать некоторые обобщения. Так, выемочное поле условно можно рассматривать как один выемочный столб, но с длиной, уменьшенной на суммарную длину двух лав. "Состояния" комплекса на участке после позиции 5 (рис. 5.1) в конце отработки первого столба и до позиции 3 в начале отработки второго столба исключаются, но вместо них появляется новое «состояние» - разворот механизированного комплекса. Нагрузка на комплекс в период разворота примерно на 13-15% ниже, чем на прямолинейном участке при его работе в относительно стабильный период.

Из сопоставления данных видно, что при отработке коротких столбов (400-500 м) с разворотом механизированного комплекса коэффициент непрерывного использования забойного оборудования увеличивается по сравнению с отработкой тех столбов без разворота до 0,79 против 0,86, т.е. на 20%. Время отработки запасов при этом уменьшается с 414 до 336 суток, сокращается на 78 суток, то есть на 23%, что обусловлено сокращением в два раза числа перемонтажей, периодов развития и затухания добычи и другими причинами при развороте комплекса. При увеличении длины выемочного поля коэффициент непрерывности использования комплекса растет, стабилизируясь при длине в 1000 и более м на уровне 0,9-0,93. Однако разница в их величинах (по сравнению с отработкой столбов без разворота) сокращается до 0,08, то есть только на 9,7% (вместо 20%), а время отработки запасов сокращается на 76 сут. или на 10,3%.

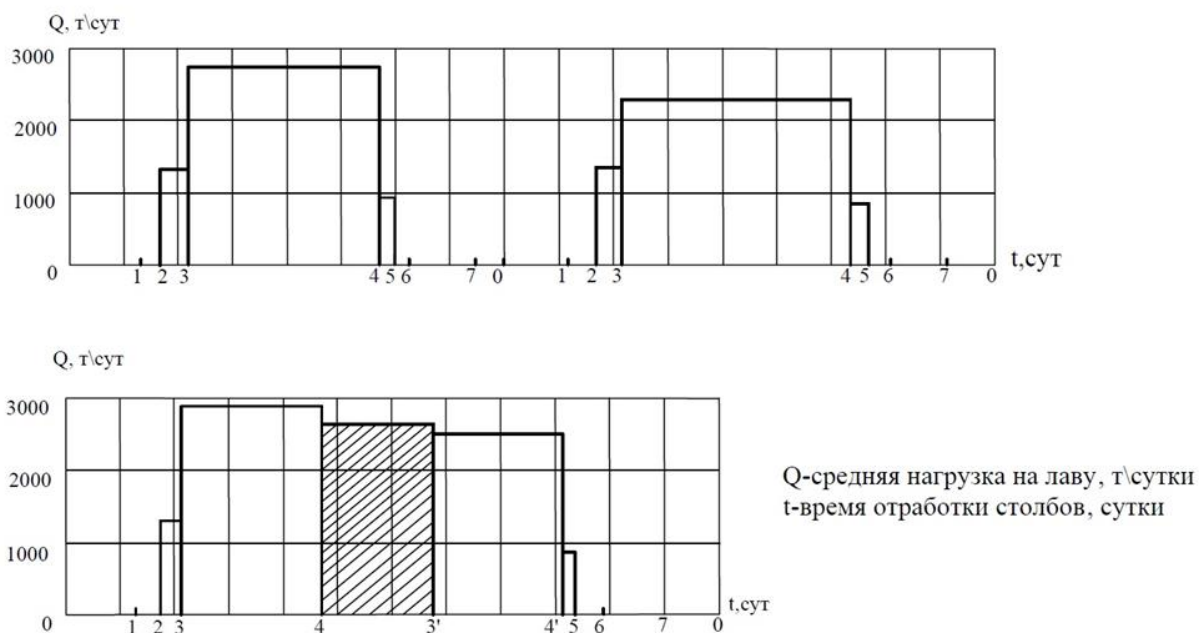


Рис. 5.1- График зависимости нагрузки на лаву от времени отработки столбов:
 0-1 монтаж комплекса; 1-2 ожидание окончания подготовки участка; 2-3 освоение комплекса (развитие добычи); 3-4 стабильный период работы; 4-5 затухание добычи; 5-6 ожидание демонтажа комплекса; 6-7 демонтаж; 7-0 перебазирование комплекса в смежный столб; 4-3 разворот комплекса на 180°

Из изложенного могут быть сделаны следующие выводы. Применение технологических схем с разворотом механизированных комплексов позволяет повысить коэффициент непрерывного использования механизированных комплексов и транспортного оборудования на 10-20%. Наибольшая эффективность использования комплексов во времени достигается при отработке коротких выемочных полей (до 400-500 м); с увеличением их длины эффективность снижается. При развороте комплекса время отработки одинаковых по величине запасов сокращается на 10-20%, что необходимо учитывать при оценке экономической эффективности технологических схем с разворотом комплекса.

5.2. Теоретические положения обоснования технологических схем с разворотом механизированных комплексов

В связи с накоплением опыта по развороту механизированных комплексов на шахтах РФ возникла потребность уточнить ранее изложенные принципы и дополнить их новыми. Основные требования к теории конструирования технологических схем с разворотом лав могут быть сформулированы в следующем виде:

1. Комплексность решения всех процессов, связанных с ведением очистных и подготовительных работ в пределах выемочного поля, панели, горизонта.

2. Предельно высокий уровень комплексной механизации очистных и подготовительных работ и эффективное использование горной техники путем применения ее в наиболее соответствующих горно-геологических условиях.

3. Минимальный объем применения тяжелых ручных работ.

4. Высокая концентрация очистных работ путем обеспечения максимально возможной нагрузки на забой.

5. Минимальный объем проведения и поддержания подготовительных выработок в пределах выемочного поля и создание благоприятных условий для их охраны и безремонтного поддержания.

6. Высокая степень извлечения запасов, охрана недр и окружающей человека среды.

7. Безопасные и комфортные условия труда.

Разработка технологических схем должна основываться:

- на устранении ограничений по газу метану с использованием прямоточных схем проветривания забоев, разбавления метана по источникам поступления;

- на использовании бесцеликового способа поддержания пластовых выработок и применения для их охраны, специальной крепи усиления с целью повторного использования;

- на проведении новых выработок вприсечку к обрушенным породам;

- на погашении повторно используемых выработок позади очистного забоя;

- на отработке выемочных столбов, как правило, одинарными лавами.

Кроме перечисленных принимались новые предпосылки, учитывающие специфику технологии с разворотом комплексов, основная цель которой улучшить технико-экономические показатели работы добычного участка, за счет сокращения затрат на монтажно-демонтажные работы и увеличения времени непрерывной работы комплекса, в течение всего его срока службы, путем увеличения длины вынимаемого столба, используя конструктивные возможности секций крепи и конвейера для разворота комплекса на 180° и перевода оборудования в смежный столб.

При совершенствовании теории необходимо учитывать возможность частого поворота комплекса на угол менее 180° , одноразового разворота на 180° и многократного разворота, когда комплекс два или более раз меняет направление перемещения забоя, совершая при этом частичный или полный разворот около самостоятельных центров.

Поворот комплекса на угол менее 180° следует применять при отработке запасов участков сложной конфигурации, когда вынужденно приходится изменять направление перемещения забоя лавы по отношению к элементам залегания пласта. В данном случае технологическая схема индивидуально разрабатывается, применительно к конкретным горно-геологическим условиям и сложившейся планировке горных работ.

Одноразовый разворот комплекса на 180° целесообразен к применению в том случае, когда выемочное поле имеет размер по простиранию (падению), который заведомо допускает размещение только двух лав рациональной длины для данных горно-геологических условий, независимо от его длины, относительно направления перемещения их забоев.

Многократный разворот комплекса целесообразно применять для отработки запасов участков, ограниченной длины по направлению перемещения забоя лавы, но имеющих такие размеры по падению (простиранию), заведомо

допускающие размещения не менее трех лав рациональной длины. Количество разворотов связано с обеспечением такой суммарной длины выемочного столба, если это возможно по горно-геологическим условиям, которая была бы достаточной для полной выработки технического ресурса комплекса. При этом не исключается замена конвейера или комбайна.

При сложной конфигурации выемочного поля, связанной с наличием непреходимых геологических нарушений, ранее выработанных участков пласта, с планировкой горных работ, достаточных размеров, многоразовый разворот забоя лавы может сочетаться с поворотами комплекса.

Таким образом, на возможность применения заранее разработанных вариантов технологических схем с разворотом комплекса вкладывают ограничения размеры выемочного поля и его конфигурация. В последнем случае необходима индивидуальная их привязка и конкретно сложившимся условиям.

Проведение подготовительных выработок в пределах выемочного поля возможно проводить как до начала очистных работ, оконтурив частично или полностью запасы угля, так и одновременно с их проведением. Заблаговременное проведение выработок следует рекомендовать при разработке пластов, мощность которых позволяет использовать комбайны, обеспечивающие высокие темпы проходческих работ. Одновременное проведение очистных и подготовительных работ рекомендуется на пластах мощностью до 1,2-1,3 м, при этом забой подготовительной выработки или опережает лаву или же находится позади ее, а сама выработка формируется в выработанном пространстве.

На основании теоретических исследований установлены четыре различных способа изменения траектории движения подвижной плоскости очистного забоя: за счет базовой балки конвейерного става при его передвижке "волной"; согласованное движение всех секций под углом к фронту передвижки в пределах возможных отклонений домкратов с последующим диагональным движением комплекса; снятием стружек переменной ширины на длину, обусловленную допустимым углом излома забойного конвейера, как в направлении от центра разворота к обводной выработке (рис. 5.2, рис. 5.3), так и

в обоих направлениях [152]. При использовании первого способа в процессе передвижки става конвейера "волной" из-за разницы в длинах става в изогнутом и выпрямленном положениях комплекс смещается под некоторым углом.

При втором способе комбайн работает с переменным захватом, изменяющимся от нуля у точки разворота конвейерного штрека до ширины захвата у вентиляционного штрека. Выполненные расчеты показали, что использование первых двух вариантов технологии разворота приводит к снижению производительности комбайна на 50-60%, по сравнению с производительностью комбайна на прямолинейном участке.

В связи с незначительной величиной смещения и высокой трудоемкостью наиболее целесообразно использование третьего и четвертого способа.

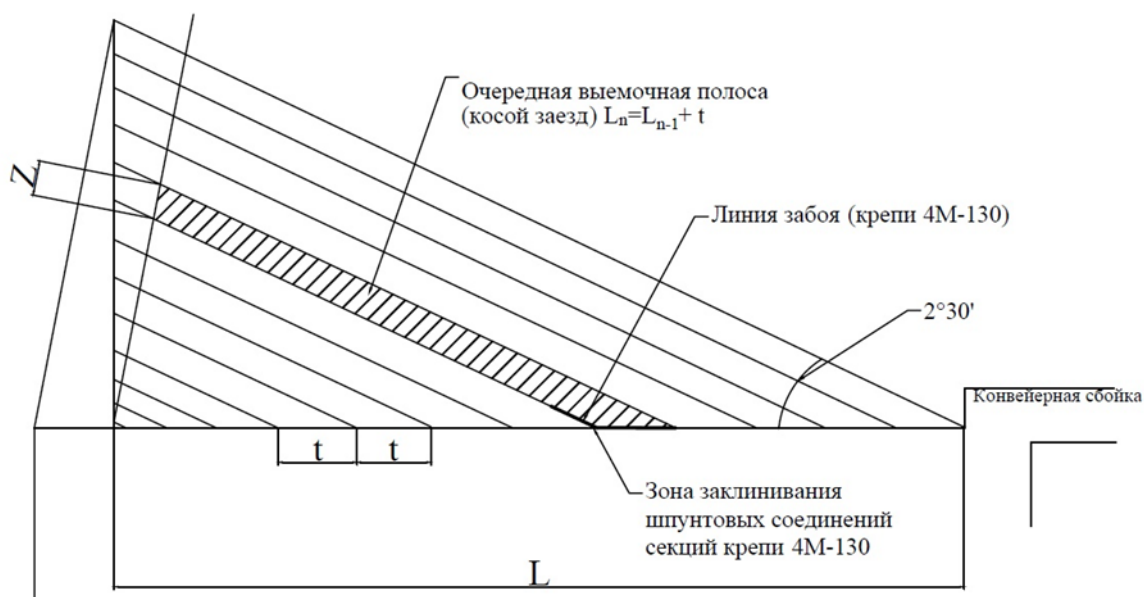


Рис. 5.2 - Схема разворота комплекса на один цикл ($2^{\circ}30'$) (движение комбайна от центра разворота к обводной вырубке)

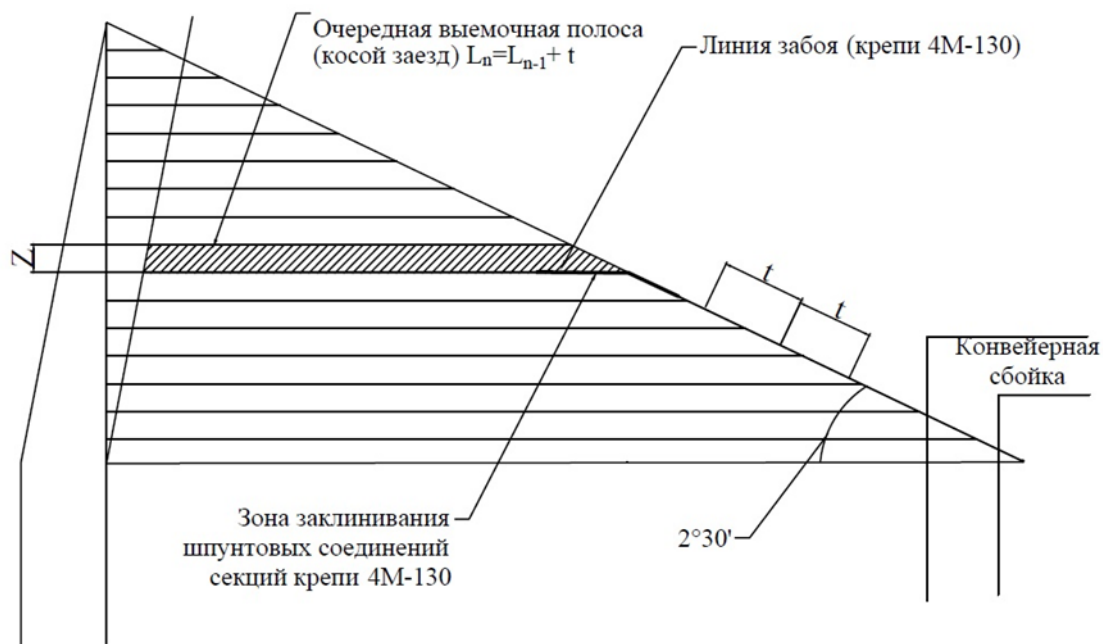


Рис. 5.3- Схема разворота комплекса на один цикл (2°30') (движение комбайна от обводной выработки к центру разворота)

В случае снятия стружек переменной ширины на длину, обусловленную допустимым углом излома забойного конвейера, осуществляется выемка полос трапециевидной формы, состоящей из клиновидного участка (рис. 5.2, рис. 5.3). При выемке этого участка комбайн работает с переменным захватом ("косые звезды") и с постоянным захватом – выемка прямоугольных полос на ширину захвата исполнительного органа.

Четвертый способ предусматривает выемку полос в двух направлениях, сначала нарастающей длины $l_n = l_{n-1} + t$, а затем: уменьшающейся $l_n = l_{n-1} - t$. Такая схема позволяет сохранять постоянными зазоры между секциями крепи в процессе их передвижки, (рис. 5.2, рис. 5.3).

При третьем и четвертом способах производительность комбайна снижается на 15-20%.

Операции по развороту комплекса в каждом цикле выполняются в следующей последовательности. После выемки последней полосы угля на прямолинейном участке, перед началом разворота секции крепи передвигаются к забою по всей длине комплекса, а комбайн после зачистки лавы

останавливается, не доходя до обводной выработки на расстояние, равное длине первого участка - ступени. Забойный конвейер на указанную длину придвигается к забою диагонально, а на остальной длине лавы остается не передвинутым и отстает от забоя на ширину захвата исполнительного органа (0,5; 0,63 или 0,8 м).

Комбайн, двигаясь по диагональному участку конвейера, производит выемку "косым" заездом. Секции крепи передвигаются вслед за проходом комбайна. При обратном ходе комбайн зачищает дорожку и останавливается на расстоянии двух ступеней от обводненной выработки. Забойный конвейер на участке первой ступени придвигается к забою, на второй - диагонально, как при выемке первой полосы. Выемка последующих полос производится аналогично.

При выемке косых полос их ширина меняется от нуля до полезной ширины исполнительного органа комбайна за счет неподвижки забойного конвейера. В месте поворота секции крепи уголь вынимается не на полную мощность, чтобы избежать поломок козырьков секций крепи шнеками комбайна. После отхода комбайна от места поворота и выхода его из-под крепи, выемка угля производится на полную мощность пласта.

После снятия последней полосы, порядковый номер которой соответствует числу ступеней в лаве, и зачистки лавы на всю ее длину заканчивается первый цикл. В результате комплекс развернется на угол $\delta = 2^{\circ}30'$, а натяжная головка забойного конвейера переместится по обводной выработке на расстояние $l \cdot t_g \delta$. После завершения запланированных предварительно трех-пяти циклов, в зависимости от состояния пород кровли, вынимается одна полоса с постоянной шириной захвата по всей длине лавы.

Сопряжение лавы с выемочной выработки является одним из ответственных узлов технологической схемы, который приходится поддерживать в специфических условиях: минимальная скорость подвигания забоя лавы в зоне разворота, не превышающая 2-3 м/мес; продолжительность поддержания во времени, исчисляемая 4-6 мес; систематическое "топтанье" пород кровли при снятии нагрузок с крайних секций крепи и их распоре. Поэтому крепь сопряжения должна быть усиленной, по сравнению с крепью по

остальной длине выработки, увязанной с ней, и представлять единое целое. Зону разворота по длине условно можно разделить на три участка. Первый участок располагается позади забоя лавы, одна сторона которого примыкает к выработанному пространству. Второй участок находится непосредственно в зоне приводной станции забойного конвейера и имеет постоянную длину, порядка 4-5 м, по мере разворота перемещается по длине штрека. Наконец, третий участок - участок "плывущего" центра длиной 7-8 м, располагается впереди забоя лавы.

Исходными данными для расчета параметров разворота комплекса являются: длина очистного забоя (l), угол взаимного разворота секций забойного конвейера (δ); ширина захвата комбайна (r); ширина секции крепи $r_{кр}$.

Длина полосы t постоянна и зависит от ширины захвата комбайна и угла поворота секций в горизонтальной плоскости [161].

$$t = r \cdot ctg\delta, \quad (5.1)$$

Количество полос в цикле x зависит от длины очистного забоя и длины полосы

$$x = \frac{l}{t} \quad (5.2)$$

Общее число циклов, необходимое для полного разворота:

$$n_{ц} = \frac{\alpha_p}{\delta}, \quad (5.3)$$

α - принятый угол разворота очистного забоя.

За один цикл внешний фланг лавы перемещается на расстояние R , равное:

$$R = x \cdot r \quad (5.4)$$

При движении комплекса по криволинейной траектории оконтуривающие выработки имеют вид ломаных линий, состоящих из отрезков, длиной:

$$Z_{л.л} = 2l \sin \frac{\beta}{2}, \quad (5.5)$$

где β - угол поворота комплекса при движении по отрезку оконтуривающей выработки.

Максимальный угол поворота комплекса при движении по отрезку длиной $Z_{л.л}$ определяется из выражения:

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{Z_{л.л}}{2l} = \frac{\sqrt{2l(b-a_0)-(b-a_0)^2}}{l}, \quad (5.6)$$

где b - ширина оконтуривающей выработки, м;

a_0 - зазор между крайней секцией крепи и внешней стороной оконтуривающей выработки, м.

Количество отрезков оконтуривающей выработки будет равно:

$$n_0 = \frac{\alpha}{\beta}, \quad (5.7)$$

В зависимости от времени выполнения разворота (повороты) могут осуществляться непосредственно при монтаже механизированного комплекса, после его окончания, в процессе отработки прямолинейных участков столбов, на концевых участках выемочных столбов, а также перед демонтажем комплексов (рис.5.4).

Целесообразность осуществления поворотов на концевых участках выемочных столбов (после монтажа и перед демонтажем комплексов) обуславливается возможностью извлечения дополнительных запасов угля. С целью ускорения пуска лавы возможны варианты, предусматривающие в период разворота части комплекса наращивание дополнительных секций крепи, (рис. 5.5). К моменту поворота на 90° полностью завершаются монтажные работы.

При разработке технологических схем с разворотом механизированного комплекса, особенно на 180° , необходимо уделять внимание двум ее узлам: участку разворота - зоны сопряжения лавы с транспортным штреком, и угловым участкам выемочного поля, где сосредоточены запасы угля между обводной и подготовительной выработками.

По характеру перемещения привода забойного конвейера различают следующие варианты разворота комплекса:

- вокруг неподвижной точки;
- вокруг точки, скользящей ("плывающей") вдоль конвейерного штрека;
- вокруг неподвижной точки, но с выполнением разворота в два приема по 90° каждый, причем в промежутке между поворотами производят выемку полезного ископаемого с перемещением комплекса прямолинейному

участку; его ширина соответствует суммарной ширине целика и двух центральных штреков (конвейерного и вспомогательного или вентиляционного);

– штреков, вспомогательного и конвейерного, и погашением запасов на прямолинейном участке за пределами целика между ними.

При развороте вокруг неподвижной точки (рис. 5.6), расположенные в центре секции крепи будут разворачиваться практически на одном месте, что приводит к ухудшению состояния кровли, вследствие ее "топтанья". Для устранения этого негативного явления предложено либо заменять ближайшие к центру разворота секции индивидуальной усиленной крепью, что является весьма трудоемким процессом, либо использовать технологию со "скользящим" центром разворота.

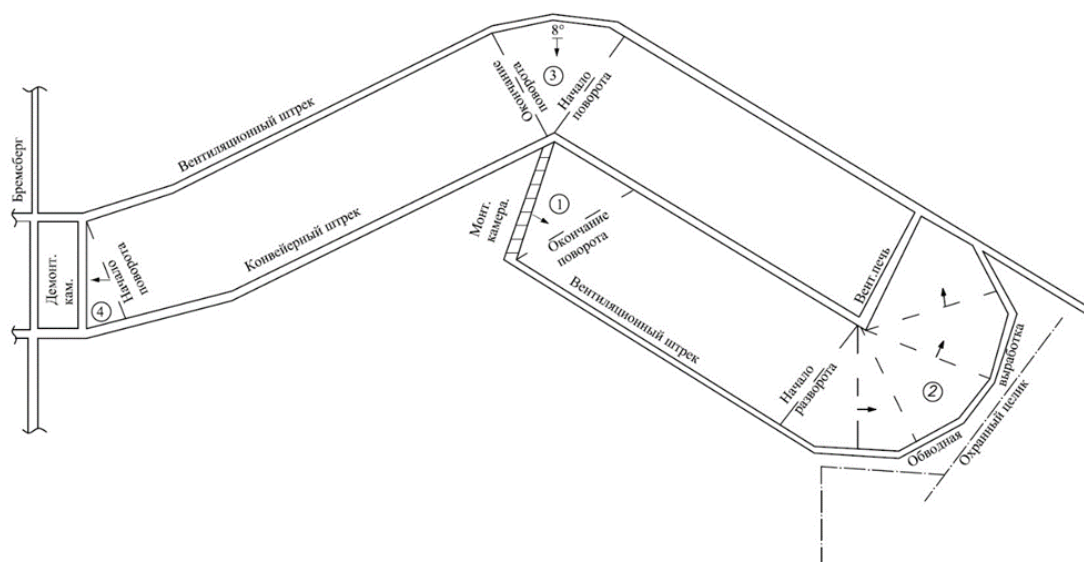


Рис. 5.4- Варианты разворотов (поворотов)

1 – поворот после завершения монтажа; 2 – на конечных участках; 3 – на прямолинейных участках; 4 – перед демонтажом.

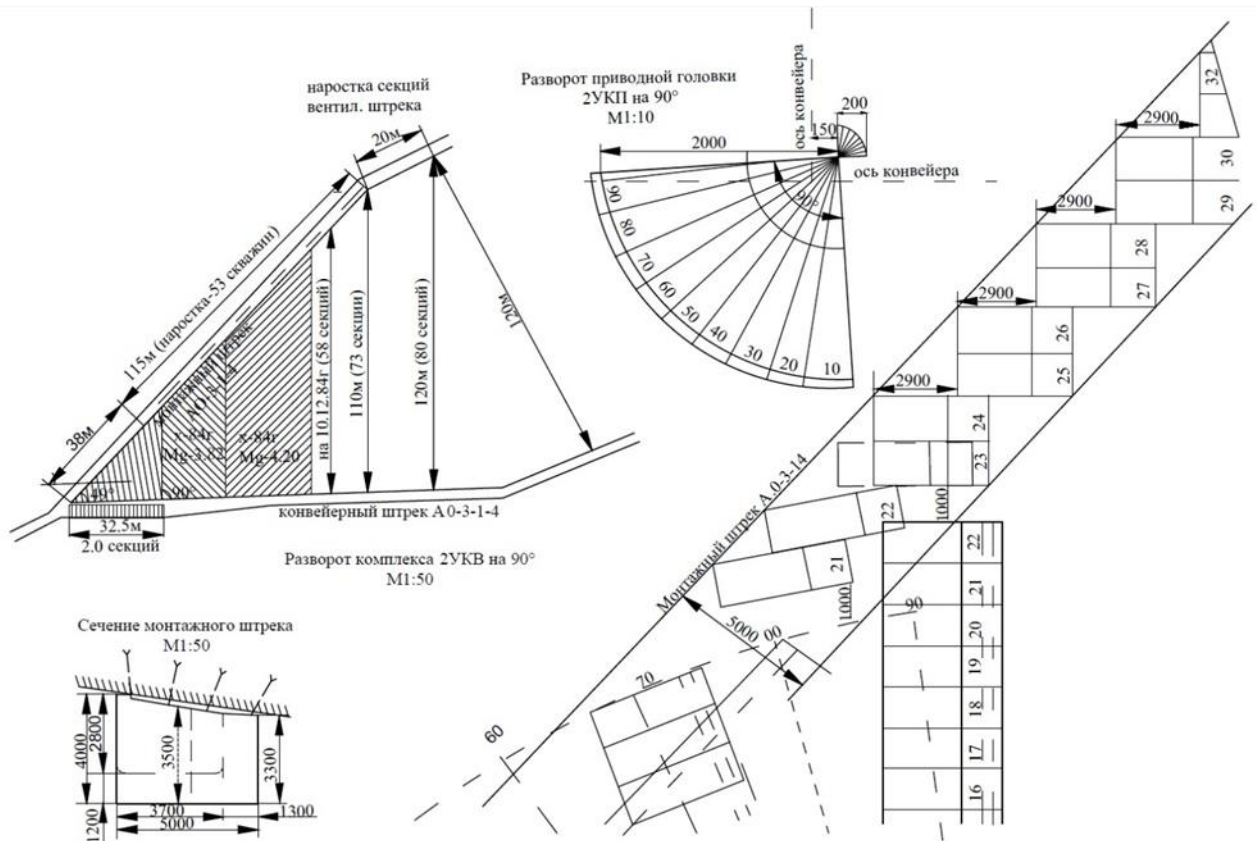


Рис. 5.5- Комбинированная схема разворота с одновременным монтажом секций крепи по длине лавы с увеличением угла поворота (комплекс 2УКП)

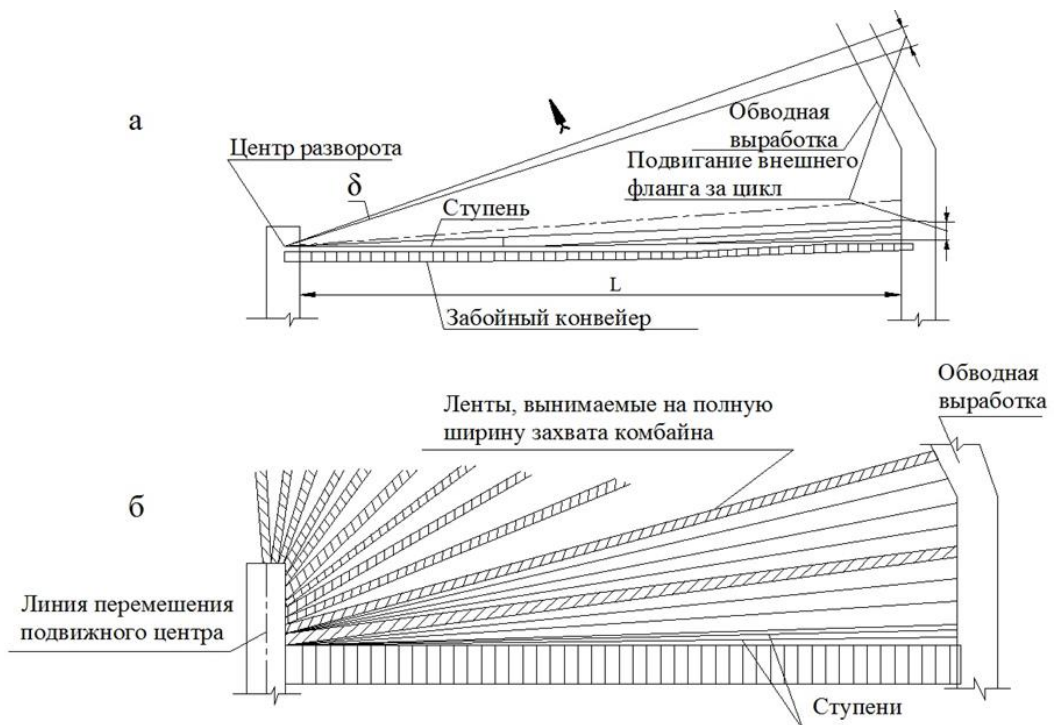


Рис. 5.6- Варианты разворота комплекса:

а – вокруг неподвижной точки; б – вокруг точки, «скользящей» вдоль конвейерного штреха

В этом случае комбайн через определенное количество косых лент снимает 1-2 полные ленты, при этом центр разворота перемещается на длину, равную 1-2 ширине захвата комбайна.

Данные практики показывают, что ухудшение состояния кровли происходит через 3-5 циклов распора секций и снятия с них нагрузки. На основании этого число полных лент угля, снимаемых при развороте комплекса на 90° определяется:

$$r_{н.л} = \frac{n_{ц}}{2n_{ц}}, \quad (5.8)$$

где $n_{ц}$ - очередность чередования циклов разворота и подвигания его центра.

Подвигание центра разворота по оси выработки в одном направлении составит:

$$r_n = r \cdot r_{н.л}, \quad (5.9)$$

Наиболее благоприятные условия в центре разворота обеспечивается в случае применения способа с центром, вынесенным за пределы очистного забоя [167] (рис. 5.7, рис. 5.8).

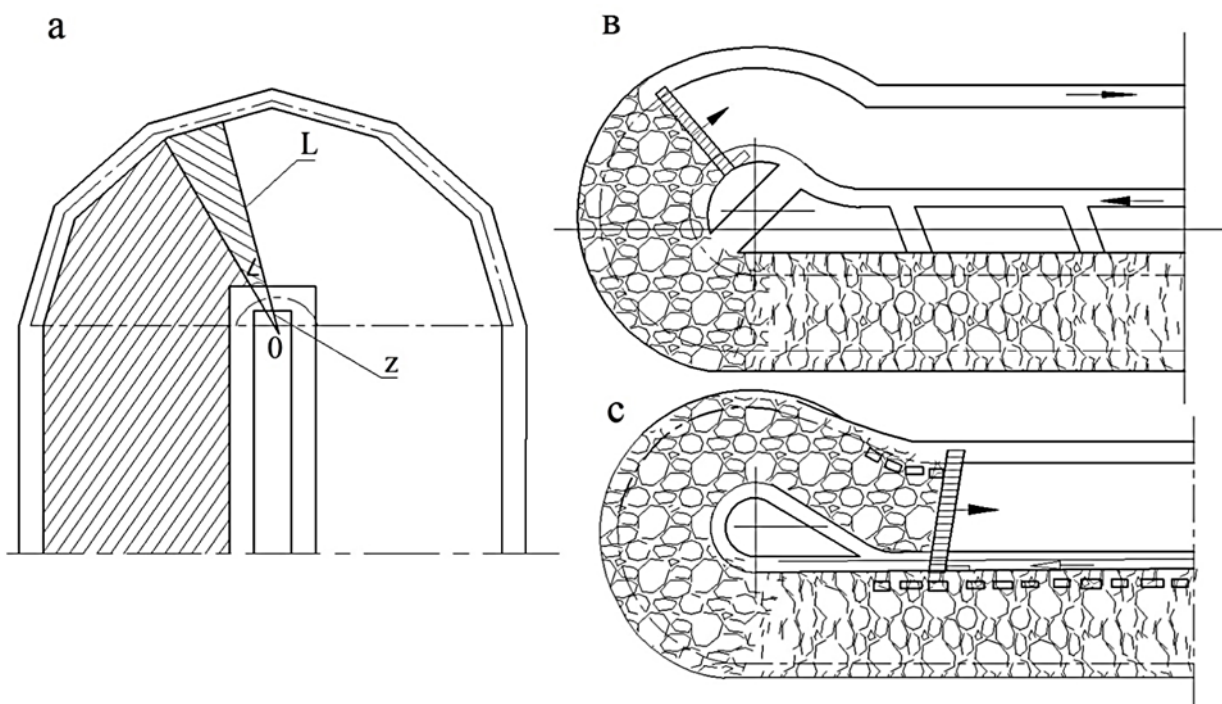


Рис. 5.7- Варианты разворота комплекса вокруг центра вынесенного за пределы длины лавы при наличии (а, в) и отсутствии (с) межстолбовых целиков угля

Разворот механизированного очистного комплекса начинается при подходе его линии к точке 1. Выемка полезного ископаемого ведется клиньями или полосами изменяющейся длины. Центр разворота Q выносят на определенное расстояние r' за пределы лавы l . При этом ближняя к центру разворота секция не стоит на месте, а периодически перемещается по некоторой линии S , вписанной в оконтуривающие вынимаемые запасы полезного ископаемого выработки, проводимые заранее или во время разворота.

Величина расстояния r' выноса геометрического центра разворота за пределы длины лавы определяется из расчета обеспечения устойчивости кровли в районе центра разворота при заданном среднем подвигании забоя с учетом влияния всех горно-технических факторов. После разворота комплекса за один цикл вокруг центра на угол d и перемещения дальней от центра разворота секции крепи на расстояние производится передвижка ближней к центру разворота секции крепи на расстояние β , равное:

$$\beta = 2r' \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (5.10)$$

При отсутствии возможности вписать дугообразную траекторию движения ближней к центру разворота секции крепи в оконтуривающие вынимаемые запасы полезного ископаемого выработки, а также для ликвидации возникающих аварийных ситуаций в ходе разворота, возможно изменение положения вынесенного центра в любой фазе разворота за счет некоторого прямолинейного перемещения комплекса с последующим возобновлением разворота вокруг нового вынесенного центра, (рис. 5.8). Применение предлагаемого способа обеспечивает снижение трудоемкости операций по креплению кровли у центра разворота, повышение производительности труда, улучшение условий труда рабочих.

Общим для перечисленных способов является то, что в каждом случае необходимо выполнять мероприятия по усилению крепи сопряжения лавы с выработкой с целью недопущения опасных ее деформаций, а также уменьшения отрицательных последствий "топтанья" пород кровли на концевом участке лавы.

$$Z_n = 0,43ml^2\gamma, \bar{m}, \quad (5.11)$$

Величина потерь может быть значительной. Так, при длине лавы 150 м и мощности пласта 3 м, они определяются в размере 40 тыс. т. В этой связи заслуживают внимания предложения, направленные на уменьшение указанных выше потерь [168].

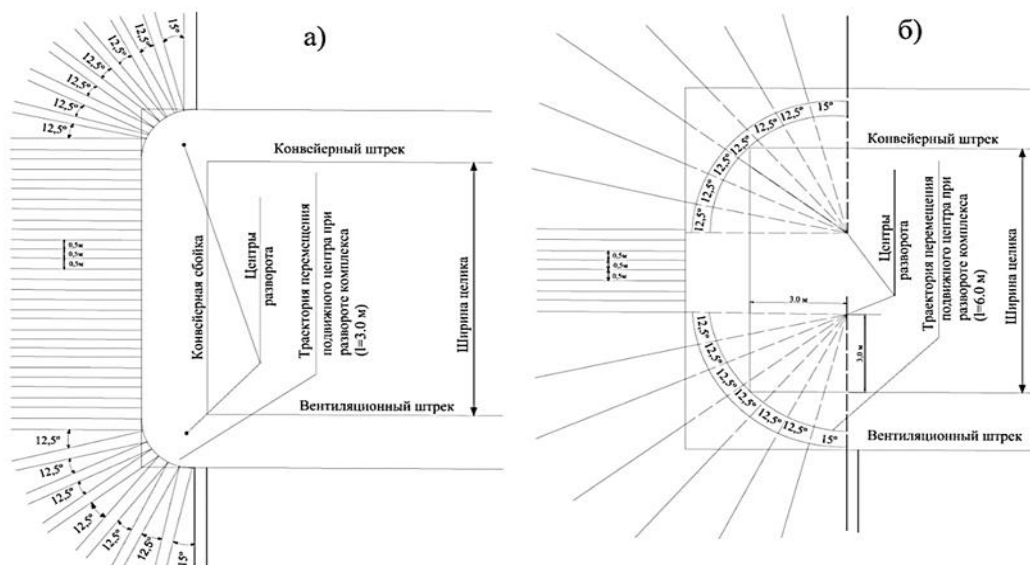


Рис. 5.8 -Варианты разворота комплекса:

а – вокруг неподвижной точки в два приема; б – вокруг двух центров, вынесенных за пределы длины лавы

Суть предложений заключается в том, что в процессе разворота длина комплекса со стороны внешнего фланга лавы изменяется в зависимости от текущего расстояния от центра разворота до выхода противоположного конца лавы на прилегающую выработку, то есть l до $1,42l$, а потом вновь уменьшается до l . В первой части полукруга необходим монтаж дополнительных секций на длину $0,42l$, а во второй - их демонтаж. Применение данной схемы характеризуется большим объемом монтажно-демонтажных работ при удлинении и укорачивании комплекса, составляющем 80% от полного объема работ по монтажу и демонтажу. Все это снижает эффективность разворота.

Для устранения этого недостатка предлагается осуществлять разворот комплекса на 180° с одновременной выемкой угля, укорачиванием и удлинением комплекса соответственно изменению длины очистного забоя. Перед началом разворота центр его смещают в сторону границы выемочного поля, до

укорачивания комплекса его разворачивают с одновременным перемещением центра в том же направлении, а после удлинения комплекса разворот продолжают [153]. При этом центр разворота перемещают в обратном направлении до первоначального положения. На рис. 5.9 приведена технологическая схема обработки выемочного поля со смещением центра разворота из точки С в точку А на длину l' .

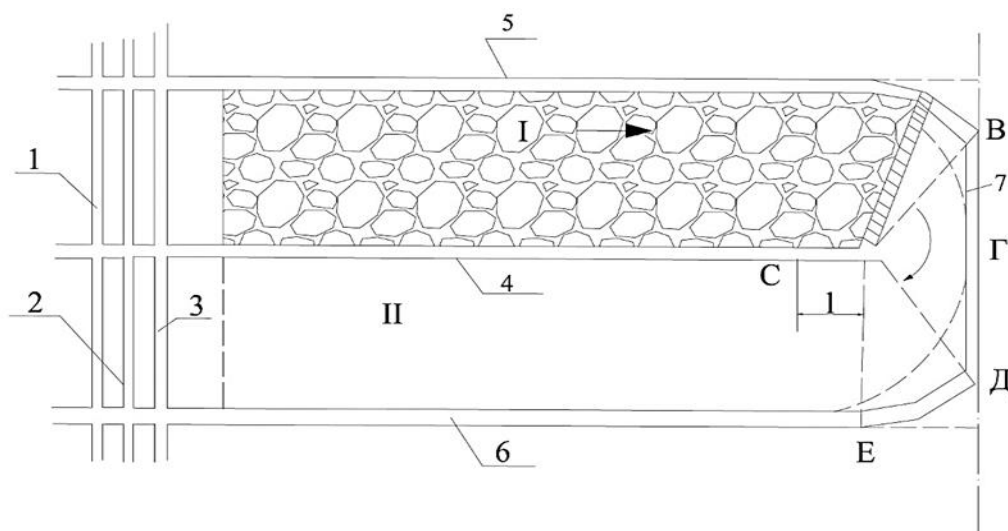


Рис. 5.9- Технологическая схема обработки столбов со смещением центра разворота

Два смежных выемочных столба 1 и 2 подготавливаются от людского ходка 1, бремсберга 2 и грузового ходка 3 с помощью конвейерного штрека 4, проходимого с просеком или без него и выемочных штреков 5 и 6. На участках, прилегающих к границе выемочного поля, штреки 5 и 6 соединяются обводной выработкой 7, большая часть длины которой расположена по контуру выемочного поля.

Разворот комплекса осуществляется следующим образом. Когда очистной забой подойдет к точке А, отстоящей на расстоянии $(l - l')$ м от границы выемочного поля, то есть смещенного плывущего центра разворота, приступают к развороту комплекса. Первоначально внешняя часть забоя лавы (по отношению к области разворота) перемещается по обводной выработке Б-В при постоянной длине комплекса. При этом выемка полезного ископаемого

осуществляется снятием полос угля переменной длины с чередованием выемки полос угля по всей длине лавы на полную ширину захвата исполнительного органа. Когда забой подойдет к точке В, дальнейшее перемещение на участке В-Г будет сопровождаться сокращением длины комплекса путем поочередного демонтажа отдельных секций; в точке Д он будет иметь первоначальную длину. Дальнейший разворот до точки Е - места выхода забоя на прямолинейный участок смежного выемочного столба, будет происходить при постоянной длине комплекса, аналогично участку Б-В.

Величина потерь полезного ископаемого в краевых участках столбов за пределами обводной выработки (Z_l) зависит, при равных условиях, от размера величины смещения центра разворота к границе выемочного поля и в случае, если Z_l определяется по формуле: $l - l' > 0$

$$Z_l = 2m\gamma \left\{ l^2 - ll' \cdot \left[\frac{\pi l^2 \arcsin \frac{l-l'}{l}}{360} + \frac{1}{2} (l - l') \sqrt{2ll' - lZ'} \right] \right\}, \quad (5.12)$$

Анализ формулы показывает, что объем невынутых запасов снижается, но не пропорционально приросту смещения центра разворота.

Например, при $m = 3$ м, $l = 150$ м, $\gamma = 1,4$ т/м³, при смещении центра разворота на 50 м прибыль от реализации угля и убытки в виде штрафа за сверхнормативные потери и на монтажно-демонтажные работы взаимно компенсируются. Дальнейшее смещение центра разворота вначале приносит дополнительную прибыль, при $l' > 80$ м начинает снижаться, так как потери от монтажно-демонтажных работ и амортизационные отчисления на реновацию превышают прибыль от реализации добытого угля, величина которой при 100 м сохраняется постоянной, поскольку практически полностью исчерпывается прирост добычи при погашении целика.

С целью увеличения полноты выемки запасов при развороте комплекса за счет снижения потерь угля у границы вынимаемых запасов на внешнем фланге очистного забоя и в межштрековых целиках предложена технологическая схема, приведенная на рис. 5.10.

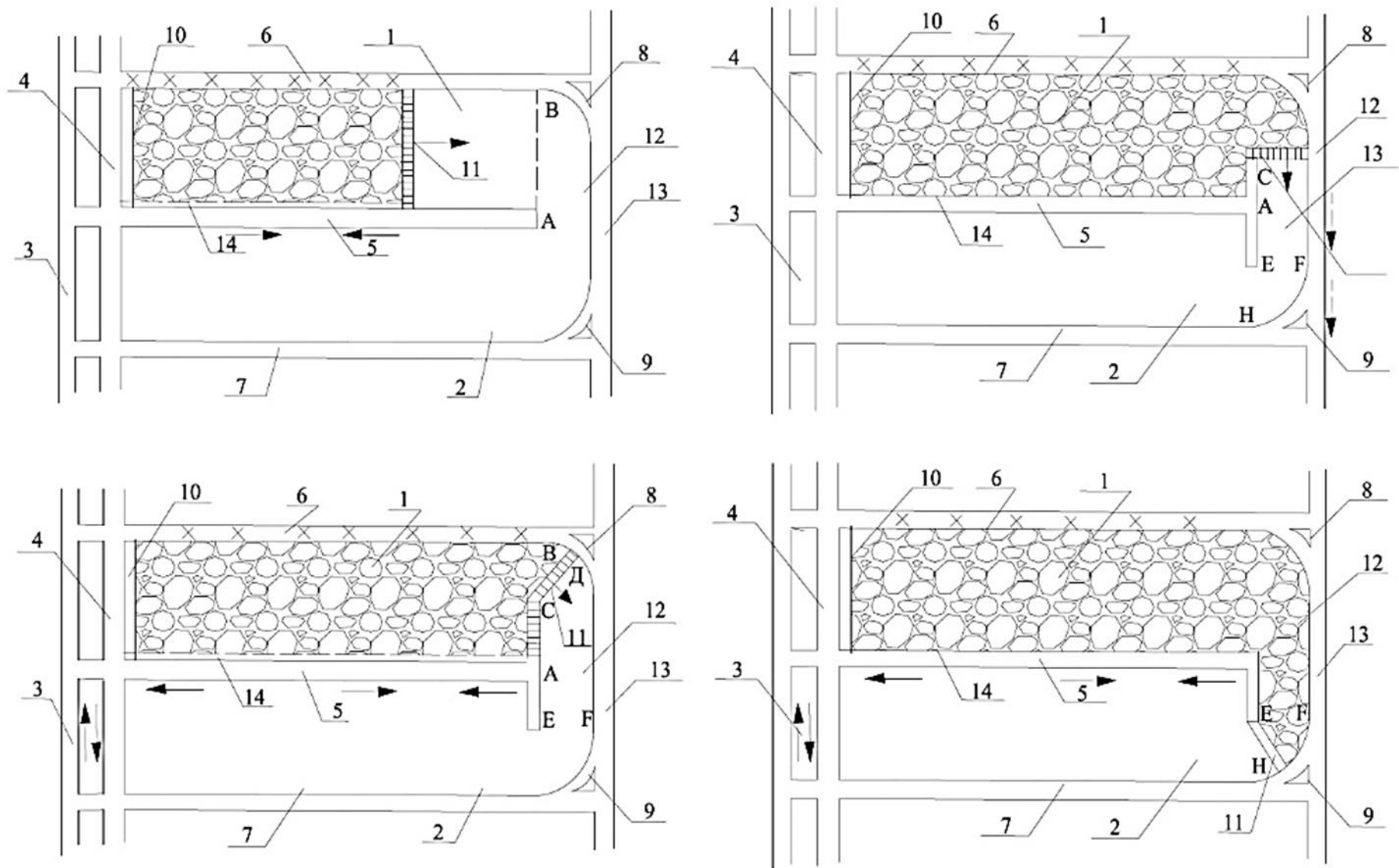


Рис. 5.10 - Варианты технологических схем, увеличивающих полноту извлечения запасов

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°.

Отработку выемочного столба 12 ведут в поперечном направлении по отношению к столбу 1. Одновременно с отработкой выемочного столба 12 по мере подвигания очистного забоя ведут перемонтаж секций крепи и оборудования части комплекса АС, располагающейся со стороны внутреннего фланга очистного забоя в монтажную камеру АЕ, расположенную в выемочном столбе 2.

После завершения монтажа части комплекса АЕ и отработки 12, то есть при занятии комплексом положения ЕФ, начинают второй этап разворота части комплекса и заканчивают его после занятия комплексом положения ЕН, то есть второго разворота на 90°. Затем начинают отработку выемочного столба 2, которую ведут во встречном направлении по отношению к столбу 1.

Данная технологическая схема способствует снижению трудоемкости работ по развороту комплекса, за счет разворота не всего комплекса, а лишь его части. Кроме того, за счет поочередного разворота вокруг точек С и Е с переходом из зоны нарушенной кровли - после разворота вокруг точки С, в зону

с более устойчивой кровлей - к точке E, улучшается состояние кровли у центра разворота.

Снижение потерь полезного ископаемого в межстолбовых целиках может быть достигнуто за счет применения технологической схемы, при которой погашение угольного целика осуществляется без дополнительного монтажа секций крепи за счет нарезки лавы второго столба длиной l_1 , меньшей чем длина лавы первого столба l_0 на ширину целика h . Тогда суммарная длина нижней лавы l_2 с учетом ширины погашаемого целика будет равна длине верхней лавы, то есть:

$$l_2 = l_1 + h = l_0, \quad (5.13)$$

Для уменьшения отрицательного явления - "топтания" кровли, что наиболее вероятно при развороте секций крепи вокруг одного центра, предусматривается передвигать центр разворота за счет снятия не только ступенчатых полос нарастающей длины ("косыми заездами"), но и прямых - постоянной ширины по всей длине лавы. Расчет вертикальных напряжений и смещений пород кровли в период разворота механизированного комплекса для условий лав выполнен по следующей методике [154].

В качестве исходных данных для прогноза вертикальных смещений приняты: коэффициенты крепости пород кровли и почвы; мощности породных слоев; расстояние от кровли пласта до середины слоя в кровле; расстояние от почвы пласта до середины слоя в почве, (табл. 5.1).

На основании этих данных рассчитываются вертикальные смещения по формулам таблицы 5.2.

Вертикальные смещения в каждой исследуемой точке можно определить по формуле:

$$\omega_i = \omega_K K_i, \text{ м} \quad (5.14)$$

ω_K - вертикальные смещения кровли пласта вне зоны влияния горных работ;

K_i - коэффициент концентрации напряжений:

$$K_i = \frac{1 + \frac{n}{N}}{1 - \frac{n}{N}}, \quad (5.15)$$

n - количество точек палетки, попавших в пределы контура выработанного пространства;

N - количество всех точек на палетке.

В качестве примера выполнен расчет вертикальных смещений пород кровли и напряжений при развороте лавы на пласте 7-7а в условиях шахты "Распадская".

В результате расчета для четырех положений забоя лавы в шести точках, расположенных соответственно на расстоянии 30, 60, 90, 114 и 140 м от вентиляционного штрека; построены зависимости $W_k = f(Z)$ и $\delta_Z = f(Z)$, (рис.5.11б). Анализ показывает, что при отработке прямолинейного участка столба, картина изменения вертикальных смещений пород кровли имеет симметричный вид. Максимальной величины смещения достигают в середине лавы, на расстоянии приблизительно 75 м от вентиляционного штрека (это объясняется равномерным влиянием выработанного пространства на распределение напряжений).

По мере подвигания забоя, симметричность картины изменения вертикальных смещений пород кровли нарушается.

При дальнейшем развороте механизированного комплекса 4КМ-130 начинает сказываться влияние ранее отработанной лавы 4-7-12 и зависимость изменения вертикальных смещений пород кровли от расположения исследуемой точки принимает более сложный вид.

Таблица 5.1 - Укрупненная стратиграфическая колонка вмещающих пород (принятая глубина разработки 130 м)

Наименование породы	Коэффициент крепости	Мощность породного слоя, м	Расстояние от кровли пласта до середины слоя в кровле, м	Расстояние от кровли пласта до середины слоя в почве, м	Отношение		Отношение	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Глина		3,0	128,5		0,0233 0,0466			
Конгломерат		9,0	122,5		0,0735 0,294			
Песчаник	3,0	17,8	109,1		0,1632 0,4896			
Алевролит	5,0	7,4	96,5		0,0747 0,3835			
Пласт 10	0,8	2,2	91,7		0,024 0,0102			
Алевролит с переслоями песчаниками	5,0	7,1	87,05		0,0816 0,408			
Песчаник	7,0	23,3	71,85		0,0139 0,0973			
Алевролит	4,0	8,3	56,05		0,1481 0,5924			
Пласт 9	0,8	1,7	51,05		0,0333 0,0266			
Алевролит	5,0	8,7	45,85		0,1897 0,9485			
Пласт 8	1,0	0,4	41,3		0,0097 0,0097			
Алевролит	6,0	4,1	39,05		0,105 0,630			
Песчаник среднезернистый крепкий	8,0	21,0	26,5		0,7925 6,34			
Алевролит крупнозернистый крепкий	6,0	16,0	8,0		2,0 12,0			
Пласт 7-7а	1,0	3,9		6,0		2,0	10,0	
Алевролит	5,0	12,0						
Песчаник	8,0	3,0		13,5		0,222	1,776	
		= 148,9			= 3,7345 22,854	2,222	11,776	

Таблица 5.2 - Формулы для расчета вертикальных смещений

Наименование вычисляемого параметра	Расчетная формула	Вычисленные параметры пл. 7-7а H = 130 м
1	2	3
Коэффициент крепости пород кровли	$f_k = \frac{\left(\sum f_{ki} \frac{h_{ki}}{l_{ki}} \right)}{\sum \frac{h_{ki}}{l_{ki}}}$	
Коэффициент крепости пород почвы	$f_n = \frac{\left(\sum f_{ni} \frac{h_{ni}}{l_{ni}} \right)}{\sum \frac{h_{ni}}{l_{ni}}}$	5,9674
Модель упругости пород кровли, МПа	$E_k = K_e f_k = 2000 f_k$	5,2997
Модель упругости пород почвы, МПа	$E_n = K_e f_n = 2000 f_n$	11934,8
Коэффициент крепости упругого основания ($K_H = 0,2-0,4$)	$f_{yn} = \frac{f_n}{1 + \left(\frac{f_n}{f_k} \right) \frac{m}{K_H H}}$	10599,4
Модуль упругости упругого основания, МПа	$E_{yn} = K_e f_{yn} = 2000 f_{yn}$	5,3596
Коэффициент Пуассона пород кровли	$\nu_k = 0,5 - 0,1 \sqrt{f_k}$	10719,2
Коэффициент Пуассона пород почвы	$\nu_n = 0,5 - 0,1 \sqrt{f_n}$	0,2557
Коэффициент Пуассона пород упругого основания	$\nu_{yn} = 0,5 - 0,1 \sqrt{f_{yn}}$	0,2698
Вертикальные смещения кровли пласта вне зоны влияния горных работ, м	$W_k = \frac{\gamma H (K_H H + m)}{E_{yn} \cdot 100} \left(1 - \frac{2\gamma_{yn}^2}{1 - \nu_{yn}} \right)$	0,2685
Вертикальные смещения почвы пласта вне зоны влияния горных работ, м	$W_n = \frac{\gamma H^2 K_H}{E_n \cdot 100} \left(1 - \frac{2\gamma_n^2}{1 - \nu_n} \right)$	0,0152
Цилиндрическая жесткость пород кровли, МПа/м ³	$D_k = \frac{E_k H^3}{12(1 - \nu^2)}$	213,816

Наименование вычисляемого параметра	Расчетная формула	Вычисленные параметры пл. 7-7а Н = 130 м
1	2	3
Относительная характеристика жесткости пород кровли и упругого основания, м	$L = 4 \sqrt{\frac{D_{\kappa} \mathcal{N}}{K_{уп}}}$	$2,339 \cdot 10^9$
$\mathcal{N} = 0,3-0,5$ коэффициент структурного ослабления		23

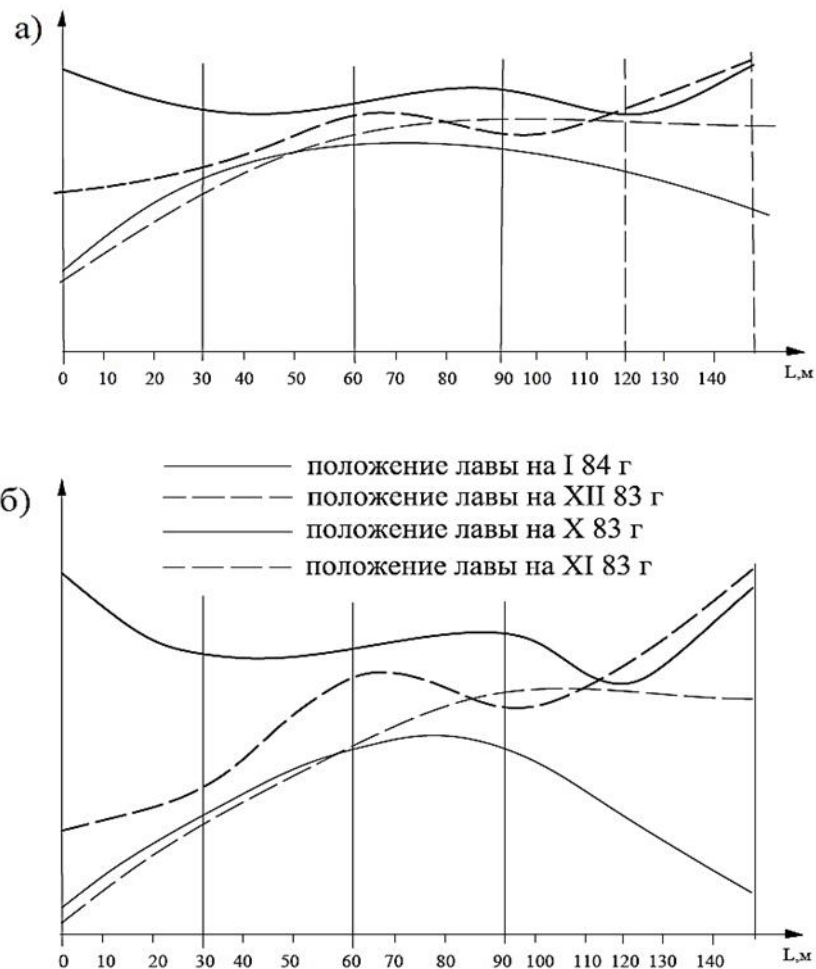


Рис. 5.11- Графики зависимости:

а - зависимость вертикальных смещений пород кровли от расположения исследуемой точки применительно к условиям лавы; б – график изменения вертикальных напряжений в зависимости от расположения исследуемой точки

5.3. Основные особенности использования технологии очистных работ при развороте комплексов

Исследования технологии очистных работ с разворотом комплекса КМ-81 осуществлялись на шахте "Новокузнецкая". Развороту комплекса предшествовали расчеты параметров технологии.

Расчетами установлен размер кривой полосы t , который при длине лавы 50 м, ширине захвата комбайна 0,6 и допустимом угле излома конвейера $2^{\circ}30'$ составляет 16 м. Размер первой ступени составляет с учетом длины ниши 18 м. Общее число циклов для разворота комплекса на 180° составит: $n_{\text{ц}} = 180^{\circ} : 2^{\circ}30' = 82$ цикла.

Для устранения эффекта "топтанья" кровли разворот осуществлялся с применением подвижного центра. При определении местонахождения начальной точки разворота учитывалось следующее. На состояние кровли большое влияние оказывает число циклов распора снятия нагрузок с секций. Учитывая, что ухудшение состояния кровли происходит через 3-5 циклов [115], было предложено обновлять кровлю, у центра разворота, то есть вынимать полные полосы через 4 цикла.

При подвигании внешнего фланга лавы на величину $0,6 \cdot 3 = 1,8$ м, веер циклов, после которого берется полная лента, будет равен $4 \cdot 1,8 = 7,2$ м. Лава по длине была разделена на три участка: первый - 18 м, второй и третий - по 16 м. Разворот осуществляется посредством снятия комбайном полос угля "косыми заездами" последовательно, начиная с первого участка от вентиляционного штрека, затем, после перегона комбайна, на втором и далее на третьем. Выемка первой полосы осуществлялась "косым заездом" к вентиляционному штреку. Выемку второй полосы на длину 16 м (на втором участке) комбайн производил "косыми заездами", а 18 м – на полную ширину захвата исполнительного органа.

В результате снятия трех полос, забой лавы разворачивался на $2^{\circ}10'$, то есть на "цикл". После выполнения четырех "циклов" вынималась одна полная полоса по всей длине лавы на ширину захвата исполнительного органа. По внешнему периметру забой лавы перемещался на 7,8 м, а вдоль конвейерного

штрека - на 0,6 м. Затем процесс повторялся в той же последовательности, (рис. 5.12).

Особое внимание уделялось креплению угла сопряжения лавы с конвейерным штреком. Было предусмотрено усиление сопряжения инвентарной крепью, состоящей из верхняков М7102 на стойках 14Т30, устанавливаемых в один ряд и опережающих забой лавы на 6 м. Над приводной головкой конвейера лавы устанавливался подхват из спецпрофиля СВП-17 длиной 4,5 м, на стойках 14Т30. В центре разворота став забойного конвейера СР-70 вместе с натяжной головкой заглублялся в почву, а на почву под приводную головку лавного конвейера укладывались металлические пластины для улучшения процесса разворота.

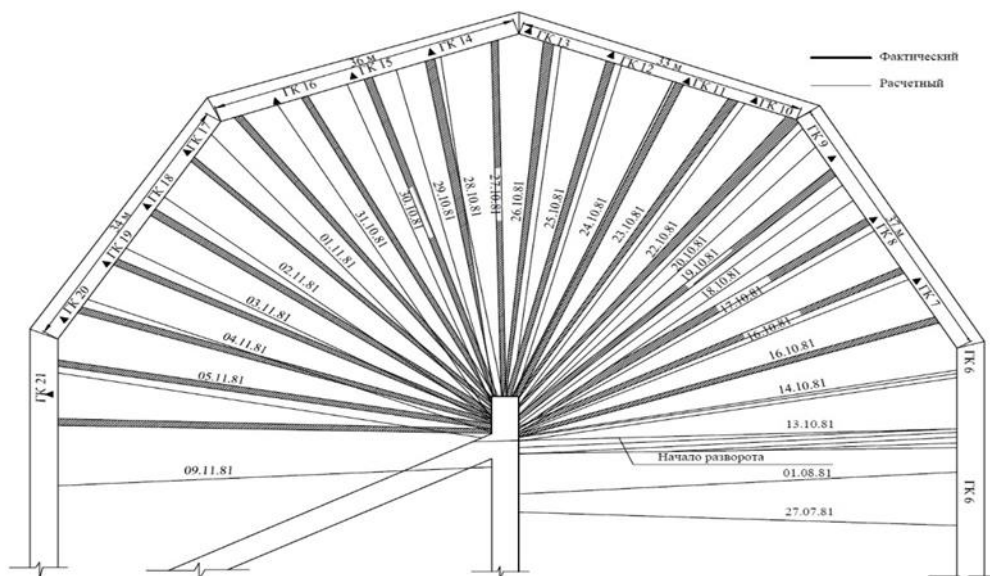


Рис. 5.12- Этапы процесса разворота лавы

В связи с отступлением от расчетной схемы, которой предусматривался разворот с плывущим центром, имело место сползание комплекса. В результате было демонтировано две секции крепи, что привело к некоторому снижению нагрузки на забой. Эксперименты показали, что отсутствие контроля прямолинейности лавы приводит к разрыву соединений решетчатого става забойного конвейера, разрыву соединений крепь-конвейер и крепь-крепь. Для улучшения маневренности: секций при развороте использовались упоры, позволяющие фиксировать ограждения относительно задней стойки.

Разворот комплекса 4КМ-130 на шахте "Распадская" при его переходе из лавы 4-7-16 в лаву 4-7-14 производился в три этапа: I этап - разворот на 90° ; II этап - подвигание забоя лавы всем фронтом на прямолинейном отрезке длиной Юм; III этап – разворот на 90° [156,157].

Полный поворот на заданный угол разделен на определенное число циклов. Циклы представляют собой косые полосы нарастающей длины. Длина ступени постоянна и определяется по возможному взаимному развороту линейных секций лавного конвейера в горизонтальной плоскости почвы пласта.

Угол взаимного разворота линейной секции лавного конвейера СПМ-130 составляет 3° . Для расчета параметров разворота комплекса принят угол, равный $2^\circ 30'$.

Разворот на цикл производится выемкой полос нарастающей длины. Длина полосы t постоянна и зависит от ширины захвата комбайна и угла поворота секций конвейера СПМ-130 $t = 0,5 \cdot 22,9 = 11,5$ м.

Количество полос X (заходок комбайна) в цикле зависит от длины очистного забоя l и длины ступени t : $X = 135:11,5=11,7$.

Количество полос в цикле принято равным 12 : семь полос длиной по 12 м (по 10 секций крепи) и пять полос - по 10,8 м (по 9 секции крепи), (рис.5.13). Выполнение работ по развороту комплекса в каждом цикле производится в следующей последовательности. После взятия последней стружки, секции крепи передвигаются к забою и комбайн после зачистки дорожки останавливается в 10,8 м (9 секций) от вентиляционного штрека на закруглении. Лавный конвейер на этой длине (первая ступень) придвигается к забою диагонально, а на остальной длине остается не передвинутым на ширину захвата 0,5 м. Комбайном производят выемку угля, двигаясь по диагональному участку конвейера, секции крепи передвигаются вслед за комбайном. При обратном ходе зачищается дорожка, а комбайн останавливается на расстоянии двух ступеней (21,6 м или 18 секций) от вентиляционного штрека. Лавный конвейер на первой ступени передвигается к забою, а на второй - диагонально, как при выемки полосы первой ступени. Выемка последующих полос производится аналогично предыдущим, но

с учетом того, что, начиная с шестой полосы, лавный конвейер передвигается диагонально на расстоянии 10 секций.

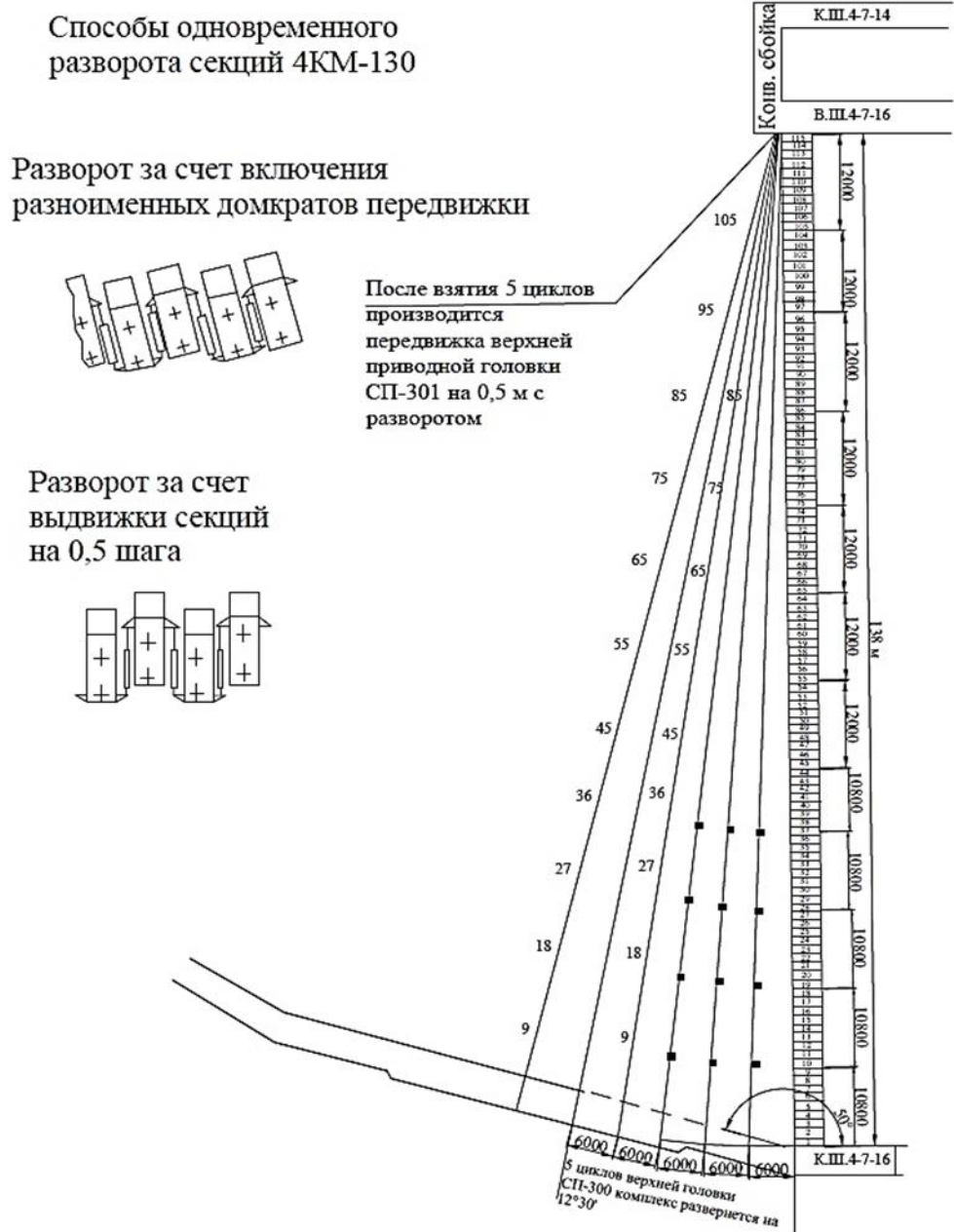


Рис. 5.13- Схема разворота мехкомплекса 4КМ-130 циклами 2°30'

В месте поворота секции крепи уголь выбирается не на полную мощность во избежание поломок козырьков секции крепи шнеками комбайнов. При отходе комбайна от места поворота и выхода из-под крепи производится выемка на полную мощность. При взятии косых полос выемка угля комбайном производится с переменной шириной захвата - от 0 до 0,5 м за счет неподвижки лавного конвейера. После взятия двенадцатой полосы и зачистки дорожки

заканчивается цикл разворота комплекса на $2^{\circ}30'$, хвостовая головка лавного конвейера перемещается при этом на 6,0 м. Через каждые 5 циклов берется одна прямая полоса по всей длине лавы с шириной захвата 0,5 м.

На основании данных хронометражных наблюдений установлена длительность основных операций по выемке косых полос при развороте, которая изменяется от 14 мин. до 90 мин., а время цикла при выемке полос угля на прямолинейном участке составляет 100-150 мин.

В процессе разворота было установлено, что схема разворота на один цикл ($2^{\circ}30'$) при выемке косых полос от вентиляционного штрека на дуге закругления (снизу-вверх) приводит к тому, что зазоры в шпунтовых соединениях постепенно уменьшаются. Это приводит к заклиниванию шпунтов в определенной зоне (2-3 секции или по 2,4-3,6 м в обе стороны от угла поворота). В связи с этим эпизодически требуется правка секций с целью восстановления величины зазоров в шпунтовых соединениях. Это достигалось путем разворота комплекса на цикл $2^{\circ}30'$ сверху вниз (от центра разворота к дуге) взятием косых полос, аналогичных существующей схеме. При этом происходило как бы растягивание секций крепи в зоне поворота, что благоприятно влияло на работу комплекса, (рис. 5.13). Но растяжение имеет также свои рациональные пределы, при выходе за которые происходит разрыв шпунтовых соединений. Поэтому при проведении работ по развороту необходимо предусматривать обе схемы взятия косых полос и применять ту или иную в зависимости от состояния шпунтовых соединений.

Для уменьшения эффекта „топтанья” кровли, разворот начали за 3 м до подхода лавы к конвейерному ставу, что в два раза удлинило путь перемещения по внутренней траектории разворота („плывущий центр разворота”). Крепление сопряжений лавы со штреками осуществляется следующим образом:

– на прямолинейных участках - механизированной крепью сопряжения и индивидуальной крепью с опережением линии очистного забоя не менее 6,0 м;

- при развороте комплекса - на дуге разворота вентиляционный штрек крепится индивидуальной крепью с опережением линии забоя не менее чем на 20 м;
- центре разворота - крепление сбойки усиливается стойками трения в 3 ряда.

Схема транспортирования угля из лавы и ее проветривание осуществлялось в два этапа, как показано на рисунке 5.14.

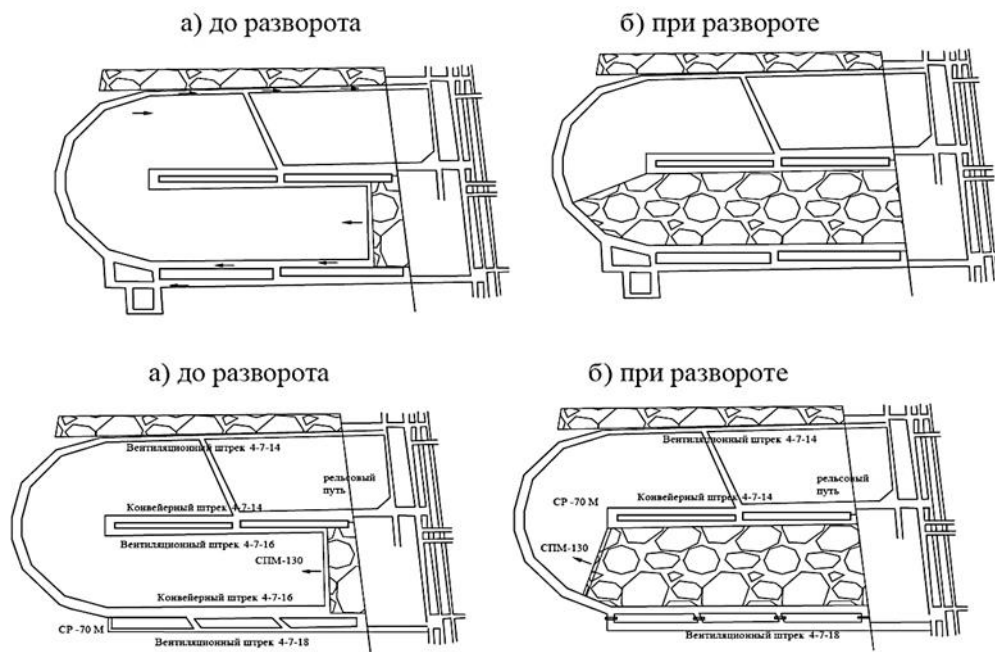


Рис. 5.14- Схема транспорта угля

Испытания в лаве 4-7-16 и 4-7-14 показали высокую эффективность новой технологии, при которой коэффициент непрерывности комплекса достиг 0,9; была установлена целесообразность применения технологии с подвижным центром, что позволяет снизить горное давление секции крепи в центре разворота. Кроме того, были выявлены недостатки в конструкции комплексов, поскольку не учитывалась возможность их работы по новой технологии, что приводило к выходу из строя отдельных узлов (деформация шпунтов и пальцев шпунтовых соединений, выход из строя проставок для крепления желобов кабеля укладки).

Накопленный опыт и положительные успехи при развороте комплекса 4КМ-130 позволили продолжить работы этого направления на шахте «Распадская», причем было принято решение выполнить два полных разворота на пласте 7-7^а ниже участка уже отработанного с разворотом лав 4-7-14 и 4-7-16. Технологическая схема представлена на рисунке 5.15.

С целью снижения потерь в угловых частях выемочных столбов, а также обеспечения минимального объема работ, связанных с монтажом и демонтажем дополнительных секций крепи и конвейера предусматривалось смещение центра разворота в сторону вентиляционного бремсберга лавы 4-7-18 на 22 метра.

Общий объем проходки выработок для подготовки лав 4-7-18, 4-7-20 и 4-7-22 составляет 4700 м (без учета протяженности уклонов).

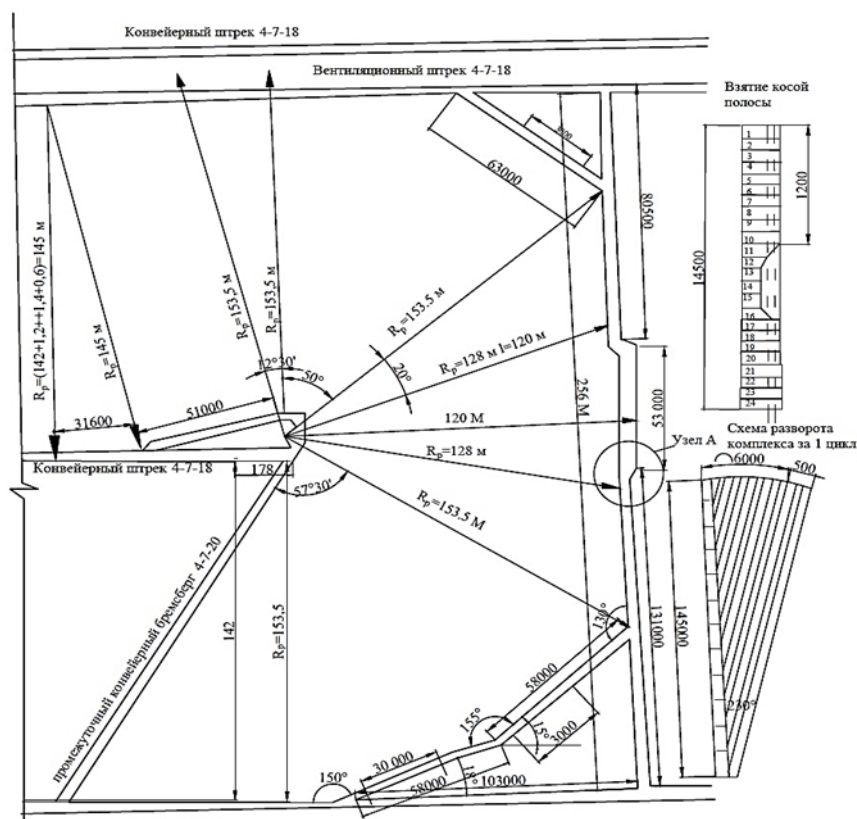


Рис. 5.15- Технологическая схема отработки лав 4-7-18, 4-7-20, 4-7-22 с разворотом комплекса (шахта «Распадская»)

По сравнению с технологией отработки лав 4-7-16 и 4-7-14, где был осуществлен первый на шахте "Распадская" разворот на 180° механизированного

комплекса 4КМ-130, при отработке лавы 4-7-18 с переводом без демонтажа комплекса 4КМ-130 в лаву 4-7-20 были следующие особенности:

- перенос центра разворота с целью сокращения потерь угля у прямолинейной границы уклонного целика;
- разворот комплекса с одновременным перемонтажом части секций;
- применение бесцеликовой отработки;
- разворот комплекса вокруг подвижного центра;
- реализация технологии выемки запасов и целиках без предварительного проведения выработок.

Применение технологической схемы отработки коротких выемочных столбов с двумя полными разворотами на 180° с прямым и обратным порядком отработки потребовало решения такой технологической задачи, при которой потери угля в "клиновых участках" (между дугой разворота, штреками и прямолинейной границей уклонного целика) были бы минимальны. В противном случае, реализации технологической схемы разворота, аналогичной отработки лав 4-7-16 и 4-7-14 потери в клиновых участках составили бы 44,8 тыс т.

Эту задачу возможно решить путем внедрения двух вариантов.

При использовании первого варианта разворот комплекса осуществляется с двойным перемонтажом (два демонтажа и два монтажа) дополнительных секций крепи. Так, при длине лавы 7-18 и 4-7-20 равной 142 м, необходимо при развороте комплекса 4КМ-130 на первые 90° один раз смонтировать дополнительно 23 секции, увеличив длину лавы до 178 м, и один раз демонтировать эти дополнительные секции, уменьшив длину лавы до 142 м, (рис. 5.16).

Вторым вариантом предусматривается центр разворота перенести к границе уклонного целика ближе на 28 м, в результате чего длина лавы после разворота на 90° уменьшится до 114 м, но при этом перемонтаж комплекса при развороте на 180° производится один раз, то есть при повороте лавы на 90° демонтируются 23 секции, а затем они вновь монтируются при повороте на следующие 90° .

Технико-экономическое сравнение этих двух вариантов показывает, что второй вариант более предпочтителен.

Применение рекомендуемой в работе 40 схемы с разворотом комплекса вокруг "треугольника" не всегда возможно.

Поэтому была разработана и испытана новая технология отработки столбов с "подвижным центром, но иной конфигурации, позволяющей производить разворот комплекса также вокруг "треугольника, но при этом уменьшается общая протяженность обводных выработок и отработанный участок имеет неблагоприятную конфигурацию только с одной стороны, (рис. 5.17). Развороту комплекса на 180° предшествовал обратный поворот лавы на $12^\circ 30'$, вокруг центра, расположенного на вентиляционном штреке 4-7-18, который производился при подходе лавы на расстояние 31,6 м до начала обводной выработки. Затем лавой отрабатывался прямолинейный участок длиной 51 м, после чего начинались работы по развороту комплекса на $12^\circ 30'$, в исходное положение перед началом разворота на 180° .

В период отработки прямолинейного участка "подвижного" центра крайние секции крепи с вентиляционного штрека 4-7-18 внедрялись в межлавный целик шириной 15 м между лавами 4-7-16 и 4-7-18 на величину целика между обводными выработками и конвейерным штреком 4-7-18, то есть на 10 м.

Выемка осуществлялась комбайном 1КШЭ, у которого шнеки вынесены за корпус. Кроме того, головка лавного конвейера СП-301 позволяла производить выемку угля комбайном на расстоянии 1,5 м за концевой головкой. Проветривание тупика осуществлялось вентилятором местного проветривания, установленного на вентиляционном бремсберге, через став вентиляционных труб, подведенных к тупику забоя.

После разворота комплекса на 50° верхняя часть его вышла на прямолинейную часть вентиляционного бремсберга 4-7-18.

Последовательность взятия косых и прямых полос при развороте приведена на рисунке 5.18.

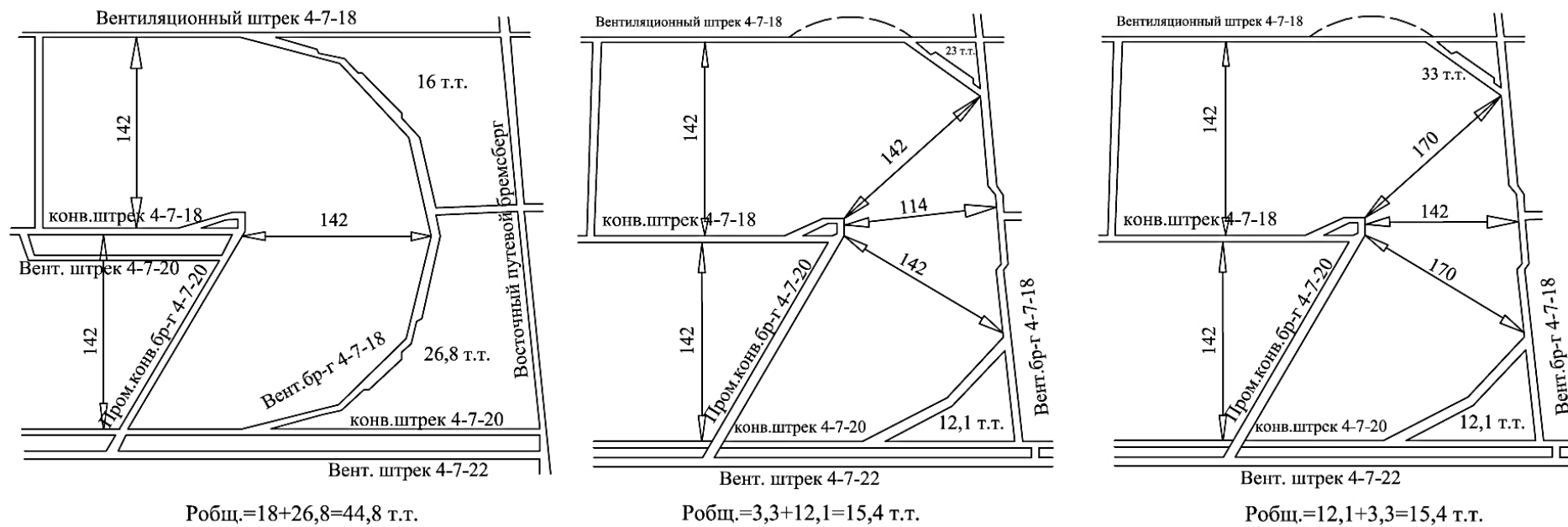


Рис. 5.16- Выбор рационального варианта технологической схемы отработки пласта с разворотом комплекса (шахта «Распадская»)

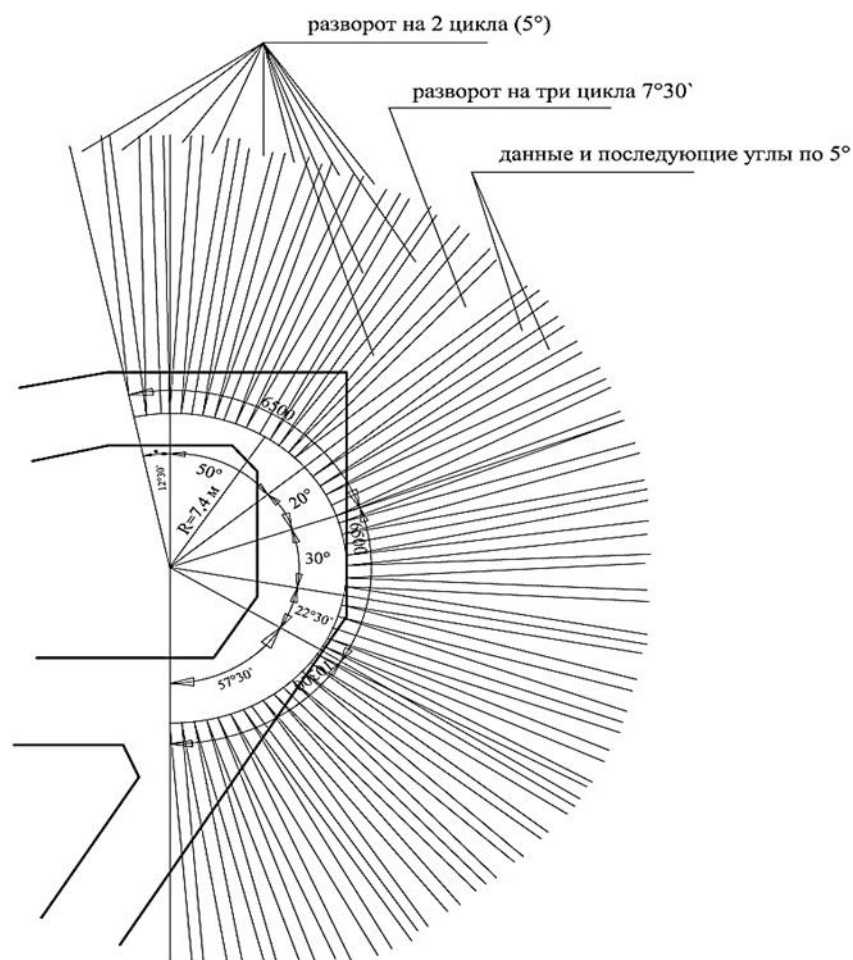


Рис. 5.17- Порядок взятия косых полос и прямых заходок при развороте комплекса

Параметры разворота комплекса после его сокращения до длины 120 м, следующие: длина косой полосы 12 м, количество полос в цикле 10.

С учетом опыта отработки лав 4-7-16 и 4-7-14 с разворотом комплекса производилось чередование взятия косых полос сверху и снизу, в зависимости от состояния шпунтовых соединений секций крепи.

При дальнейшем развороте лавы 4-7-18 с выходом крайней крепи на вентиляционный бремсберг 4-7-18 производилось сокращение длины комплекса за счет демонтажа секций крепи. Демонтаж секций крепи производился при подвигании лавы на 20 м с 18.10 по 24.10. (в течение 7 суток) в период разворота комплекса с 50° до 60° . За этот период было добыто 16109 т угля. Длина забойной части лавы была сокращена со 136 до 120 м, демонтировано 12 секций крепи. Демонтаж секций выполнялся по следующей технологии: производился

разворот лавы на угол 6° , при этом 4 секции крепи полностью выходили на вентиляционный бремсберг 4-7-18, а две секции выходили в массив угля, то есть производилась присечка внешнего борта вентиляционного бремсберга на 2.5 м.

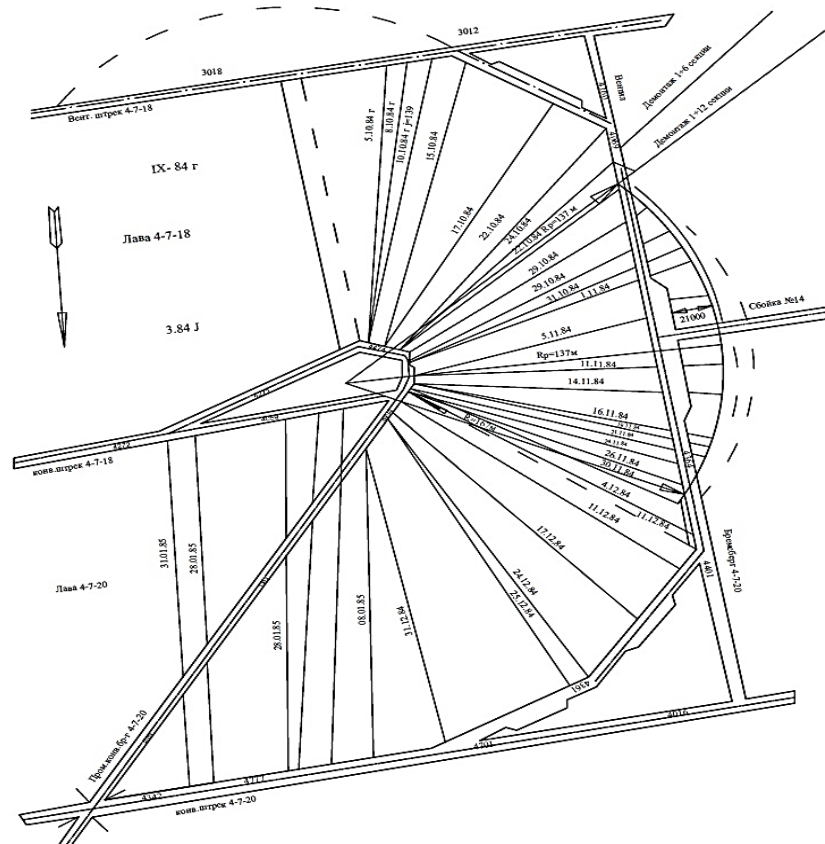


Рис. 5.18- Положение линии забоя лавы 4-7-18 в процессе разворота

При этом подвигание демонтируемых секций составляло 10 м, то есть вполне достаточное для заводки секций под защитный настил. Затем сокращался лавный конвейер и хвостовая головка переносилась в лаву. Демонтировалась гидравлика секций. Демонтаж секций производился по обычной технологии. Демонтируемые секции транспортировались лебедкой ЛПК-10Б по вентиляционному бремсбергу 4-7-18 вниз к месту их последующего монтажа. За один прием демонтировалось по 6 секций крепи. Все секции были демонтированы за два приема. Затраты времени составляли 12 часов. На демонтаже секций было занято три горнорабочих очистного забоя, на демонтаже гидравлики пять горнорабочих (в течение 2 часов), на транспортировке секций лебедкой - трое горнорабочих. Среднесуточная нагрузка в период с 18.10 по 24.10.84 составила 2301 т. Минимальная суточная добыча за этот период

составила 700 т, максимальная 3300 т. После сокращения длины лавы до 120 м (демонтаж 12 секций) дальнейший разворот комплекса с 60 до 120 производился без демонтажа секций с внедрением крайних секций крепи в уклонный целик на длину 12 м (10 секций) по технологии, аналогичной работе лавы с внедрением в межлавный целик.

Снижение технико-экономических показателей в указанный период объясняется повышенным горным давлением в районе центра разворота (на протяжении 35 м от него) и на дуге разворота. Одной из причин повышения горного давления явилось увеличение площади обрушенных пород (усиленное проявление горного давления зафиксировано на участке поворота лавы с 96 до 105°) другой причиной явилось совпадение линии забоя с направлением трещин естественного кливажа. В этот момент отжим угля по поверхности забоя достигал величины до 2,0 м, происходили вывалы пород кровли с образованием куполов от 1,5 до 2 м на протяжении 35 м от центра разворота, до 4-5 м на дуге разворота в "переходной" зоне (вентиляционный бремсберг 4-7-18). Общий объем породы, обрушившейся в призабойное пространство составил 428 м³.

После увеличения длины комплекса до 142 м был осуществлен дальнейший разворот комплекса со 130 до 180°. Всего за период разворота (96 суток) комплекса на 180° было добыто 166,4 тыс т. Среднесуточная нагрузка за период разворота составила 1733 т. (рис. 5.19). При выполнении последнего разворота лавы 4-7-20 нагрузка на забой снизилась на 30%, что связано с резким ухудшением горно-геологических условий: переходом геологического нарушения, обильным водопритоком, достигавшим 76 м³/час.

Экспериментальная проверка технологии очистных работ с поворотом лавы при выводе комплекса 2УШ1-Е была выполнена на шахте им. В.И. Ленина.

Выемка угля в лаве производилась комбайном 1РКУП-20 с БСП и напряжением 1140 вольт. Шаг установки секций крепи - 1,5 м, шаг передвижки 0,5 м, скорость крепления - 5 м/мин.

Выемка угля производится сверху вниз с погрузкой угля на конвейер 2УКП, который транспортирует уголь на конвейерный штрек.

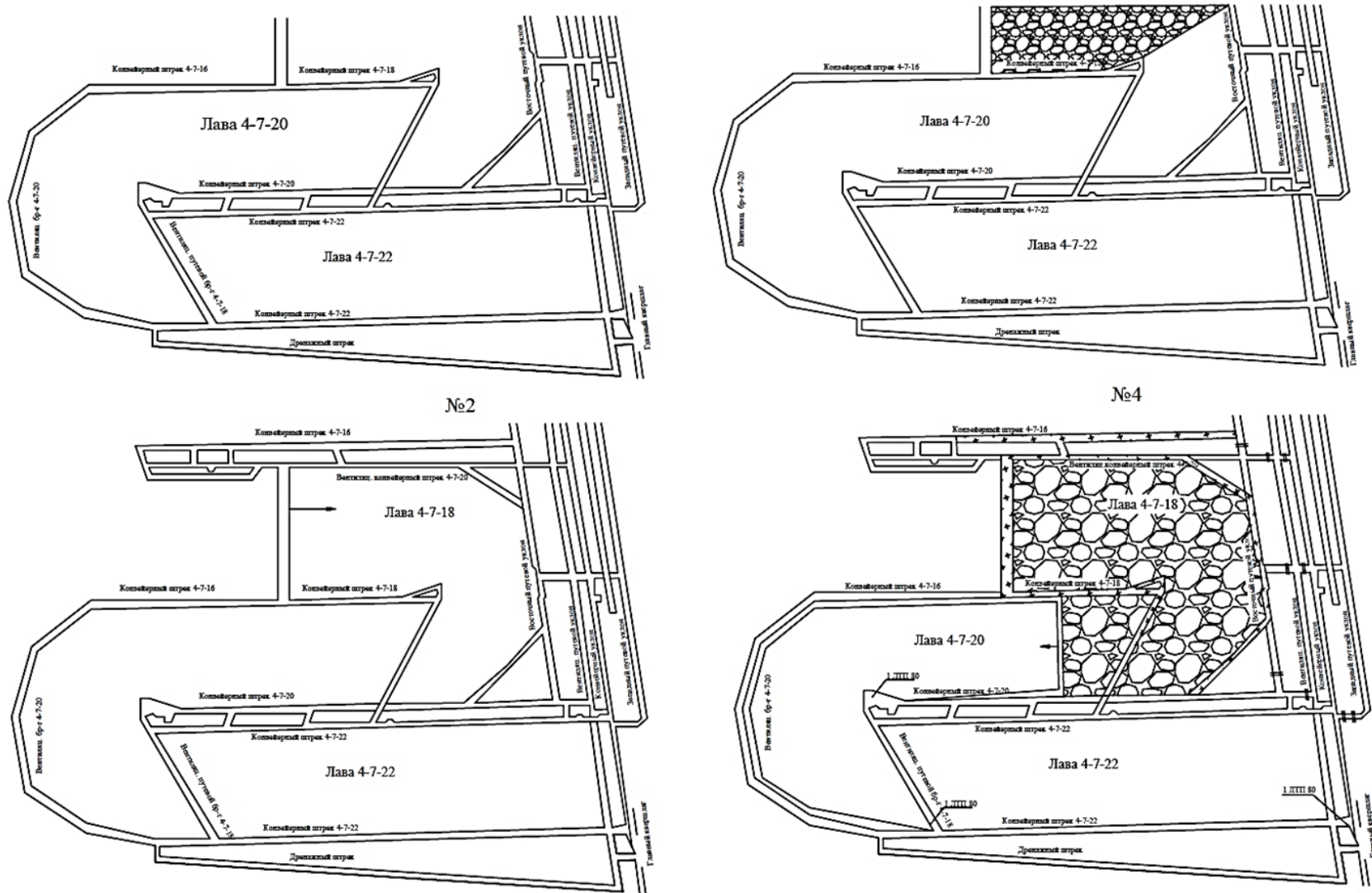


Рис. 5.19- Варианты технологических схем разворота механизированного комплекса в условиях шахты Распадская

В связи с тем, что монтажная камера лавы была пройдена под углом 56° по отношению к конвейерному штреку, из-за наличия геологического нарушения, появилась необходимость в заноске нижней части комплекса до принятия им перпендикулярного положения по отношению к штрекам.

Разворот комплекса производился следующим образом.

В исходном положении комбайн находился внизу. Для осуществления зарубки комбайн перемещался вверх на 20-25 м от конвейерного штрека и останавливался. Задвигалась нижняя часть привода на длине 15 м, то есть не менее длины изгиба конвейера. Двигаясь к конвейерному штреку, комбайн зарубался в пласт и останавливался. Производилась передвижка лавного конвейера на длину 30 м от конвейерного штрека, то есть на 15 м длиннее первой. При движении верх комбайном снимается стружка, вслед за комбайном выдвигаются крепи. В 35-40 м от конвейерного штрека комбайн останавливается и, двигаясь вниз, производит зачистку лавы. Затем комбайн поднимается вверх на 20-25 м и останавливается. Задвигается нижняя часть привода на длине 15 м. Двигаясь вниз, комбайн зарубается в пласт и останавливается. Производится передвижка лавного конвейера на 15 м длиннее предыдущей и цикл повторяется сначала до тех пор, пока комбайн доходит до вентиляционного штрека. За этот период подвигание забоя лавы по конвейерному штреку составило 3,5 м, а по вентиляционному штреку - 0,5 м. Операции повторялись до тех пор, пока комплекс не примет перпендикулярное положение по отношению к штрекам, до полного разворота забоя лавы.

При развороте комплекса было добыто 22148 т угля при суточной нагрузке 1006 т.

Проверка технологии очистных работ при повороте лавы 0-3-1-4 и одновременной наросткой комплекса в период выхода его из монтажной камеры также осуществлена на шахте им. В.И. Ленина.

Поскольку монтажный штрек 0-3-1-4 пройден под углом 49° по отношению к конвейерному, возникала необходимость осуществления разворота комплекса до принятия лавой перпендикулярного положения по

отношению к конвейерному штреку. С этой целью конвейерный штрек на расстоянии 30 м от монтажного штрека был расширен до размеров монтажной камеры. До этих же размеров был расширен монтажный штрек на расстоянии 115 м от вентиляционного штрека и 25 м вентиляционного штрека. После монтажа в расширенной части конвейерного штрека 20 секций комплекса 2УКП приступали к очистной выемке при развороте комплекса вокруг приводной головки на 90° .

Очистные работы в этот период осуществляются в следующей последовательности. После выемки полосы угля в направлении к монтажному штреку передвигаются секции крепи и на длине 15 производится задвижка лавного конвейера. Приводная головка конвейера поворачивается вокруг своей оси на $0^\circ 57'$. При движении комбайна в направлении к приводной головке снимается косая: лента угля шириной 0,5 м у хвостовой головки и 0 м у приводной. По мере выемки угля производится передвижка секций крепи. За 10 циклов происходит поворот комплекса на $9^\circ 30'$. После поворота комплекса на 76° выполняются операции по наращиванию дополнительных секций крепи, заблаговременно размещенных в монтажном штреке.

Секция №21 установленная на расстоянии 1 м от основных секций, при приближении лавы подтягивается и подсоединяется к ним. В дальнейшем продолжают очистные работы с разворотом до тех пор, пока на одном уровне с основными не окажется секция № 22, которая также присоединяется к основным секциям. В течение 96 циклов, комплекс, включающий 24 секции будет повернут на 90° по отношению к конвейерному штреку. После отработки лавы на расстоянии 130 м от монтажного штрека наращивается дополнительно 60 секции крепи. В 150 м от монтажного штрека конвейерный штрек развернут на 23° . Для достижения перпендикулярности очистного забоя конвейерным и вентиляционным штреком комплекс разворачивают на 23° . При этом комбайн переместившись на 20-25 м от конвейерного штрека, останавливается, производится задвижка конвейера на длине 15 м. Затем комбайн двигаясь в противоположном направлении, зарубается и останавливается, конвейер

задвигается на длине 30 м от конвейерного штрека. При движении вверх комбайн снимает стружку угля и осуществляется передвижка секций крепи. Остановившись в 35-40 м от конвейерного штрека, комбайн, двигаясь вниз, зачищает лавы. Затем он перемещается в направлении к вентиляционному штреку на 20-25 м и, остановившись, начинают задвижку нижней части конвейера на длине 15 м. Двигаясь вниз, комбайн зарубается в пласт и останавливается, производится передвижка лавного конвейера на 15 м длиннее предыдущей и цикл повторяется до тех пор, пока комбайн не дойдет до вентиляционного штрека. За это время подвигание лавы у конвейерного и вентиляционного штрека соответственно составит 4,0 и 0,5 м. Перечисленные операции выполняются до полного разворота комплекса.

Разворот механизированного комплекса, имеющего агрегатную связь конвейера с лавной крепью, был выполнен на шахте "Капитальная", (рис. 5.20).

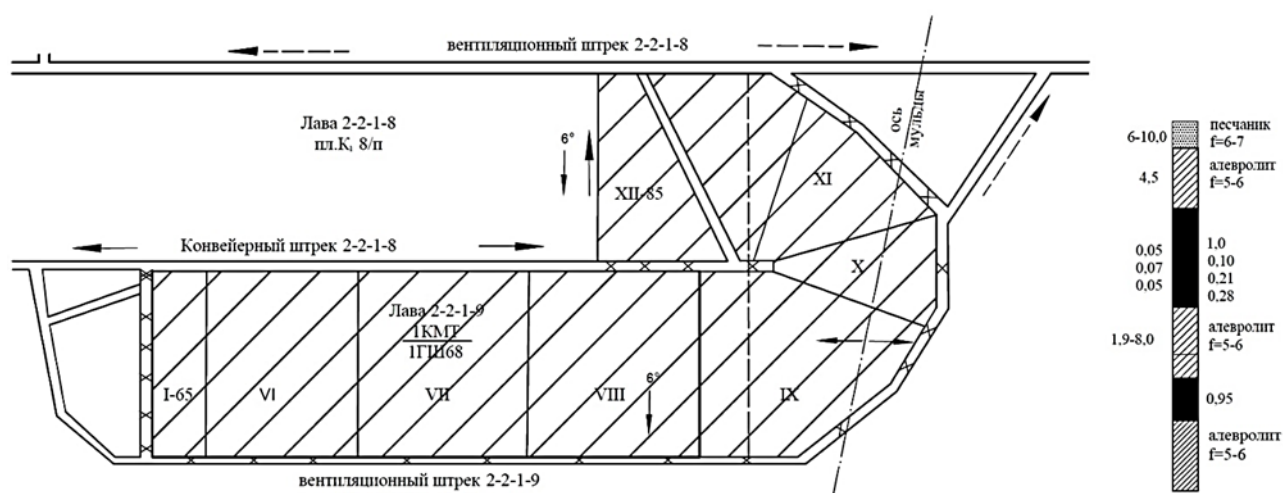


Рис. 5.20- Схема разворота комплекса КМТ. Шахта «Капитальная»

В комплексе 1КМГ забойный конвейер является жесткой базой, по которой не только перемещается очистной комбайн 1ГШ68, но и к которой домкратами передвижения присоединены лавные секции крепи.

Длина лавы 130 м. Лавы № 2-2-1-9 отрабатывается на длине 350 м к западной границе блока № 2, при этом конвейерный штрек сохраняется на полное сечение за счет дополнительного крепления деревянным органом рядом с усилением гидравлическими стойками (внешнего питания) в зоне влияния

опорного давления. После разворота комплекса этот штрек используется в качестве конвейерного штрека лавы № 2-2-1-8.

Расчетами определена длина косо́й полосы, равная 17,1 м, и количество полос в цикле - 7,6. На основании этого было принято в проекте 7 полос, длиной по 18 м или по 15 секций.

Технологией работ предусматривалась передвижка секций крепи после взятия последней стружки. Комбайн после зачистки дорожки устанавливался в 18 м от фланга. Забойный конвейер на этой длине передвигается диагонально, а на остальном протяжении остается не передвинутым на ширину захвата. Передвигаясь по диагональному участку конвейера, комбайн производит выемку.

Секции крепи передвигаются вслед за комбайном. При обратном ходе дорожка зачищается и комбайн останавливается в 36 м от шлангов. Конвейер на первой полосе передвигается к забою, а на второй диагонально. Последующие полосы вынимаются аналогично.

В связи с высоким газовыделением, проветривание осуществлялось для лавы 2-2-1-9 по вентиляционному штреку с исходящей по конвейерному штреку, а после разворота лаза 2-2-1-8 свежую струю воздуха стала получать с конвейерного штрека. Кроме того, на участке применяется дегазация пласта и выработанного пространства, юсом метана вакуум-насосами.

Разворот комплекса КМТ осложнялся наличием мульды в зоне разворота, при переходе которой секции крепи МТ зажимало по перекрытиям, а на границах мульды между перекрытиями образовывались зазоры, в которые просыпалась порода ложной кровли. Имелись случаи отрыва болтов крепления стоек к основаниям крепи МТ, кроме того, большим недостатком является рессорное крепление козырьков.

В ходе разворота поломано 15% рессор поддержания козырьков крепи, что отрицательно сказывалось на работе комплекса.

5.4. Рекомендации по выбору рациональных параметров технологических схем очистных работ при движении забоя по криволинейной траектории

Результаты проведенных исследований технологических схем ведения очистных работ при движении очистного забоя по криволинейной траектории позволили разработать ряд требований, направленных на повышение экономической эффективности их применения [158]. Эти требования касаются широкого круга вопросов, связанных с выбором рационального варианта технологии угледобычи при движении забоя по криволинейной траектории. Экономическая эффективность применения технологических схем в значительной мере определяется их параметрами, поэтому выбор рациональных параметров является важнейшей задачей при разработке технического проекта [159].

В работе при помощи методов инженерного анализа, математического моделирования и методов математической статистики исследованы параметры технологических схем очистных работ при движении забоя по криволинейной траектории и влияние на них напряженно-деформированного состояния углепородного массива.

Для повышения эффективности применения технологических схем с движением комплексов по криволинейной траектории при их разработке и осуществлении необходимо выполнить ряд требований [160]:

1. Для успешной отработки угольных пластов с применением технологических схем движения забоя по криволинейной траектории должна быть проведена тщательная инженерно-техническая подготовка, заключающаяся в разработке всесторонне обоснованного технического проекта. В проекте должны быть предусмотрены все основные мероприятия, способствующие успешному и безопасному проведению работ по добыче угля.

2. При подготовке участка, где планируется применение технологической схемы угледобычи, к проводимым выработкам предъявляются требования с точки зрения сечения, крепления и их расположения по отношению к

отрабатываемому пласту. Изучаются свойства вещающих пород с целью определения возможного их поведения при ведении очистных работ.

3. При разработке проекта необходимо учитывать, что при движении очистного механизированного комплекса по криволинейной траектории подвижный «плавающий» центр будет перемещаться по окружности, радиуса (R), которой определяется по предложенной формуле. Варьируя количество циклов, производимых между выемкой полных полос угля, можно изменять радиус окружности «плавающего центра» или придавать ему форму эллипса.

При расчете радиуса перемещения «плавающего центра» необходимо учитывать, что его увеличение связано с увеличением поддерживаемой площади подвижного центра по закону $S \sim R^2$ поэтому радиус (R) целесообразно выбирать таким образом, чтобы он вписался в ширину пройденного штрека (3-4 м).

4. В процессе движения комплекса по криволинейной траектории над выработкой «плавающего центра» возникает зона повышенных напряжений. При развороте коэффициент концентрации напряжений в зависимости от радиуса (R) достигает 3,6-4,0. Поэтому при разработке проекта необходимо проверка соответствия прочностных характеристик угля и боковых пород абсолютным значениям возникающих напряжений. В случае угрозы разрушения углепородного массива необходимо предусмотреть специальные методы его упрочнения или изменить технологическую схему.

Оставление в центре разворота при большом радиусе «плавающего центра» угольного целика является нецелесообразным, т.к. его наличие приведет к дополнительному повышению концентрации напряжения.

5. При разработке паспорта крепления «плавающего центра» необходимо учитывать, что применение арочных металлических и бетонных крепей, а также механизированных крепей сопряжений нецелесообразно, т.к. первые затрудняют ведение концевых работ в условиях постоянного изменения ориентации очистного забоя в условиях движения комплекса по криволинейной траектории, а вторые при их использовании вызовут увеличение отрицательного эффекта «топтанья» кровли.

Наиболее целесообразными видами крепи «плавающего центра» являются: индивидуальный гидростойки с повышенной несущей способностью; устанавливаемые под металлические верхняки деревянные стойки и костры; анкерная крепь; крепление, основанное на химическом укреплении пород кровли, а также крепление, основанное на комбинации вышеперечисленных видов.

6. При развороте очистного забоя целесообразно также выкладывание бутовой полосы или заполнение выработанного пространства в зоне центра разворота быстротвердеющим закладочным материалом.

Установку металлических верхняков в «плавающем центре» рекомендуется производить в направлении, перпендикулярном направлению естественного кливажа пород основной и непосредственной кровли.

7. Проходку и крепление «плавающего центра» необходимо производить до подхода зоны влияния очистных работ (расстояние 150-200 м до лавы). При этом крепление «плавающего центра» осуществлять не по схеме проходки выработки, а по схеме, предусматривающей усиление крепления на период движения комплекса по криволинейной траектории. Это позволит избежать предварительных расслоений кровли выработки в зоне «плавающего центра».

При проходке «плавающего центра» не рекомендуется оставлять в кровле пачку угля, а также неустойчивую ложную кровлю. Не рекомендуется также проходить «плавающий центр» с подрывкой непосредственной кровли.

Наибольшая скорость смещения пород кровли в «плавающем центре» ожидается в период совпадения линии очистного забоя с направлением естественного кливажа.

8. При совпадении линии очистного забоя с направлениями естественного кливажа по лаве будет наблюдаться повышенный отжим угля, поэтому на этом этапе необходимо предусмотреть специальные мероприятия, предохраняющие угольный забой от неконтролируемого разрушения:- крепление забоя деревянными анкерами, химическое укрепление угля.

9. При выборе длины лавы и расчете скорости подвигания необходимо иметь ввиду, что при высоких скоростях подвигания ее фланга, обрушение пород основной кровли происходит блоками специфической треугольной формы. При длине лавы более 180 м и шаге обрушения по обводной выработке более 50 м коэффициент концентрации напряжений в зоне сопряжения лавы с обводной выработкой достигает 2-2,5. В случае высокого геостатического давления это приводит к разрушению краевой части угольного пласта. Кроме того, обрушение консоли пород основной кровли при совпадении линии очистного забоя с направлением естественного кливажа вмещающих пород приводит к скачкообразному возрастанию нагрузок на механизированную крепь, поэтому длину лавы и скорость ее подвигания необходимо корректировать с учетом конкретных горно-геологических условий.

10. При подготовке проекта в разделе «Технология и организация работ» необходимо обоснование, перечень и порядок работ при очистной выемке. В этом же разделе приводятся рекомендации по рациональной расстановке и организации труда рабочих очистного забоя при выполнении отдельных операций добычного цикла.

В разделе мероприятий по безопасному ведению очистных работ необходимо отметить, что наиболее опасным участком при движении комплекса по криволинейной траектории является зона «плавающего центра», а при большом шаге обрушения и зависании консоли пород основной кровли также и зона сопряжения лавы с обводной выработкой.

Исходя из требований рационального использования недр, а также экономической целесообразности следует стремиться к минимальным потерям угля при ведении очистных работ по технологической схеме с движением забоя по криволинейной траектории, поэтому в проекте должно быть заложено такое расположение горных выработок, при котором потери угля в краевых частях выемочного поля были бы минимальными. Для уменьшения потерь угля возможно применение частичного монтажа (демонтажа) и изменения в процессе ведения очистных работ длины лавы.

Разработанные требования и рекомендации были использованы при разработке технического проекта отработки выемочного поля с разворотом очистного механизированного комплекса КК-2743-OZ («Пиома») на пласте «Надбайкаимский» из лавы № 11-113 в лаву №11-114 на ш. «Полысаевская» ПО «Ленинскуголь» (рис. 5.21).

Длина лавы при развороте в соответствии с разработанными рекомендациями, учитывая возможность образования консоли пород кровли, а также исходя из технико-экономических требований, была принята равной 121,5 м.

Радиус «плавающего центра», исходя из ожидаемых смещений пород кровли и возможностей комплекса разворачиваться на месте без дополнительной правки секций крепи, был принят равным 2,5 м.

Технология возведения крепления в центре разворота была следующей.

Перед началом разворота комплекса часть конвейерного штрека №11-113, относительно которой производился разворот, была перекреплена на длине 15 м. Для перекрепления использовалась металлическая сетка, которая поджималась металлическими верхняками из ШБ-10 при помощи гидростоек ГС. После перекрепления под консоли верхняков устанавливались два ряда подхватов из распила $l=3,9$ м на пяти стойках диаметром 0,2 м., установленных с шагом 0,5 м. Кроме вышеперечисленных мероприятий для усиления «плавающего центра» были установлены гидравлические стойки SHC-40. Для предотвращения расслоения пород непосредственной кровли были установлены металлические анкера длиной 2,2 м с шагом 0,5 м.

Исходя из допустимой скорости подвигания очистного забоя, средняя нагрузка по добыче на очистной забой была принята равной 1275 т/сут. При проходке очистного забоя к линии естественного кливажа нагрузка на очистной забой была уменьшена на 400 т/сут до обрушения консоли пород основной кровли. При обрушении консоли пород основной кровли увеличение горного давления на секции механизированной крепи было незначительным.

Состояние «плавающего центра» в процессе разворота было удовлетворительным. Смещения пород кровли были близки к расчетам, погрешность составила не более 10-15%.

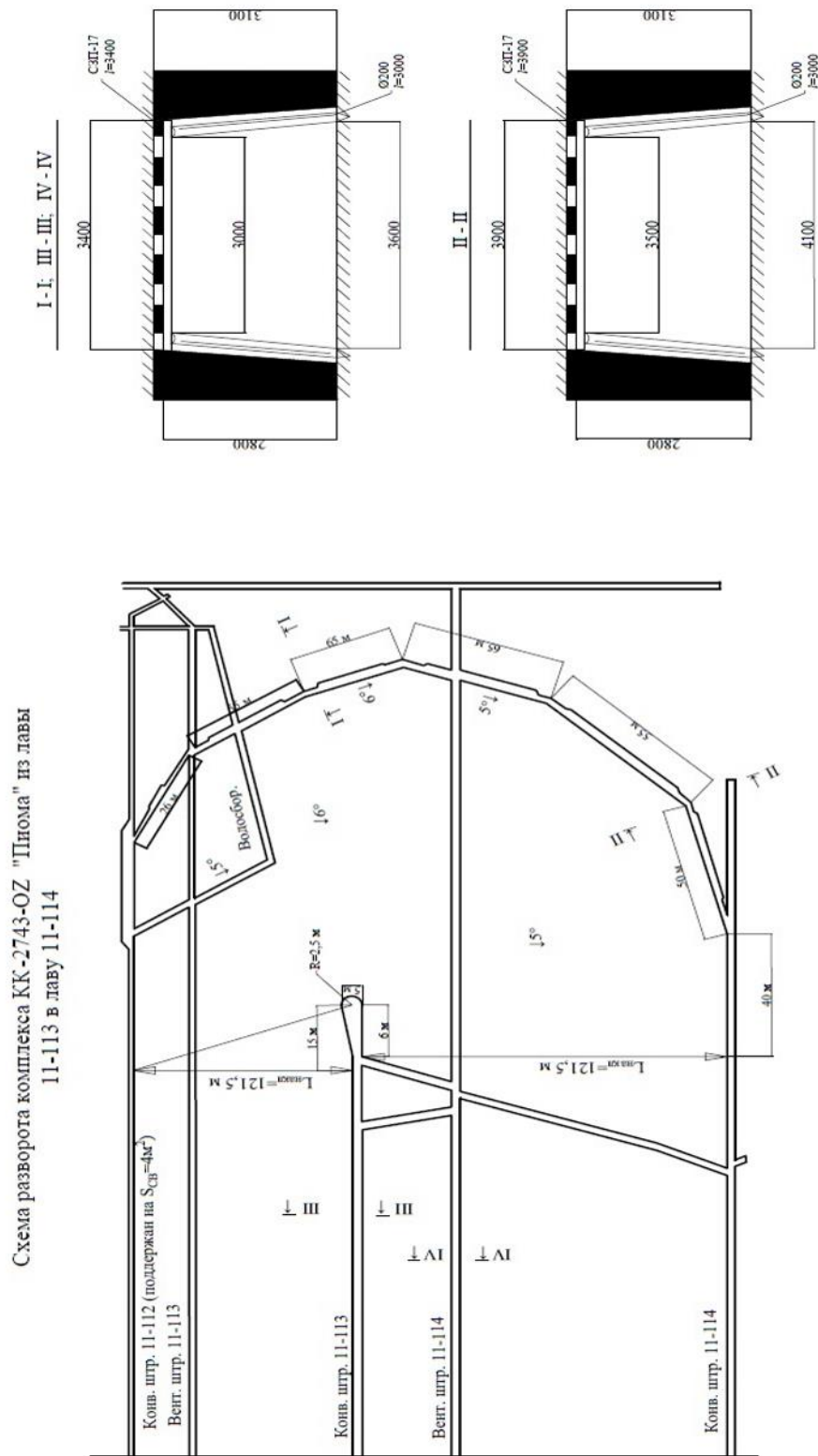


Рис. 5.21- Технический проект обработки выемочного поля с разворотом очистного механизированного комплекса КК-2743-ОЗ («Пиома») на пласте «Надбайкаимский»

ВЫВОДЫ

1. Выявлено, что в процессе отработки выемочных столбов могут быть выделены следующие состояния в работе комплексов: доставка комплекса к месту монтажа, монтаж, ожидание окончания других работ на участке, развитие добычи в выемочном столбе, стабильная работа, затухание добычи при доработке выемочного столба, ожидание демонтажа, демонтаж. Доказано, что отдельные из этих состояний могут быть исключены при внедрении технологии отработки выемочных полей с разворотом комплексов. В этом случае при отработке коротких столбов, длиной 400-500 м, коэффициент непрерывного использования увеличивается с 0,79 до 0,86, то есть на 20%, а время отработки запасов сокращается 20-25%.

2. Разработаны принципы конструирования технологических схем очистных работ при движении плоскости забоя по криволинейной траектории без разрывов во времени и пространстве технологических процессов добычи, главным из которых является комплексность решения всех процессов, связанных с ведением очистных и подготовительных работ в пределах выемочного поля.

3. Разработана теория технологических схем отработки выемочных полей с разворотом механизированных комплексов, в основу которой положено три признака: технологические схемы подготовки выемочных полей, технологические схемы разворота и технология разворота.

4. Разработаны новые варианты технологических схем с разворотом комплексов, обеспечивавшие благоприятные условия взаимодействия крепи с боковыми породами в центре разворота и значительное сокращение потерь в угловых частях выемочных столбов. Установлено, что вынос центра разворота за пределы длины лавы, его смещение к границе выемочного столба и движение центральной секции по дугообразной траектории позволяет сконструировать наиболее рациональный вариант технологической схемы.

ГЛАВА 6. ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ

6.1. Анализ исследований взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами при развороте и обоснование метода математического моделирования для расчета напряженно- деформированного состояния массива горных пород

Анализ экспериментальных исследований распределения нагрузок на крепь очистного забоя при развороте выявил ряд закономерностей [161]. Полученные зависимости распределения нагрузок на крепь очистного забоя (рис.6.1) 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 $70-115^\circ$, 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 раз.

Аналогичные исследования в свое время были проведены и на шахте «Распадская». Динамика нагружения секций крепи 4КМ-130 при развороте лав 4-7-16 и 4-7-14, расположенных у обводной выработки (секции № 22,23), в середине лавы (секции № 59, 60) и у центра разворота (секции № 96, и 98) приведена на рис. 6.2.

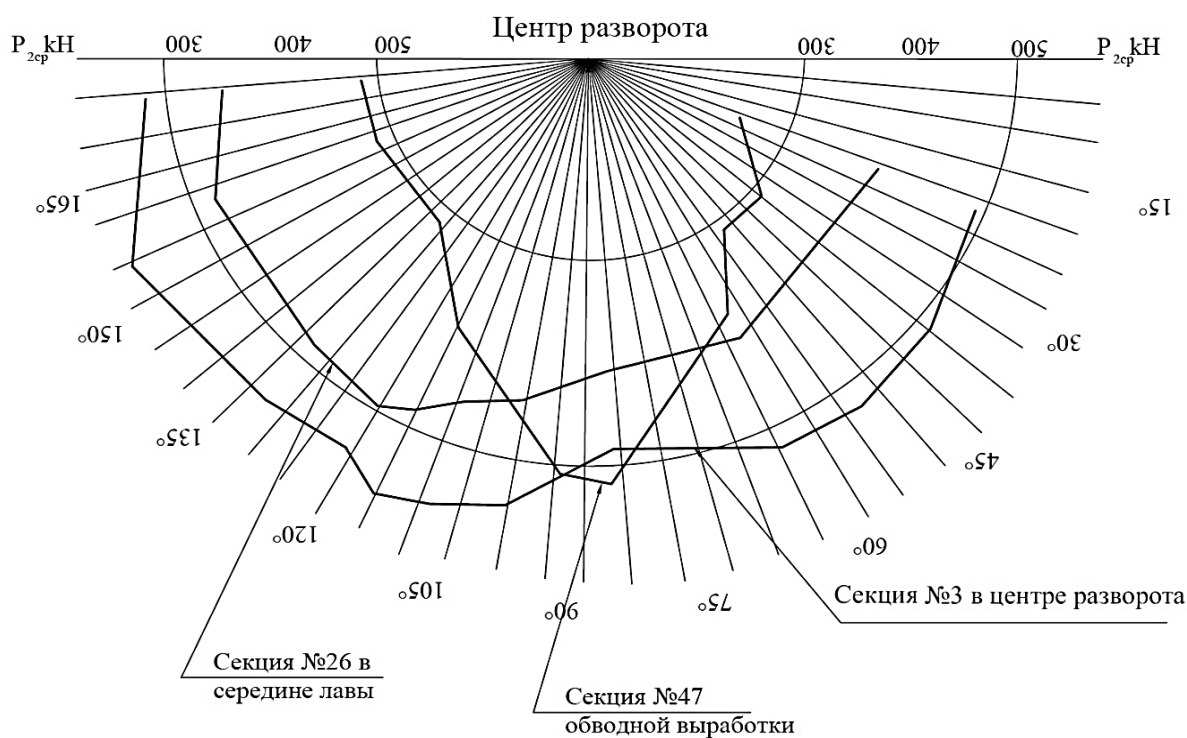


Рис. 6.1- Нагрузки на крепь очистного забоя

Сравнение максимальных нагрузок, испытываемых крепями на прямолинейных участках и участках разворота, показывает следующее.

На участке лавы, примыкающей к обводной выработке, максимальные нагрузки 1000-1200 кН на посадочные гидростойки зафиксированы при углах поворота лавы 80-87°, 125-130° и 162-165°. При других углах поворота лавы нагрузки колебались от 500 до 800 кН. На прямолинейном участке, до разворота, средние и максимальные нагрузки составляли 1000 кН, а после разворота 1000-1200 кН: можно отметить, что в среднем, секции крепи у обводной выработки на всем периоде разворота испытывают нагрузки на 30-40% ниже, чем на прямолинейном участке.

Результаты замеров нагрузок в центре лавы (рис. 6.2, рис. 6.3) показывают, что максимальные нагрузки превышают нагрузки, испытываемые крепями у обводной выработки. Причем, если при углах поворота лавы 27°, 39-43°, 51-54° только посадочные стойки секции № 96 нагружались до 1400-1500 кН, то при

углах поворота $96-118^\circ$ посадочные гидростойки всех трех секций № 96, 97 и 98 нагружались до 1400 кН. Следует также отметить, если при развороте секции крепи испытывали нагрузки в среднем 600-800 кН, то на прямолинейном участке эти секции работали на уровне 1200 кН до разворота и 1300 кН после разворота.

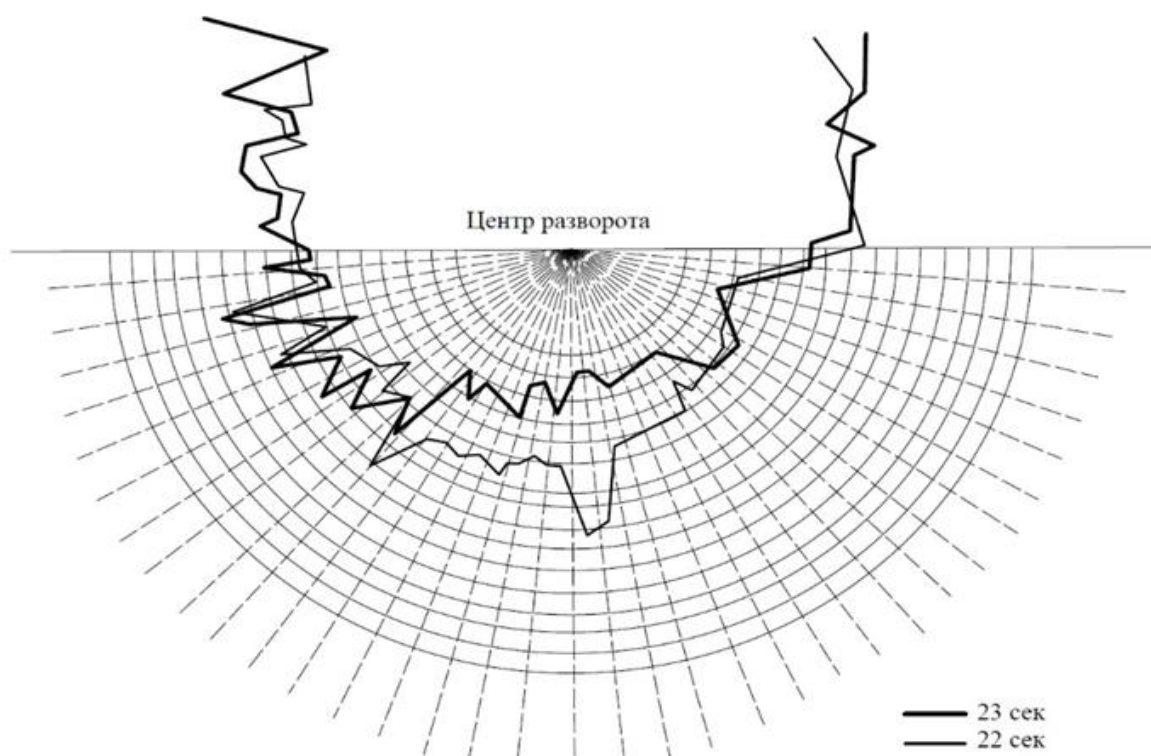


Рис. 6.2 -Динамика нагружения посадочных гидростоек секций №22 и №23 расположенных у обводной выработки

В середине очистного забоя нагружение рядом расположенных секций при развороте неодинаково. Первоначально более высокие нагрузки испытывали секции № 58 и 60. На углах поворота лавы $0-63^\circ$ посадочные стойки секции № 58 нагружались усилием 900-1300 кН, а при углах поворота $0-63^\circ$ нагрузки изменялись в диапазоне 600-1000 кН, при дальнейшем повороте они не превышали 500 кН. Секция №59 при углах поворота лавы $0-75^\circ$, в среднем, была нагружена усилием 600 кН, а при повороте лавы на угол, превышающий 75° , средние нагрузки равнялись 1100-1200 кН. Как и в центре разворота, в этом случае на углах $105-110^\circ$ крепь испытывала повышенное давление.

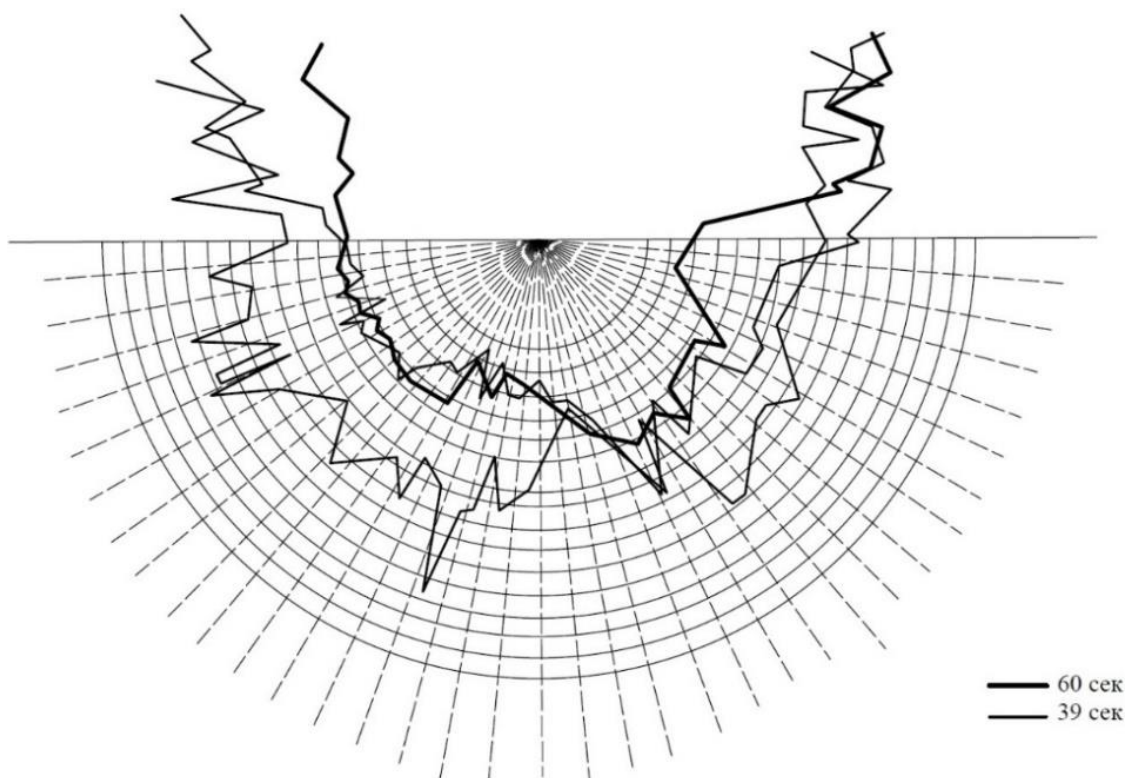


Рис 6.3 - Динамика нагружения посадочных гидростоек секций №39 и №60 расположенных в середине лавы

Таким образом, можно сделать вывод, что в процессе разворота секции механизированной крепи в центре лавы, у точки разворота и у обводной выработки нагружаются усилием на 20-40% ниже, чем на прямолинейном участке.

Максимальные нагрузки секции крепи на прямолинейных участках, где практически все рядом расположенные секции нагружались равномерно.

При развороте комплекса происходит, волнообразное изменение уровня нагрузок. Период возрастания и падения нагрузок, связанный с обрушением пород кровли, на первом этапе при повороте лавы на $40-50^\circ$, в среднем, составляет: $12-20^\circ$ в середине лавы, $20-30^\circ$ у обводненной выработки и 15° в центре разворота.

Амплитуда изменения нагрузок на рассматриваемом участке лавы составляет 100-300 кН в середине лавы, 100-300 кН у обводной выработки и 100-600 кН в центре разворота. На участке разворота свыше 50° период колебаний

максимальных и минимальных нагрузок уменьшается и составляет $2-15^\circ$ в середине лавы, $9-20^\circ$ у обводной выработки и $6-15^\circ$ в центре разворота. Амплитуда изменения нагрузок на этом участке также изменяется более резко: 200-700 кН в середине лавы, 100-600 кН у обводной выработки и 200-900 кН в центре лавы.

Анализ зависимостей (рис. 6.4) показывает, что при развороте лавы по восстанию на угол более $90-100^\circ$ процесс нагружения секций крепи активизируется, в ряде случаев величина нагрузок на крепь превышает нагрузки на прямолинейном участке. При этом интенсивно проявляется отжим.

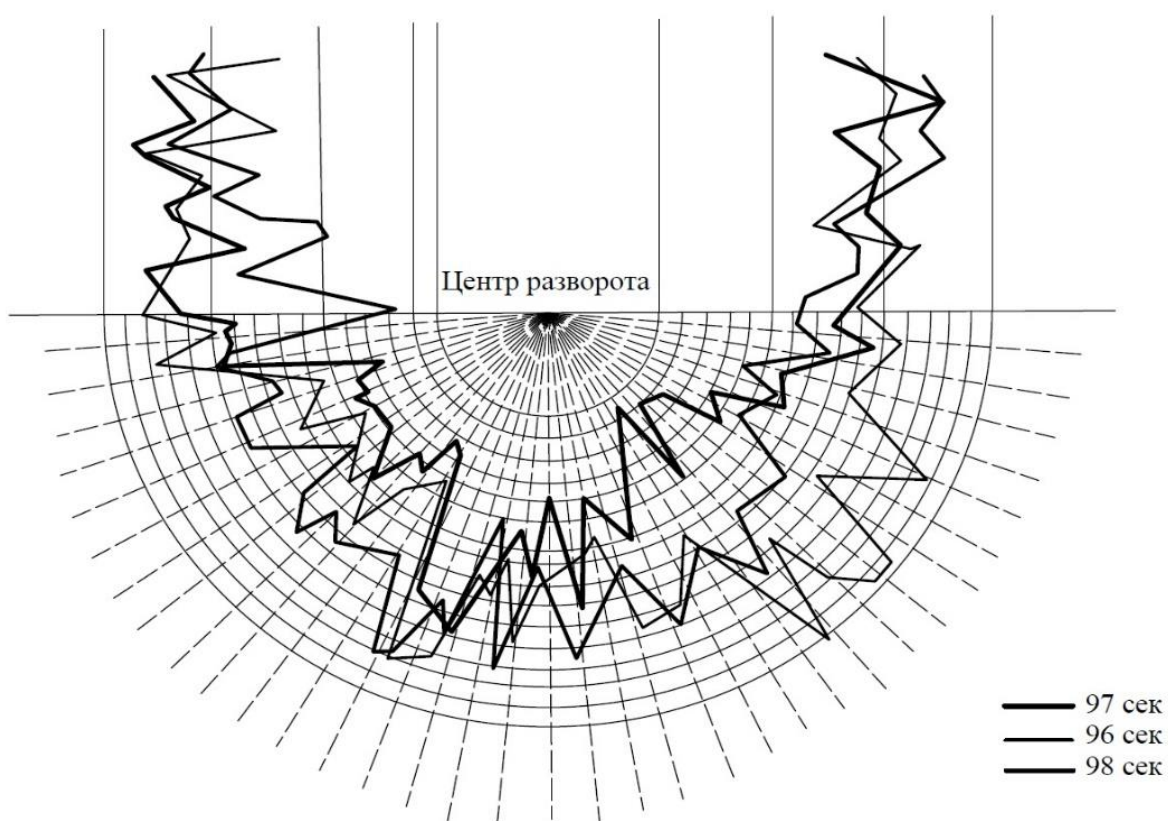


Рис. 6.4 - Динамика нагружения секций крепи 4КМ-130 расположенных вблизи центра разворота

На рисунке 6.5 приведена динамика нагружения секций № 97. Анализ показывает, что при подходе лавы к участку разворота нагрузка на крепь уменьшается с 2000 кН до 1500 кН при угле поворота $0-3^\circ$, затем, после

возрастания ее до 1700 кН, она продолжает уменьшаться, и на участке 24-54° крепь работает на уровне 500-900 кН.

При дальнейшем развороте нагрузка на крепь увеличивается, достигая максимальных значений 1500-1800 кН при углах поворота 96-111°. При 120° она вновь падает до 500 кН и далее она уже не превышает 1400 кН. При завершении разворота и работе лавы на прямолинейном участке вновь происходит увеличение нагрузки с 1000 до 1700 кН.

Приведенные результаты нагружения секции № 97 вблизи центра разворота свидетельствуют о том, что максимальная нагрузка на прямолинейном участке на 200-300 кН выше максимально зафиксированных на участках разворота.

Все это приводит к тому, что площадь обнажения кровли у обводной выработки в десятки раз превышает площадь обнажения кровли у центра разворота.

Следует также отметить, что угол между лавой и подготовительной выработкой в центре разворота превышает 90° и по мере поворота лавы постоянно возрастает. У обводной выработки этот угол превышает 90°. Поэтому характер защемления пород на концевых участках лавы резко отличается. Проведенные исследования позволили установить влияние угла поворота лавы на шаг обрушения основной кровли.

Как видно из рисунка 6.6, при повороте лавы на угол до 70° шаг обрушения кровли у обводной выработки составляет 44-52 м. При углах поворота 84, 100 и 112° он уменьшается соответственно до 36, 28 и 20 м. При углах поворота лавы 115-180° шаг обрушения остается на уровне 15-22 м, у центра, в процессе поворота лавы от 0 до 180°, шаг обрушения остается на уровне 4-7 м.

В середине лавы, при ее развороте на угол до 33°, шаг обрушения оставался на уровне 24 м, затем при углах 46, 58 и 61° он снизился соответственно до 10, 7 и 4 м. В дальнейшем эта величина колебалась в диапазоне 6-18 м.

На первых этапах разворота происходит снижение величины шага обрушения кровли и при углах более 110° он стабилизируется на уровне 20 м у обводной выработки и 15 м в середине лавы.

Приведенное на рисунках 6.7, 6.8 распределение нагрузок на крепь очистного забоя по его длине при различных углах поворота показывает, что в отличие от прямолинейного участка при развороте отмечается чередование максимальных и минимальных значений нагрузок на разных участках лавы. При 0° максимально нагружены секции в середине лавы.

По мере поворота лавы на угол до 6° нагрузки на крепь у обводной выработки снижаются с 900 до 750 кН, а у центра разворота возрастают до 1000 кН. В середине лавы происходило снижение нагрузки до 780 кН.

При повороте лавы на угол до 24° происходит дальнейшее снижение нагрузок на крепь у обводненной выработки до 400 кН, а в центре разворота она повышается.

Таким образом, можно сделать вывод, что характер взаимодействия крепи с породами при развороте на разных участках лавы по мере изменения угла поворота постоянно меняется.

Различный характер распределения давления может быть объяснен влиянием принятой технологии, при которой участки лав, примыкающие к обводной выработке, подвигаются со скоростями, превышающими скорости подвигания забоев на прямолинейных участках.

В середине лавы эти скорости значительно меньше и у центра разворота в десятки раз меньше. Кроме того, в центральной части разворота многократно проявляется эффект "топтания" кровли.

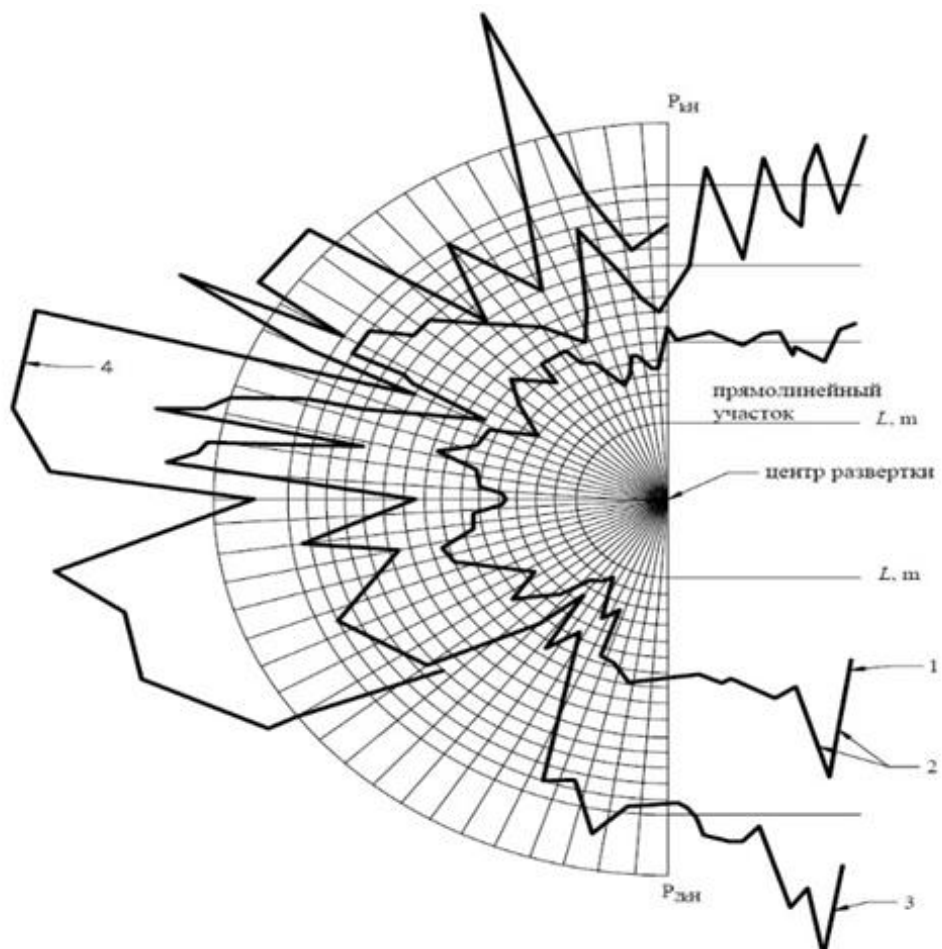


Рис. 6.5 - Динамика нагружения забойных и посадочных гидростоек секции №97, расположенной вблизи центра разворота
 1,2 – реакции P_2^{CR} соответственно забойных и посадочных гидростоек секции №97; 3 – реакция P_2^{CR} секции №97; 4 – реакция P_3^{MAX} секции №97

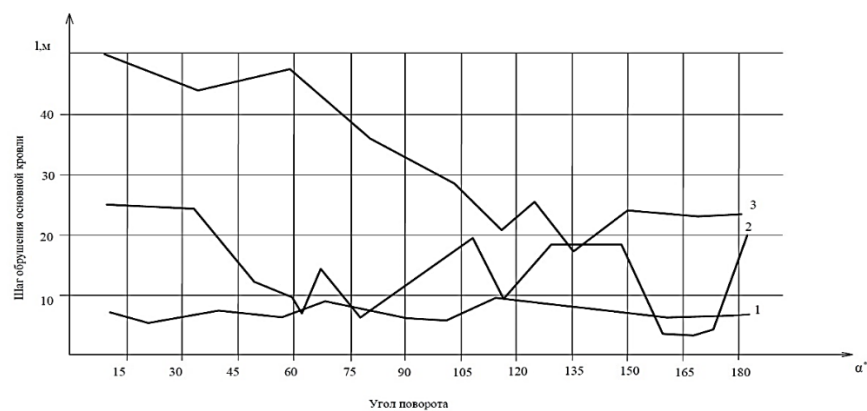


Рис. 6.6 - Динамика шагов обрушения основной кровли при развороте лавы по восстанию (лава 4-7-14, 4-7-16) шахта «Распадская»

1,2,3 – шаги обрушения кровли соответственно на расстояниях 2068 и 112 м от центра разворота

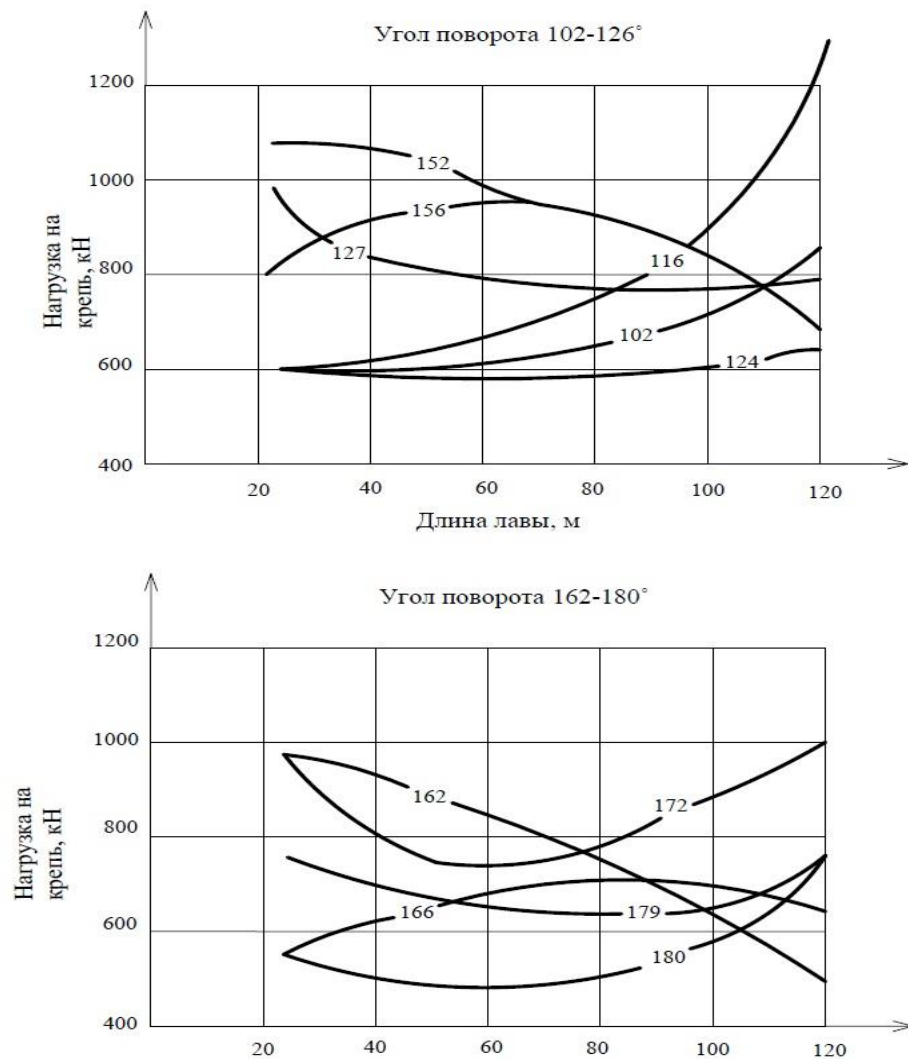


Рис. 6.7 - Распределение нагрузок на секции крепи по длине лав 4-7-14 и 4-7-16 в процессе разворота

Характерные циклограммы нагружения секций механизированной крепи при развороте и на прямолинейном участке приведены на рис. 6.9, рис. 6.10, рис. 6.11. Анализ показывает, что отдельные секции, примыкающие к центру разворота испытывают нагрузки меньше, чем эти же секции на прямолинейном участке. Режим взаимодействия секций резко отличаются. При развороте в 3-4 раза увеличивается частота операций по распору и снятию распора секций, что отрицательно сказывается на состоянии кровли. Однако, на этих же участках в 3-4 раза выше скорость подвигания забоя по сравнению с прямолинейным

участком, что компенсирует негативное воздействие эффекта "топтанья" кровли.

Аналогичные исследования были выполнены при развороте лав и 4-7-18 и 4-7-20 при их движении в направлении линии падения пласта. Силовые параметры секций механизированной крепи М130 в период разворота лавы на рисунках 6.12-6.13. Необходимо отметить, что несмотря на то, что гидростойки крепи работали с большими нагрузками, эти нагрузки не превышали максимально допустимые. Анализ приведенных на рисунках 6.12-6.13 зависимостей показывает, что максимальные нагрузки секции крепи испытывают при повороте лавы на угол более 90-100°. Как и в случае поворота лавы 4-7-16, нагрузки на крепь при развороте не превышали нагрузок на прямолинейном участке.

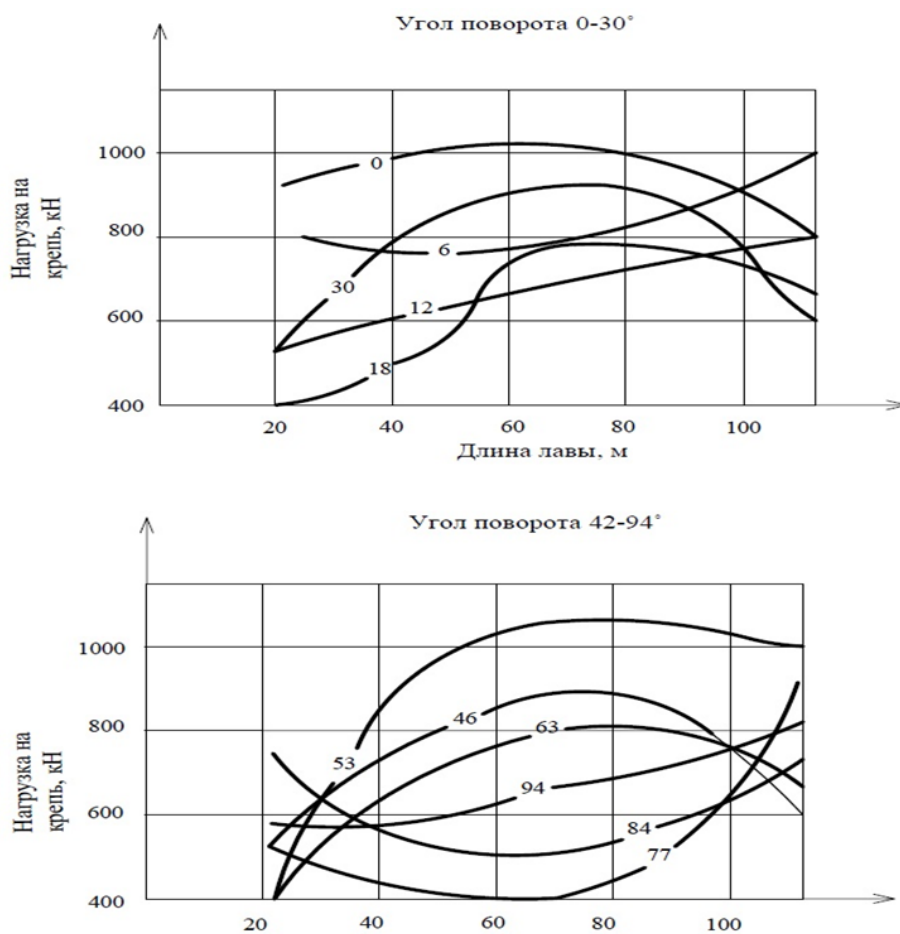
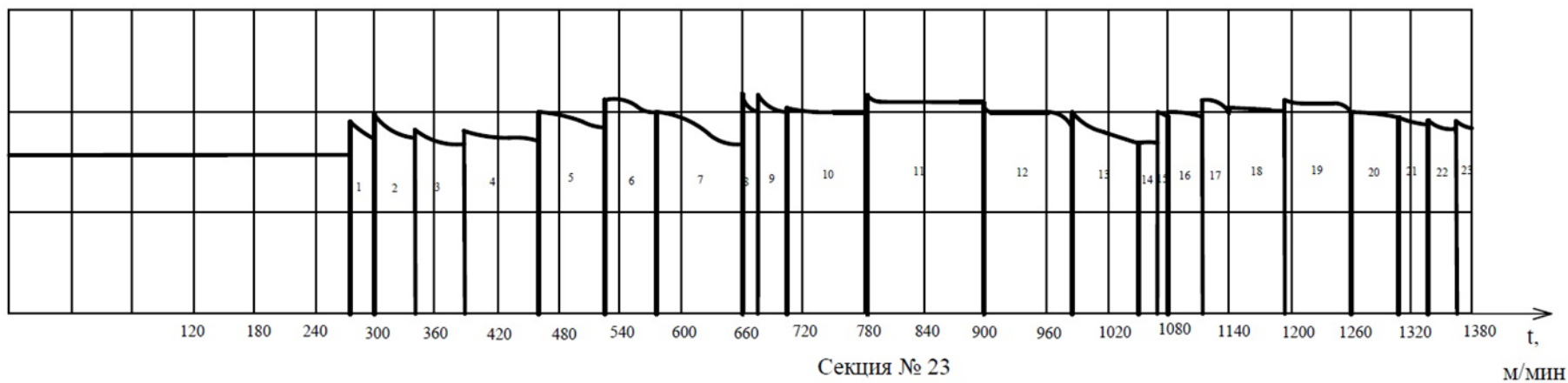


Рис. 6.8 - Распределение нагрузок на секции крепи по длине лав 4-7-14 и 4-7-16 в процессе разворота

Секция № 23
 передний ряд на участке разворота комплекса на 108°



Секция № 23
 посадочный ряд

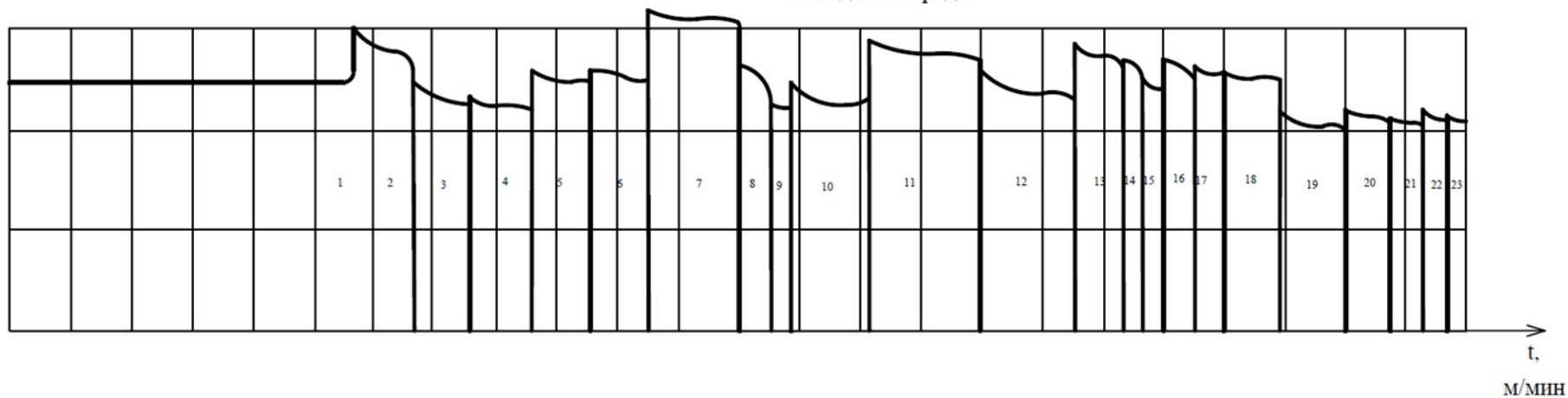
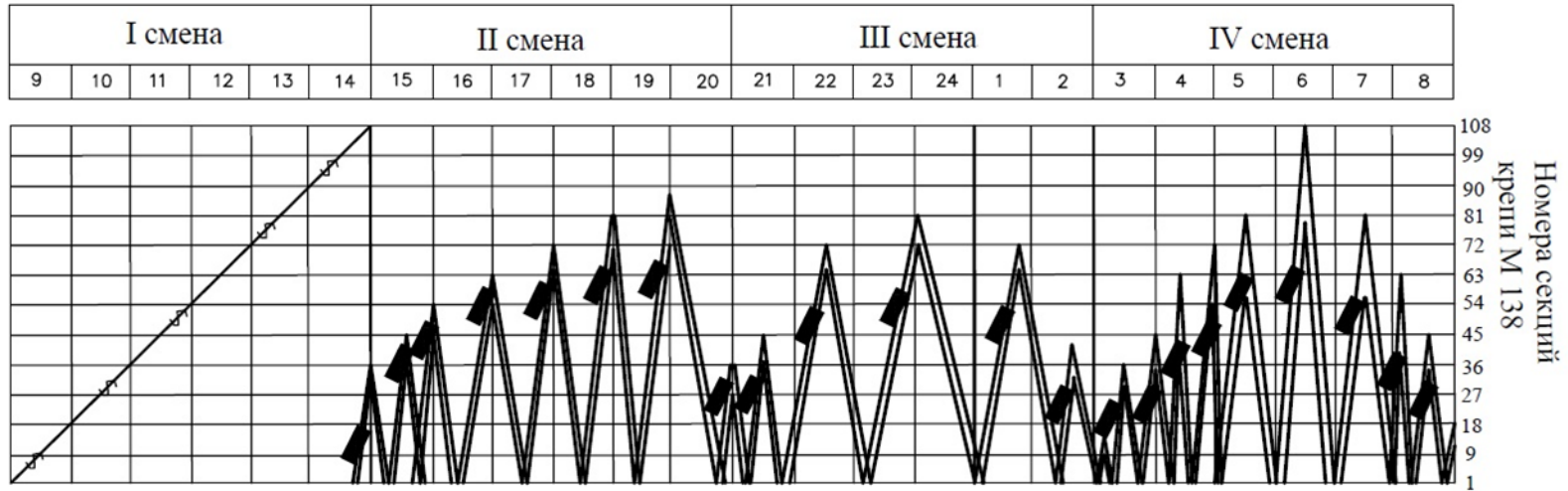


Рис. 6.9 - Динамика нагружения секции крепи при выполнении основных операций выемочного цикла (на прямолинейном участке и развороте)

$$A_{\text{сут}} = 2730 \text{ Т/см} \quad \alpha = 114^\circ$$

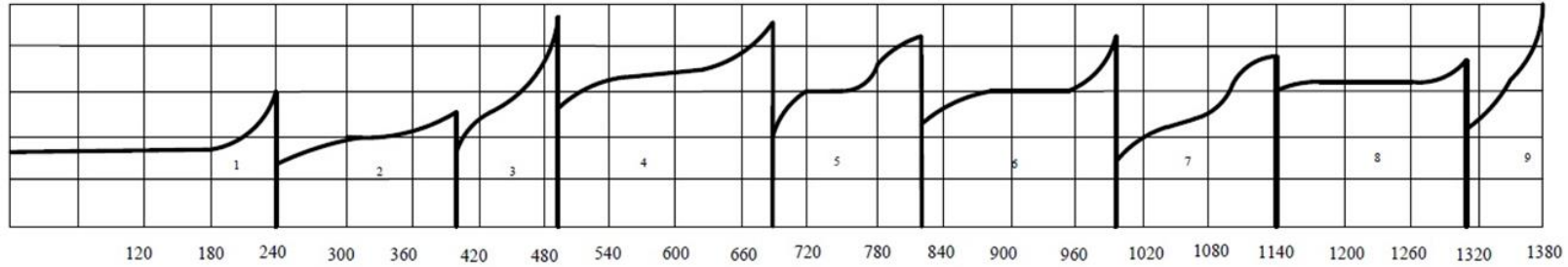


Секция № 23
передний ряд прямолинейный участок



Рис. 6.10 - Динамика нагружения секции крепи при выполнении основных операций выемочного цикла (на прямолинейном участке и развороте)

Секция № 23
посадочный ряд



I смена					II смена					III смена				IV смена									
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8

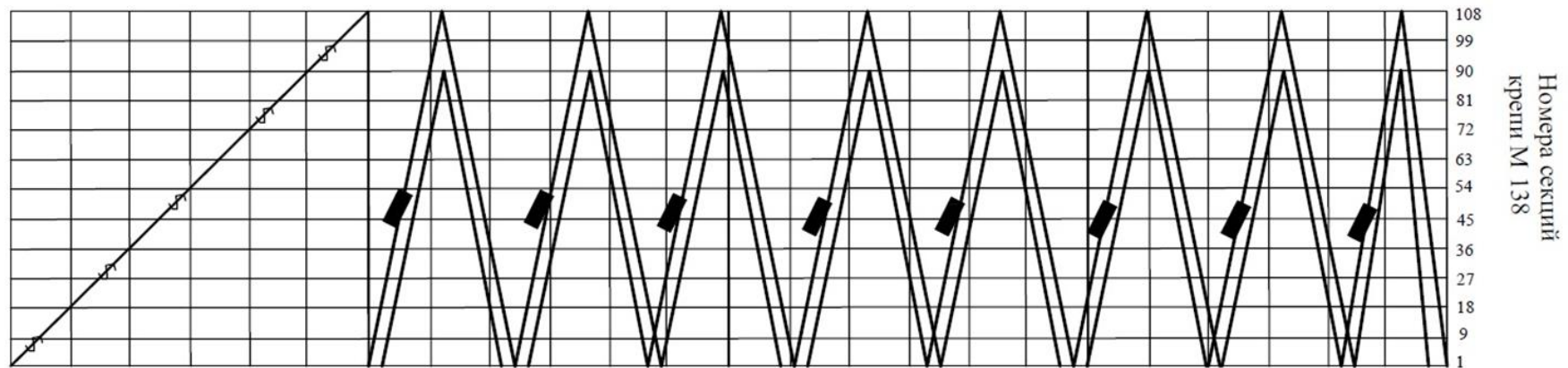


Рис. 6.11 -Динамика нагружения секции крепи при выполнении основных операций выемочного цикла (на прямолинейном участке и развороте)

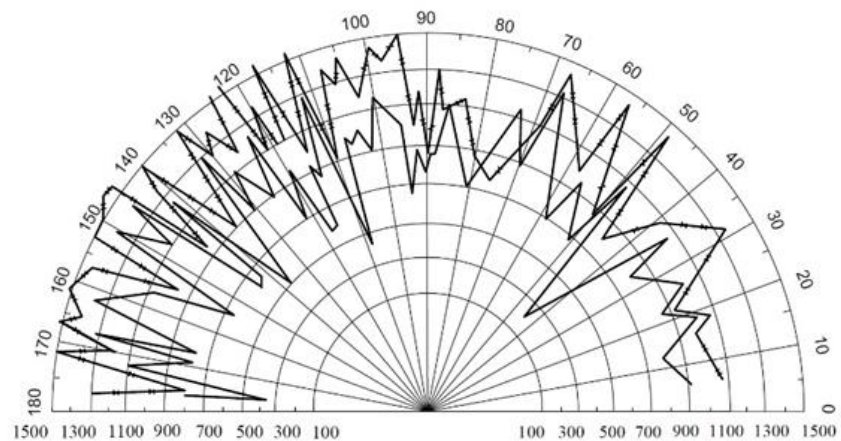


Рис. 6.12 - Динамика нагружения секции крепи 4KM-130 при развороте лав

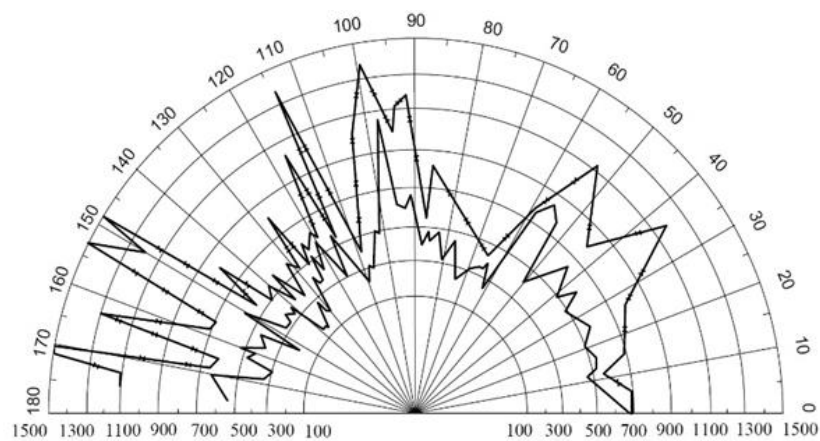


Рис. 6.13 - Динамика нагружения секции крепи 4KM-130 при развороте лав

Анализ основных существующих гипотез и методов расчета горного давления при ведении очистных работ показал явную ограниченность возможности адаптации и применения какой-либо одной из них к определению напряженно-деформированного состояния массива горных пород при движении забоя по криволинейной траектории [162].

Как показали экспериментальные исследования при реализации разворотов очистного забоя происходит формирование консоли пород кровли специфической треугольной формы. В основном, это связано с повышением скорости подвигания фланга очистного забоя, изменением характера защемления концевой части консоли пород кровли и увеличением шага обрушения кровли.

Интенсивных расслоений непосредственной и основной кровли у фланга лавы не обнаружено, а смещение консоли пород кровли на линии очистного забоя имело небольшой конечный размер. По существу, консоль пород основной кровли у фланга очистного забоя можно представить в виде определенного штампа, обладающего определенными физико-механическими свойствами и формирующего определенную нагрузку на концевую часть угольного пласта и механизированную крепь очистного забоя.

Небольшой конечный размер смещений позволяет ставить задачу о давлении консоли пород в упругой форме, что значительно упрощает использование определенного математического аппарата. Таким образом можно утверждать, что существует возможность решения задачи о смещениях пород кровли и характере их взаимодействия с механизированной крепью и угольным массивом у фланга очистного забоя, как пространственной задачи теории упругости для полупространства на упругом основании, что позволяет реализовать решение в численном виде.

Как показали экспериментальные исследования поведение массива горных пород в центре разворота, т.е. зоне пониженных скоростей подвигания очистного забоя, является более сложным, чем у флангов лавы. Из-за отрицательного эффекта «топтания» кровли и изменения формы выработанного пространства на

каждом этапе разворота у центра разворота происходят повышенные деформации кровли. Это, в свою очередь, требует применения методов, позволяющих с достаточной степенью точности прогнозировать ожидаемые смещения в центре разворота при различных его технических параметрах (радиусе «плавающего центра», схеме крепления и т.д.).

Следует отметить, что одним из универсальных методов расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород является метод конечных элементов (МКЭ).

Реализацией этого метода для решения конкретных практических задач горного производства занимались многие ученые. Все они базировались на нахождении поля перемещений и его узловых значений путем минимизации потенциальной энергии (В.З. Амусин, Г. Отренг и Дж. Фикс, О. Зенкевич, Л. Сагерлинд, Г. Кратч, С.Н. Комиссаров, Ю.М. Либерман, Л.А. Розин, Ж. Деклу, В.Н.Фрянов и др.) [163-170].

Наибольшее распространение метод конечных элементов получил для решения плоских и объемных задач теории упругости. При решении объемных задач рассматриваются треугольный симплекс-элемент с девятью компонентами узловых перемещений [171].

Объемные силы распределяются одинаково между четырьмя узлами элемента. Поверхностные нагрузки прилагаются к трем узлам симплекс-элемента также поровну. Определение напряжений происходит после вычисления деформации внутри элементов.

Решение задачи напряженно-деформированного состояния массива горных пород в центре разворота в постановке плоской задачи МКЭ в прямом виде не подходит, так как не позволяет учесть изменение формы выработанного пространства в процессе разворота и, следовательно, учесть изменение концентрации напряжений.

Отдельными авторами определение изменения формы выработанного пространства предлагается находить при помощи коэффициента формы, имеющего смысл коэффициента концентрации напряжений. Идея этих работ

[172, 173] состоит в том, что изменение формы выработанного пространства вызывает в определённых точках массива горных пород повышение или снижение напряженно-деформированного состояния, учесть которое можно путем вариации глубины отработки, то есть всегда существует такая глубина отработки, при которой напряженно-деформированное состояние массива горных пород идентично напряженно-деформированному состоянию массива на данной глубине с учетом коэффициента формы. Фряновым В.Н. [172] коэффициент формы выработанного пространства (коэффициент концентрации напряжений) предлагается определять по формуле

$$K\phi = \iint_{S_B} f(\xi) dx dy, \quad (6.1)$$

где S_B – площадь выработанного пространства;

$f(\xi)$ – функция единичного влияния элемента выработанного пространства на напряжения в угольном пласте. В качестве функций единичного влияния используется функция Кельвина $her(\xi)$ [174, 175].

Как показали исследования проявлений горного давления при разворотах вокруг выработки («плавающего центра») возникает область необратимых пластических деформаций, учет которой позволяет повысить сходимость результатов аналитических исследований с экспериментальными. Многочисленными исследованиями было доказано, что эту область можно определить с помощью построения паспортов прочности, т.к. переход массива горных пород из упругого состояния в пластическое связан со сдвигами по плоскостям скольжения. Границу изменения механизма деформации можно определить с помощью условия Кулона-Мора формуле

$$\tau = K + \sigma_n * tg\varphi, \quad (6.2)$$

где K – сцепление слоев пород на контакте в виде сопротивлений сдвигу,

которое не зависит от нормально приложенного усилия;

σ_n – нормальное напряжение на площадке скольжения;

φ – угол внутреннего трения.

Условие предельного состояния пород показывает, что деформации не превзойдут предельные значения, если приложенная нагрузка будет меньше

расчетного значения касательных напряжений. Необходимо отметить, что естественное состояние массива горных пород отличается от упругого из-за наличия поверхностей ослабления, к которым относятся микрослоистость, трещиноватость, поверхности контактов на границе двух различных областей и другие нарушения сплошности, обладающие малым сопротивлением по поверхностям ослабления. Оно будет меньше значения предельного состояния для плоскостей скольжения при прочих равных условиях. Условие специального предельного состояния согласно в этом случае имеет вид [176]:

$$\tau = K^* + \sigma_n * tg\varphi^* \quad (6.3)$$

где $\varphi^* = 20$ град. – для угольных месторождений по рекомендациям В.Ю. Изаксона;

K^* - коэффициент сцепления по данным Г.Н. Кузнецова:

$K^* = (0,6-0,9) K$ – для микрослоистости;

$K^* = (0,3-0,6) K$ – для поверхностей отдельностей;

$K^* = (0-0,3) K$ – для контактов слоев.

М.С. Булычев рекомендует использовать при расчетах условные зоны нарушения сплошности вокруг выработок. К ним относятся приконтурные области упругого массива, где не выполняются условия специального предельного состояния по поверхности ослабления [176]. Размеры таких зон позволяют определять наиболее опасные зоны с максимальными величинами деформаций и смещений вокруг горных выработок.

Расчет паспортов прочности боковых пород при разворотах механизированных комплексов типа 1КМТ и КК-2743-0Z («Пиома») в условиях пласта Надбайкаимский и построение обобщённых диаграмм предельных кругов напряжений производилось согласно вышеизложенным рекомендациям [177, 178]. Физико-механические свойства слоев горных пород определялись по результатам исследований образцов (кернов), полученных при колонковом бурении в подготовительных выработках экспериментальных участков, на специальных стендах в Сибирских филиале ВНИМИ. Из предложенных методов построения паспортов прочности был выбран обладающий наибольшей

практической значимостью и доступностью. Данный метод основан на построении огибающих по параметрам, рассчитанных по обобщенному уравнению. П.М. Протодяконов на основе анализа большого объема статистического материала нашел единую форму кривой для всех горных пород, которая описывается уравнением [177]:

$$J = J_{max} \left(\frac{x^2}{x^2 + a^2} \right)^{3/8} \quad (6.4)$$

где $J = \tau$ – касательные напряжения на поверхностях ослабления, МПа;

x – сумма нормальных напряжений при одноосном сжатии и предельном трехосном растяжении, Мпа;

a – параметр формы огибающей, Мпа.

На основании вышеизложенного и с учетом результатов экспериментальных исследований проявлений горного деления при разворотах механизированных комплексов типа 1КМТ и КК-2743-0Z («Пиома») для моделирования процессов напряженно-деформированного состояния массива горных пород при движении очистного забоя по криволинейной траектории было предложено использовать для фланга очистного забоя – решение пространственной задачи теории упругости для полупространства на упругом основании численным методом; для «плавающего центра» - решение плоской задачи методом конечных элементов с учетом изменения формы выработанного пространства и области необратимых пластических деформаций, что в конечном итоге, позволило добиться высокой сходимости теоретических и практических результатов исследований.

6.2. Методические особенности реализации пространственной задачи теории упругости для определения параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород у фланга очистного забоя при его движении по криволинейной траектории и разработка алгоритма решения задачи расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород у «плавающего центра» методом конечных элементов

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.

Методические особенности данного метода заключаются в следующем. Пусть Ω - верхнее полупространство $Z \geq 0$ трехмерного пространства в декартовой системе координат O_{xy} . Разобьем границу $Z=0$ на две непересекающиеся области P и V , имеющие общую границу Γ . Задача состоит в том, что на области V задана нормальная нагрузка $\sigma_{zz} = P(x, y)$, а на области P ставится условие винклеровского упругого основания $\sigma_{zz} = RW$, где W – смещения вдоль оси OZ , R – положительная постоянная, характеризующая жесткость угольного пласта. Касательные усилия на границе отсутствуют, напряжения на бесконечности обращаются в нуль. В области полупространства Ω действуют уравнения статической теории упругости.

Определение напряжения σ_{zz} в области P априори найдено в виде нормально сходящегося ряда Неймана.

Расчетная схема представлена на рис.5.14. Решение о нахождении предлагается искать через функцию $\beta(x, y)$, имеющей физический смысл плотности распределения нагрузки $P(x, y)$ в области V [179, 180]:

$$\beta(x, y) = P(x, y) + \iint_V \beta(\xi, \eta) \cdot G(x - \xi, y - \eta) \cdot d\xi d\eta, \quad (6.5)$$

где функция G – ядро интегрального уравнения.

Функция G определена из фундаментального решения задачи о действии единичной сосредоточенной силы на бесконечное линейно-деформируемое основание полупространства [179] и имеет вид:

$$G(x, y) = \frac{\alpha}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{t \cdot J_0(r_0 t)}{t + \alpha} \cdot dt;$$

$$r_0 = \sqrt{x^2 + y^2};$$

$$\alpha = \frac{R(\gamma + 2\mu)}{2\mu(\gamma + \mu)}$$
(6.6)

или

$$\alpha = \frac{2R(1 - \nu^2)}{E},$$

где γ, μ – постоянные Ламе;

E – средневзвешенный модуль Юнга массива пород кровли;

ν – средневзвешенный коэффициент Пуассона массива пород кровли;

J_0 – функция Бесселя;

t – переменная интегрированная.

Тогда следующая итерация будет выглядеть следующим образом

$$\sigma_{zz}(x, y, 0) = - \iint_V G(x - \xi, y - \eta) \cdot \beta(\xi, \eta) d\xi d\eta$$
(6.7)

для $(x, y) \in P$; $\beta(x, y) = 0$ при $(x, y) \in P$.

Данная функция обладает свойствами, которые позволяют представить $\beta(x, y)$ в виде нормально сходящегося ряда Неймана, и обозначив интегральный оператор через K получим следующее выражение [179]:

$$\beta(x, y) = (\sum_{n=0}^{\infty} K^n \cdot P)(x, y), (x, y) \in V.$$
(6.8)

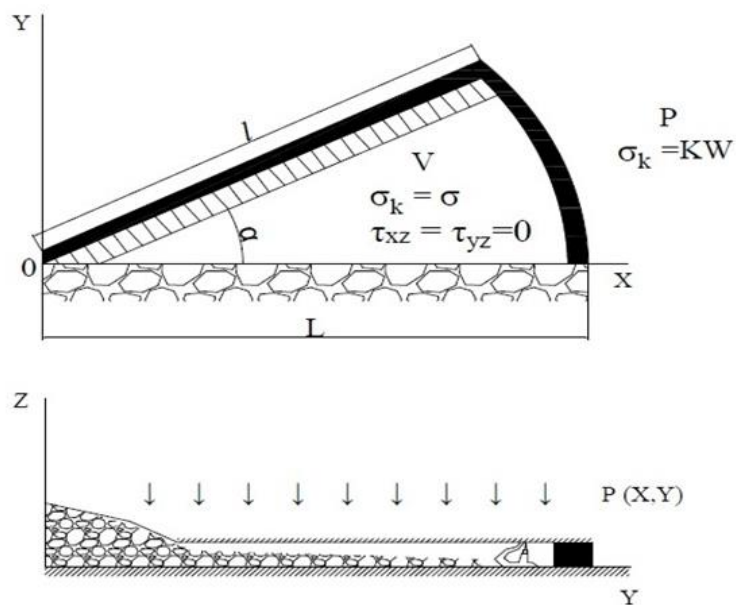
Данный аспект можно представить и в виде интегрального процесса методом последовательных приближений, т.е. данная формула равносильна следующей цепочке равенств

$$\beta = \lim_{N \rightarrow \infty} \beta_N, \beta_N = \sum_{n=0}^N K^n \cdot P, \beta_0 = P, \beta_{N+1} = K \cdot \beta_N.$$
(6.9)

Интеграл в соответствии с вышеприведенными формулами может быть представлен в виде [182]:

$$G(x, y) = \frac{x}{2\pi} \left[\int_0^N t \cdot J_0(J_0 t) dt - x \int_0^\infty \frac{J_0(J_0 t)}{t+x} dt \right] = \frac{x}{2\pi} \left[\frac{1}{J_0} - \frac{x}{2\pi} (H_0(J_0 t) - Y_0(J_0 t)) \right] \quad (6.10)$$

Расчетная схема к определению напряжений в угольном массиве



Расчетная схема к численному методу

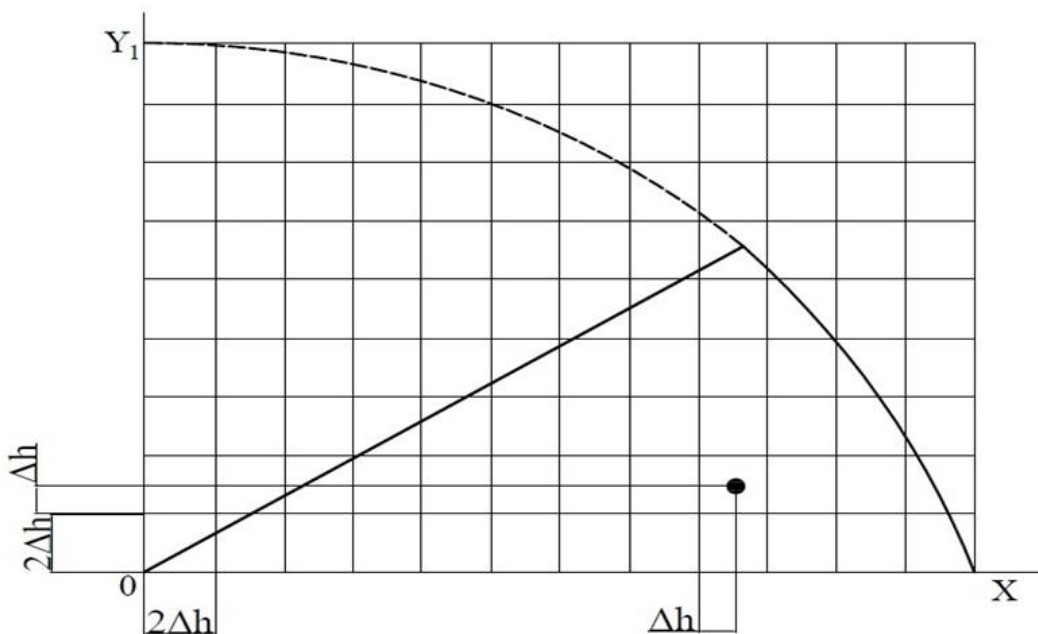


Рис. 6.14- Расчетная схема к определению напряжений в угольном массиве и к численному методу

В данном выражении $H_0(J_0 t)$ – функция Струве, которая имеет вид [182]:

$$H_0(Z) = \frac{2}{\pi} \left[Z - \frac{Z^3}{1^2 \cdot 3^2} + \frac{Z^3}{1^2 \cdot 3^2 \cdot 5^2} + \dots \right] = \frac{Z}{2} \sum_{K=0}^{\infty} \frac{(-1)^K \left(\frac{Z}{2}\right)^{2K}}{\Gamma^2(K + \frac{3}{2})} \quad (6.11)$$

при $Z \rightarrow 0$, $H_Z \sim \frac{2}{\pi} Z$,

$Y_0(\tau_o, t)$ – функция Бесселя второго рода [182], которая имеет вид

$$(Z) = \frac{2}{\pi} \left\{ \ln \left(\frac{2}{\pi} \right) + \gamma \right\} J_0(Z) + \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{Z^2/4}{(1!)^2} + \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(Z^2/4)}{(2!)^2} \right) + \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right) \cdot \frac{(Z^2/4)}{(3!)^2} - \dots \right\} \quad (6.12)$$

при $Z \rightarrow 0$, $Y_0(Z) \sim \frac{2}{\pi} \ln Z$,

где $\gamma = \lim_{m \rightarrow \infty} \left[1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{m} - \ln m \right] = 0,57722$ – постоянная Эйлера;

$J_0(Z) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(-Z^2/4)^j}{(j!)^2}$ – функция Бесселя первого рода

при $Z \rightarrow 0$, $J_0(Z) \sim 1$, $j! = U(1 + j)$.

Если представить функцию G в виде

$$G = \frac{x}{2\pi J_0} (1 + F(xJ_0));$$

$$F(xJ_0) = J_0 \frac{x\pi}{2} (Y_0(xJ_0) - H_0(xJ_0)); \quad (6.13)$$

$$F(0) = 0$$

тогда K_β можно переписать в виде

$$K_\beta = \frac{x\pi}{2} \iint_V \frac{\beta(\xi, \eta) [1 + F(x\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})]}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \quad (6.14)$$

Для упрощения расчетов на промежуточном этапе вводятся безразмерные координаты, - отнеся все линейные величины к стороне квадрата D , размер которого выбирается как максимальный характерный размер области V , примем максимальный размер области V равным единице. При этом интегрирование ведется по единичному квадрату, а реальные линейные величины могут быть получены путем умножения на действительный максимальный размер V .

Для удобства построения численной схемы определим в квадрате D , включающем в себя область V , функцию $f(\xi, \eta)$ следующим образом: $f(\xi, \eta) = \beta(\xi, \eta)$, если точка с текущими координатами (ξ, η) лежит в области V и $f(\xi, \eta) = 0$, если точка с текущими координатами (ξ, η) не принадлежит области V т.е.

$$f(\xi, \eta) = \begin{cases} 0, & (\xi, \eta) \in V \\ \beta(\xi, \eta), & (\xi, \eta) \in V \end{cases} \quad (6.15)$$

тогда интеграл может быть записан в виде

$$J = \frac{x}{2\pi} \iint_D \frac{f(\xi, \eta)[1+F(xr)]}{r} d\xi d\eta \quad (6.16)$$

где $r = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}$.

Разобьем квадрат D на элементарные квадраты с размером $(2\Delta h * 2\Delta h)$,

где $\Delta h = \frac{1}{2N}$,

N – количество точек разбиения по одной из сторон квадрата, которые совпадают с направлением координатных осей.

В соответствии с этим интеграл может быть записан в предложенных квадратурах следующим образом [182]:

$$\begin{aligned} J &= \frac{x}{2\pi} \sum_{ij} \int_{\eta_j - \Delta h}^{\eta_j + \Delta h} \frac{f(\xi_i \eta_j)(1 + F(xr))}{r} d\xi d\eta \quad (6.17) \\ &= \frac{4(\Delta h)^2 x}{2\pi} \sum_{ij} \frac{f(\xi_i \eta_j)(1 + F(xr_{ij}))}{r_{ij}} \\ &\quad + \frac{x}{2\pi} f(x, y) \int_{y - \Delta h}^{y + \Delta h} \int_{x - \Delta h}^{x + \Delta h} \left[\frac{1}{r} + \frac{x\pi}{2} (Y_0(xr) - H_0(xr)) \right] d\xi d\eta, \end{aligned}$$

где $\xi_i \eta_j$ – координаты узловой точки, являющейся центром элементарного квадрата с номером (i, j) ;

$f(\xi_i \eta_j)$ – кусочно-постоянная в элементарной квадрате (i, j) .

Точность квадратурной формулы имеет порядок $O4(\Delta h)^2$ [182].

Обозначим

$$I = \int_{y - \Delta h}^{y + \Delta h} \int_{x - \Delta h}^{x + \Delta h} \left[\frac{1}{r} + \frac{x\pi}{2} (Y_0(xr) - H_0(xr)) \right] d\xi d\eta. \quad (6.18)$$

Тогда с учетом вышеизложенного

$$I = \int_{y-\Delta h}^{y+\Delta h} \int_{x-\Delta h}^{x+\Delta h} \left[\frac{1}{r} + x \ln r \right] d\xi d\eta - \left(x \ln \frac{2}{x} - x\gamma \right) 4(\Delta h)^2 + \int_{y-\Delta h}^{y+\Delta h} \int_{y-\Delta h}^{y+\Delta h} \left[\frac{x\pi}{2} (Y_0(xr) - H_0(xr)) - \frac{x\pi}{2} \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{xr}{2} + \gamma \right) \right] d\xi d\eta \quad (6.19)$$

Следует отметить, что интеграл

$$\int_{y-\Delta h}^{y+\Delta h} \int_{y-\Delta h}^{y+\Delta h} \left[\frac{x\pi}{2} (Y_0(xr) - H_0(xr)) - \frac{x\pi}{2} \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{xr}{2} + \gamma \right) \right] d\xi d\eta \quad (6.20)$$

стремиться к 0 быстрее, чем $(\Delta h)^2$, поэтому дальше не учитывается.

Следовательно, вычисление 1 сводится к вычислению первого двойного интеграла

$$I = 8\Delta h \ln(1 + \sqrt{2}) + x[2(\Delta h)^2 \ln(\Delta h)^2 - 6(\Delta h)^2 + \pi(\Delta h)^2] + x \left(\gamma - \ln \frac{2}{x} \right) 4(\Delta h)^2 \quad (6.21)$$

Тогда

$$J_{kl} = \frac{4(\Delta h)^2}{2\pi} x \sum_{ij} \frac{f(\xi_i \eta_j)(1+xr_{ij})}{r_{ij}} + I \frac{x\pi}{2} f(\xi_i \eta_j) \quad (6.22)$$

Знак «I» в сумме означает что в ней не содержится члены $(i=k, j=l)$.

Для реализации на ЭВМ итерационный процесс необходимо представить в виде

$$B_{kl}^{n+1} = P(x, y) + \frac{4(\Delta h)^2}{2\pi} x \sum B_{ij}^n + \frac{(1+F_{ijkl})}{r_{ijkl}} + I \frac{x}{2\pi} B_{kl}^n, \quad (6.23)$$

где $B_{kl}^n = B^n(x_k, y_e)$ – значение искомой функции в узловой точке с координатами (x_k, y_e) , n -го приближения.

$$F_{ijkl} = F(xr_{ijkl});$$

$$r_{ijkl} = \sqrt{(\xi_i - x_k)^2 + (\eta_j - y_e)^2}; \quad (6.24)$$

$$B_{kl}^0 = P(x, y),$$

где $P(x, y)$, – нормальная составляющая горного давления, которая в итерационном процессе полагается равной единице.

Осадка W [183] поверхности полупространства в области V определяется в соответствии следующим образом

$$W_z(x, y, 0) = -\frac{B(x,y)-P(x,y)}{k} \quad (6.25)$$

для $(x, y) \in V$,

где k – жесткость.

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 σ_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. 6.15.

Таким образом, реализация позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать оптимальную длину лавы при различных шагах обрушения пород кровли.

Укрупненная блок-схема программы

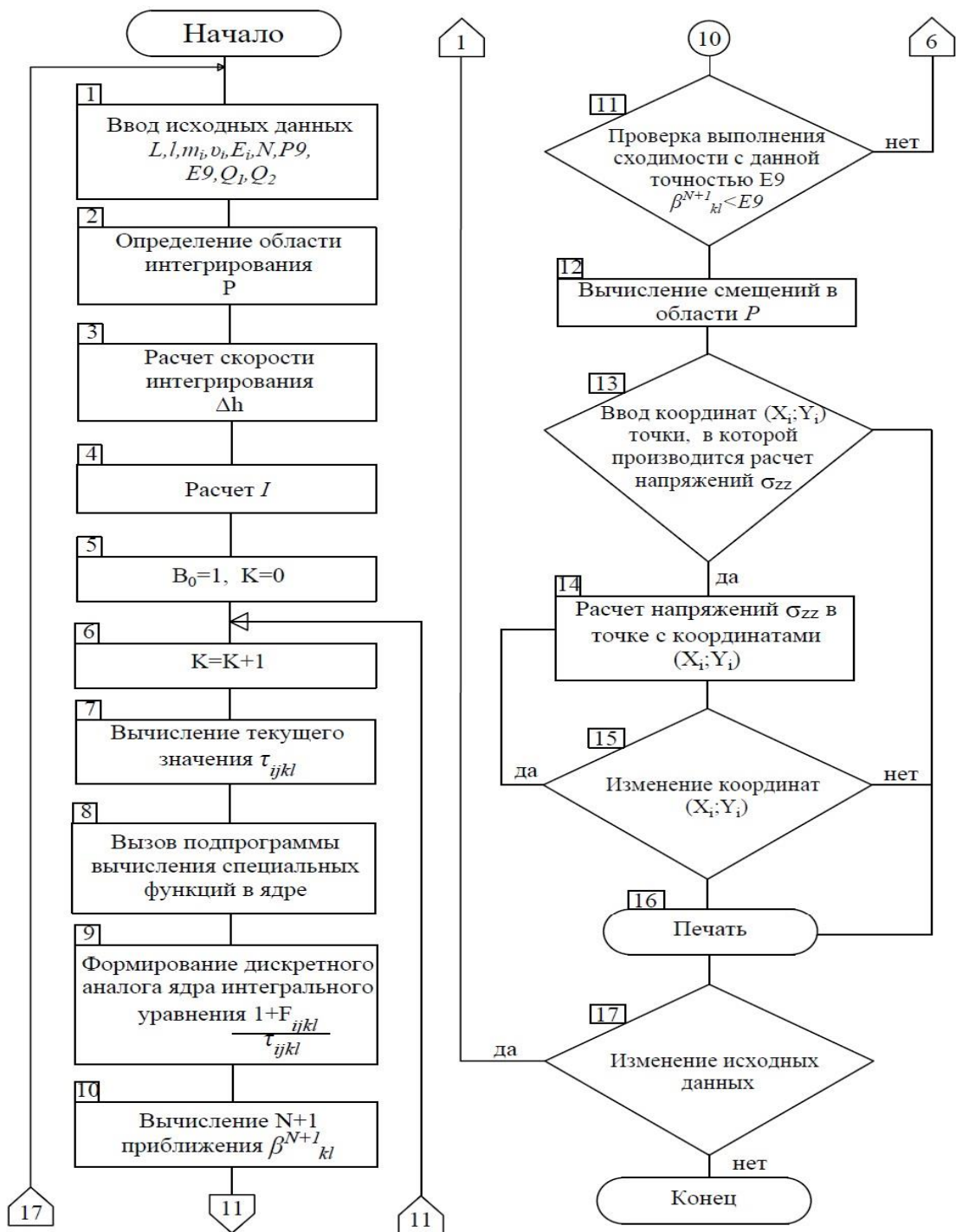


Рис. 6.15 - Укрупненная блок-схема алгоритма решения пространственной задачи

Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет аппроксимировать непрерывное изменение физико-механических свойств углеродного массива в процессе ведения горных работ с помощью дискретного моделирования.

Дискретная модель представляет собой множество кусочно-непрерывных исследуемых функций в конечном числе точек заданного массива. С помощью множеств элементов можно аппроксимировать любые области с различными контурами на границе.

Применяемые элементы могут быть любых размеров, что позволяет конкретизировать интересующие места горного массива с помощью измельчения сети разбиения. Свойства массива в соседних элементах могут иметь любой характер и их различие не сказывается на качестве получаемых результатов. В связи с этим выбор граничных условий не представляет больших сложностей, как в других методах расчета.

Перечисленные достоинства МКЭ позволяют моделировать массив горных пород согласно с его стратиграфией и литологией, учитывать ослабления по трещинам на контакте слоев и по плоскости скольжения, задавать параметры геологических нарушений и выработанного пространства.

По аналогии с моделью из эквивалентных материалов осуществляется численное моделирование плоской задачи теории упругости, для чего рассматривается плоское сечение горных пород по отвесной плоскости (рис.6.16), при этом горный массив представлен системой породных слоев разных литологических составов, включающих один или несколько угольных пластов. Каждый породный слой и угольные пласты разбиваются на дискретную систему двухкамерных треугольных симплекс-элементов. Треугольные элементы более всего подходят для моделирования систем неправильной формы, к которым относится массив горных пород. В отдельном треугольном элементе осуществляется нумерация вершин треугольника против часовой стрелки. Нумерация узлов последовательная для всей области массива. Начало декартовой правой системы координат выбирается произвольно и координаты всех треугольных элементов привязываются в этой системе координат. Упругие характеристики в пределах каждого отдельного элемента принимаются постоянными, а в пределах изучаемой области горного массива переменным. Таким образом, за счет дискретизации горного массива можно не только

моделировать геометрические параметры горного массива и выработок, но и разные свойства горных пород. В частности, принимая модуль упругости $E \rightarrow 1$ и коэффициент Пуассона $\nu \rightarrow 1$, можно имитировать в элементе выработок пространство.

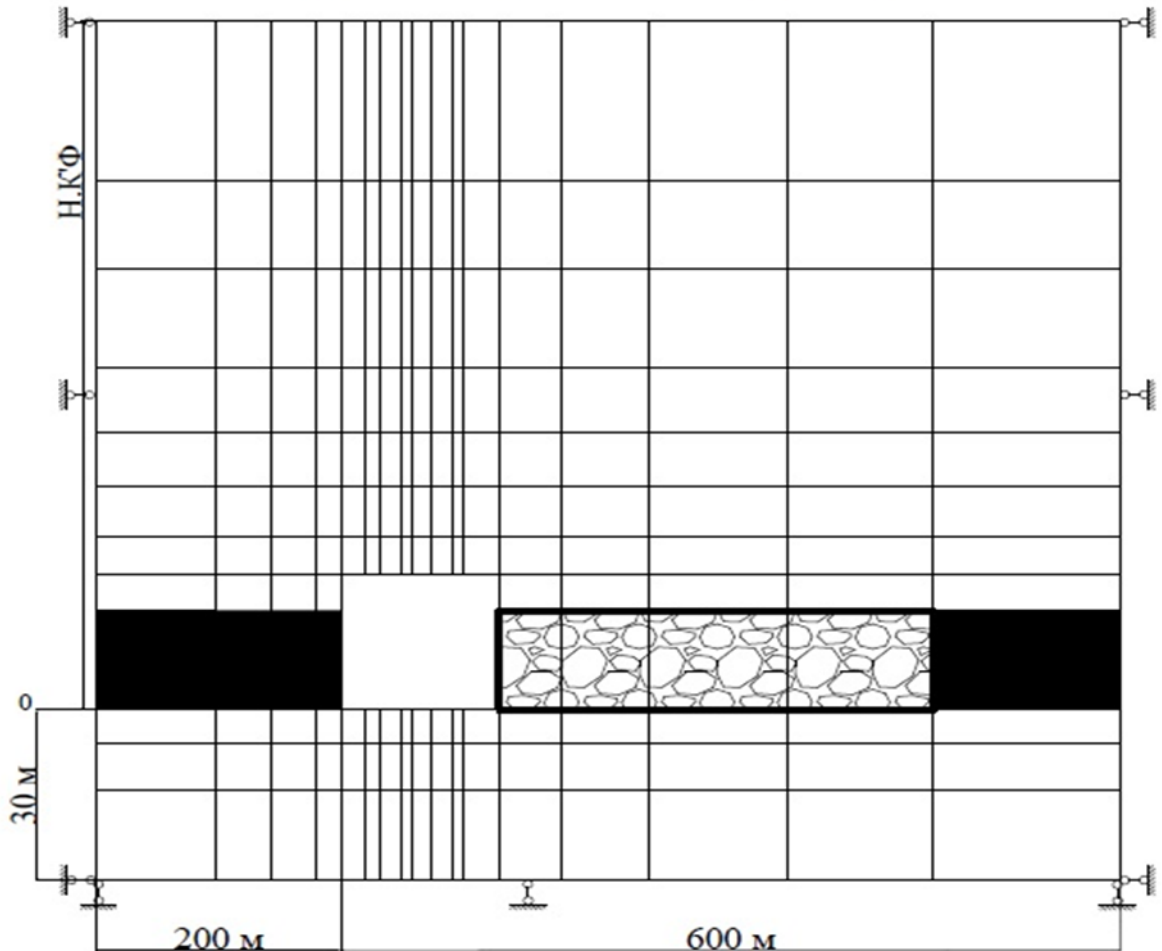


Рис. 6.16 - Расчетная схема МКЭ для определения нагрузок на крепь в центре разворота

Для определения неизвестных перемещений в узлах системы элементов минимизируется интегральная величина, связанная с работой напряжений и внешней приложенной нагрузкой, в связи с тем, что задача решается в перемещениях и на границе задаются их значения, таким образом минимизируется потенциальная энергия системы треугольных элементов. После определения перемещений вычисляются напряжения и деформации. Границы сетки элементов должны располагаться там, где в породном массиве уже нельзя ожидать каких-либо воздействий очистной выработки или там, где сдвигения

известны или заданы, например, для породных слоев непосредственной кровли или почвы.

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, КОРКОН, КОРВЕР, LAVA, реализующих метод конечных элементов [154].

Первая программа разработана применительно к условиям выдержанных по мощности пластов месторождений угля. Она предназначена для автоматического построения сетки треугольных элементов по породным и угольным слоям и позволяет решать следующие задачи:

- построение сетки треугольных элементов по каждому выделенному породному слою или угольному пласту;
- корректировка сетки треугольных элементов в зависимости от объема выделяемой для решения оперативной памяти ЭВМ;
- определение для каждого треугольного элемента модуля упругости (E), коэффициента Пуассона, параметров ползучести и плотности пород.

Программа КОРКОН предназначена для корректировки вводимой информации по отдельным треугольным элементам. Она позволяет изменять в любом элементе модуль упругости (E), коэффициент Пуассона, параметры ползучести и плотности пород.

Программа КОРВЕР позволяет изменять координаты вершин отдельных треугольных элементов в зависимости от текущего изменения формы выработанного пространства и смещения треугольных элементов в отдельных породных слоях.

Последняя программа формирует систему уравнений, реализует ее решение и определяет напряжения и деформации в каждом треугольном элементе. При этом решаются следующие задачи:

- ввод основных и измененных параметров треугольных элементов;
- формирование основной системы уравнений;

- изменение системы уравнений в соответствии с граничными условиями;
- решение системы уравнений в соответствии с граничными условиями;
- вычисление напряжений деформаций по каждому треугольному элементу;
- вывод на печать результатов расчетов.

Целью настоящих исследований являлось определение параметров «плавающего центра», его радиуса, наличие в районе центра угольного целика и влияние их на устойчивость пород непосредственной и основной кровли с учетом глубины залегания и угла поворота очистного забоя.

Для установления влияния коэффициента формы выработанного пространства на концентрацию напряжений в кровле «плавающего центра» использовался метод [172, 184], который основан на условии равновесия пространственной системы: частично отработанный угольный пласт – налегающая толща горных пород (породы кровли, нагруженные весом вышележащих пород). Как уже отмечалось выше коэффициент выработанного пространства (коэффициент концентрации напряжений) в этом случае вычисляется аналитически, но учитывая сложную форму выработанного пространства реализовать уравнение не представляется возможным. Достаточно точные значения коэффициента формы выработанного пространства можно получить на основании разработанного в ФРГ метода интеграционных сеток [184], с помощью которого рассчитываются параметры процессов сдвижения земной поверхности и горного массива. Развитие этого метода [172, 184] привело к необходимости определять интегральную характеристику L угольного пласта и вмещающих пород. Она используется для определения параметра ξ функций по формуле

$$\xi_i = \frac{p_i}{L}, \quad (6.26)$$

где p_i – расстояние от точки, в которой вычисляется коэффициент концентрации напряжений, до i -го элемента выработанного пространства.

Исходными данными для вычисления интегральной характеристики (L) и построения интеграционной сетки является литологическая колонка, коэффициенты крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова, масштаб плана горных работ, глубина разработки (H). Вблизи пласта породы основной и непосредственной кровли и почвы пласта выделяются детально, на расстоянии более десяти мощностей пласта от почвы или кровли – укрупненно, как один слой.

Интегральная характеристика жесткости пород кровли, почвы и угольного пласта вычисляется по формуле:

$$L = 0,4 \sqrt{\frac{\alpha f_k H^3}{12[1-(0,5-0,1\sqrt{f_k})^2]K_{уп}}}, \quad (6.27)$$

где H – глубина горных работ, м;

α – эмпирический коэффициент

$$(\alpha = 2 * 10^5 \text{т/м}^2); \quad (6.28)$$

f_k – средневзвешенный коэффициент крепости пород кровли;

$K_{уп}$ – податливости угля и пород почвы, т/м³.

Коэффициент f_k вычисляется по формуле

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^k f_{ki} \frac{h_{ki}}{l_{ki}}}{\sum_{i=1}^k \frac{h_{ki}}{l_{ki}}}, \quad (6.29)$$

где f_{ki} – коэффициент крепости i -го слоя в кровле угольного пласта;

h_{ki} – мощность i -го слоя в кровле угольного пласта м;

l_{ki} – расстояние по нормали к напластованию от кровли угольного пласта до середины i -го породного слоя м;

k – количество породных слоев в кровле угольного пласта.

Податливость угля и пород почвы рассчитывается по формуле

$$K_{уп} = \frac{\alpha f_{уп}}{0,3H+m[1-\frac{0,2(0,5-0,1\sqrt{f_{уп}})}{0,5+0,1\sqrt{f_{уп}}}]}, \quad (6.30)$$

где m – мощность угольного пласта;

$f_{уп}$ – средневзвешенный коэффициент крепости угля и пород почвы

$$f_{yп} = \frac{f_{п}}{1 + \frac{m}{0,3H} \left(\frac{f_{п}}{f_y} - 1 \right)}, \quad (6.31)$$

где $f_{п}$ – средневзвешенный коэффициент крепости пород почвы;

f_y – коэффициент крепости угольного пласта

$$f_{п} = \frac{\sum_{j=1}^P f_{nj} \frac{h_{nj}}{l_{nj}}}{\sum_{j=1}^P \frac{h_{nj}}{l_{nj}}}, \quad (6.32)$$

где f_{nj} – коэффициент крепости угольного пласта;

h_{nj} – мощность j -го слоя в кровле угольного пласта м;

l_{nj} – расстояние по нормали к напластованию от почвы угольного пласта до середины j -го слоя;

P – количество породных слоев в почве угольного пласта.

При определении коэффициентов формы выработанного пространства (коэффициентов концентрации напряжений) центр интеграционной сетки совмещался с необходимыми для расчетов точки на плане горных работ при разных углах поворота очистного забоя.

Коэффициент формы выработанного пространства вычисляется формуле:

$$K = \frac{1 + \frac{n}{N}}{1 - \frac{n}{N}}, \quad (6.33)$$

где n – количество точек интеграционной сетки; попавших в контур выработанного пространства;

N – количество всех точек на сетке.

Выполненный по вышеизложенной методике расчет коэффициентов формы выработанного пространства для разворота механизированных комплексов типа 1КМТ и КК-2743-0Z («Пиома») дал следующие результаты (см. табл.6.1).

Таблица 6.1 – Коэффициенты формы выработанного пространства

Угол поворота очистного забоя, град.	0	30	60	90	120	150	180
--	---	----	----	----	-----	-----	-----

Коэффициент формы выработанного пространства при развороте комплекса 1КМТ	0,557	0,667	0,810	1,052	1,267	1,667	2,335
-при развороте комплекса КК-2743-0Z («Пиома»)	0,550	0,661	0,805	1,045	1,252	1,661	2,327
Эквивалентная глубина отработки: -при развороте комплекса 1КМТ	223	273	313	415	519	683	957
-при развороте комплекса КК-2743-0Z («Пиома»)	137	163	197	246	309	407	570

Для удобства коэффициент формы выработанного пространства дается в приведенном виде по отношению к бесконечно длинному очистному забою, коэффициент формы выработанного пространства которого $k_{\phi}=3$.

Таким образом, реализация на ЭВМ метода конечных элементов с учетом влияния коэффициента формы выработанного пространства и зоны пластических деформаций на концентрацию напряжений вокруг выработки «плавающего центра» позволяет решить следующие задачи:

- определение величин напряжений и характера их перераспределения в массиве горных пород окружающих зону центра разворота в зависимости от глубины отработки, угла поворота очистного забоя и радиуса «плавающего центра»;
- определение ожидаемых величин смещений пород кровли над «плавающим центром» при различном его радиусе.

6.3. Результаты математического моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород у фланга очистного забоя и в «плавающем центре» при развороте

При изучении напряженно-деформированного состояния углепородного массива у фланга очистного забоя проводилось моделирование влияния консоли пород основной кровли на напряжения, возникающие на границе системы «угольный пласт-породы кровли» в зависимости от ее формы и площади, а также от естественного геостатического давления на данной глубине.

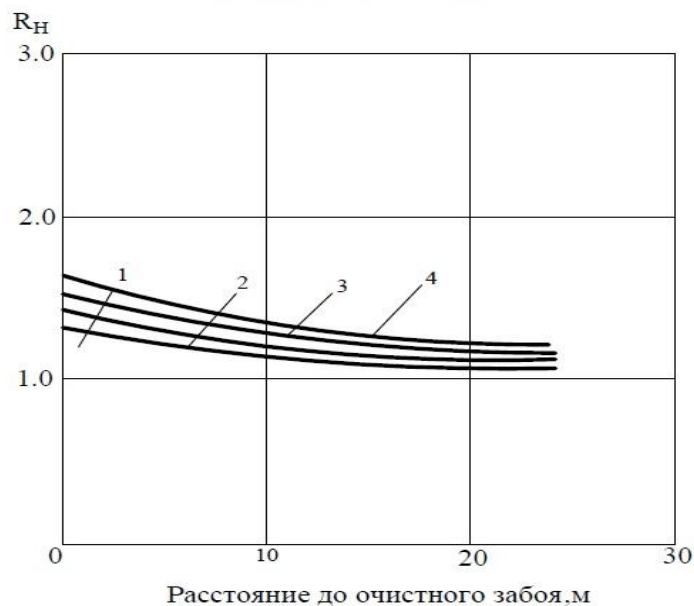
Площадь консоли пород кровли и ее форма зависят от длины лавы и шага обрушения пород по обводной выработке. Как показали экспериментальные исследования шаг основной кровли по обводной выработке при движении комплекса по криволинейной траектории зависит от скорости подвигания лавы и в среднем увеличивается по сравнению с прямолинейным участком работы лавы на 30-35%, поэтому аналитические расчеты производились в интервале изменения шага обрушения от 20 до 50 м. Интервал изменения длины лавы принимался от 80 до 180 м с шагом 20 м.

Зависание консоли пород кровли у фланга очистного забоя при движении комплекса по криволинейной траектории вызывает перераспределение напряжений в массиве горных пород на границе выработанного пространства. Как показали расчеты, наибольший рост дополнительных напряжений происходит в системе «угольный пласт-пород кровли» вблизи сопряжения очистного забоя с оконтуривающей разворот выработкой. Концентрация напряжений в этой точке зависит от длины лавы и шага обрушения пород основной кровли по обводной выработке.

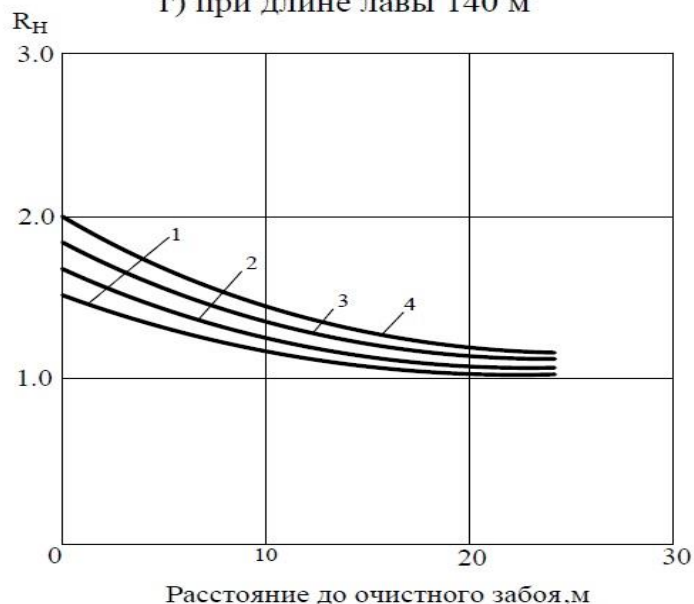
На рис.6.17 приведены графики изменения коэффициента концентрации напряжений, представляющего собой отношение возникающих напряжений к нормальным геостатическим, существующим на данной глубине, по обводной выработке в зависимости от расстояния до очистного забоя при различных шагах обрушения основной кровли и длинах лавы.

Как показал анализ зависимостей, максимальное значение коэффициентов концентрации напряжений на сопряжение очистного забоя с обводной выработкой в зависимости от шага обрушения и длины лавы достигает 2,0-2,5, при этом необходимо учесть, что на больших глубинах при высоком геостатическом давлении рост концентрации напряжений приводит к разрушению краевой части угольного пласта.

в) при длине лавы 120 м



г) при длине лавы 140 м



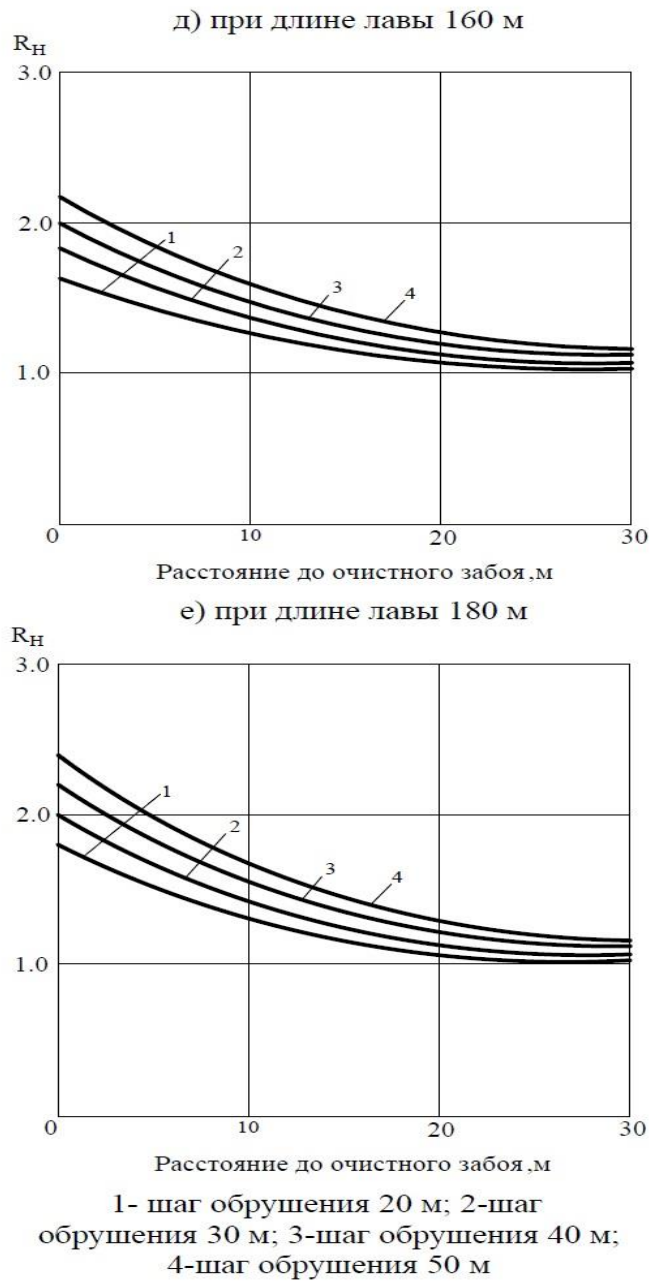


Рис. 6.17 - Графики изменения коэффициента концентрации напряжений

При этом разрушение краевой части угольного пласта происходит в момент выполнения условия [184]:

$$\sigma_{\text{норм}} + \sigma_{\text{доб}} \geq \sigma_{\text{сж}}^{\text{пл}}, \quad (6.34)$$

где $\sigma_{\text{норм}}$ - напряжение, возникающее в массиве горных пород на данной глубине (H). При расчетах σ принимается равное γH , где γ – средневзвешенная плотность горных пород

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^N m_i} \quad (6.35)$$

где m_i, γ_i – соответственно, мощность и плотность отдельных породных слоев,
 $\sigma_{доб}$ – дополнительные напряжения,

$$\sigma_{норм} + \sigma_{доб} = k_H \sigma_{норм}, \quad (6.36)$$

где k_H – коэффициент концентрации напряжений в краевой части угольного пласта, возникающих при зависании консоли пород кровли,

$\sigma_{сж}^{пл}$ – предел прочности на одноосное сжатие краевой части угольного пласта. Определяется по формуле [184]:

$$\sigma_{сж}^{пл} = f_y R,$$

где f_y – средневзвешенный коэффициент крепости угля в пласте

$$f_y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i m_i}{\sum_{i=1}^N m_i}, \quad (6.37)$$

где $f_i m_i$ – соответственно, мощность и коэффициент крепости отдельных слоев и прослоек в угольном пласте;

- коэффициент структурного ослабления угольного пласта, зависящий от трещиноватости угольного пласта.

Проведенные расчеты для условий разворотов комплексов 1КМТ и КК-2743-OZ («Пиома») на пласте «Надбайкаимский» показали, что коэффициент концентрации напряжений при движении очистного забоя по криволинейной траектории на сопряжении лавы с обводной выработкой, в зависимости от скорости движения фланга лавы, изменяется в пределах:

$k = 1,4 \div 1,5$ – для пласта К-1 в/п (разворот 1КМТ);

$k = 1,5 \div 1,6$ – для пласта «Надбайкаимский» (разворот КК-2743-OZ).

Анализ расчетов смещений пород кровли по обводной выработке при подходе очистного забоя по обводной выработке, произведенный для условий пластов К-1 в/п и «Надбайкаимский» показал небольшое отклонение теоретических зависимостей от зафиксированных экспериментально (погрешность менее 13%) (рис.6.18).

Расчетные смещения по обводной выработке на различном расстоянии до очистного забоя

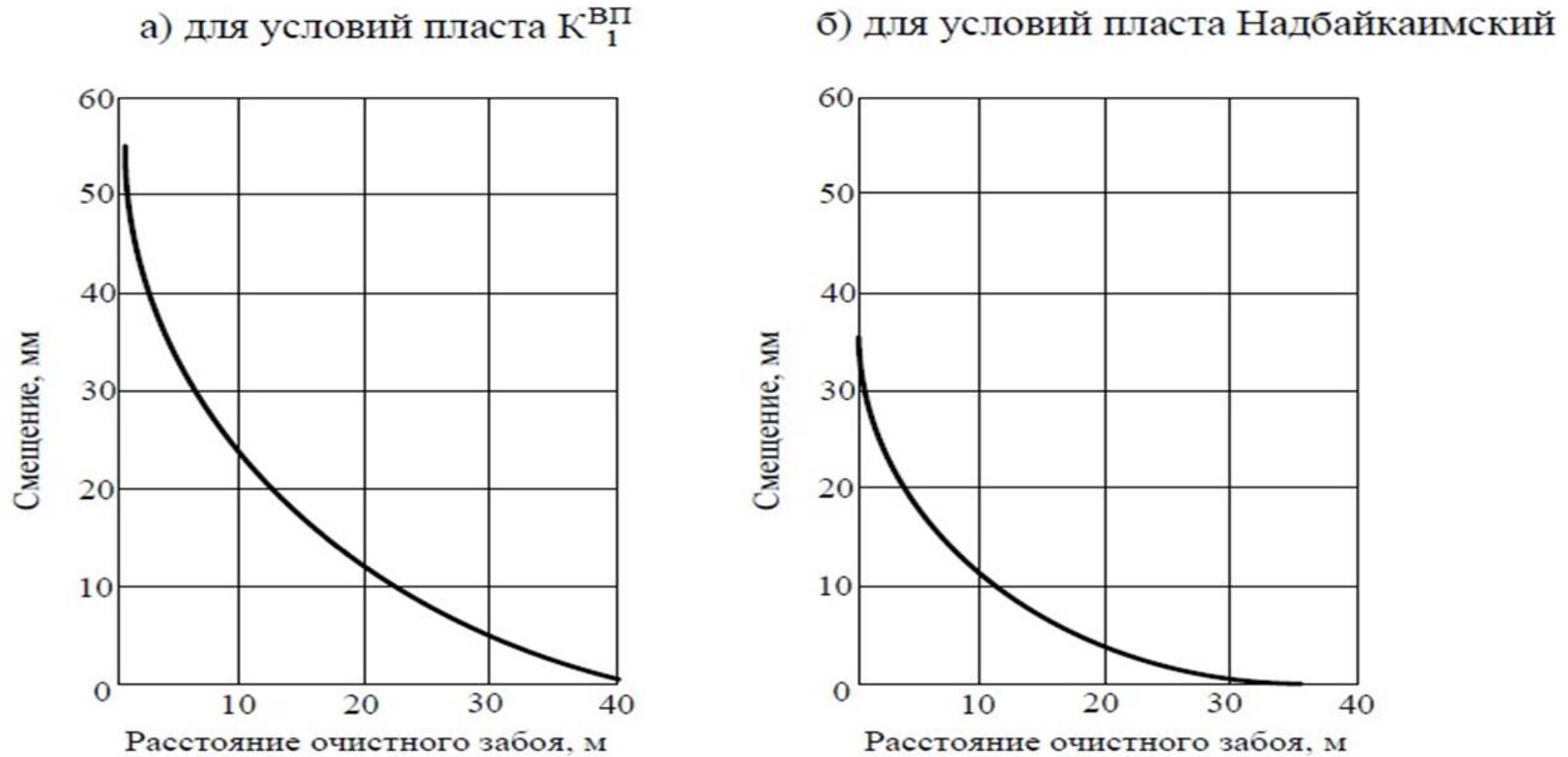


Рис.6.18 - Отклонения теоретических зависимостей

Расчеты проводились для условий пластов К-1 в/п и «Надбайкаимский», а затем сопоставлялись с реальными полученными результатами исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород при разворотах комплексов типа 1КМТ и КК-2743-OZ («Пиома»).

Анализ результатов расчета напряженно-деформированного состояния пород вблизи «плавающего центра» показал, что вокруг выработки существует несколько характерных областей. Максимальные напряжения наблюдаются в зоне, расположенной на границе угольного пласта с породами непосредственной кровли на сопряжении выработки в направлении рассматриваемого сечения. Размеры этой зоны зависят от физико-механических свойств пород кровли, глубины отработки, угла поворота. При развороте комплекса 1КМТ граница зоны перемещалась на расстояние от 0,4 м (угол поворота 0°) до 0,8 м (угол поворота 180°) от контура выработки; при развороте комплекса КК-2743-OZ («Пиома») соответственно от 0,2 до 0,5 м.

В нижней части угольных пластов и в почве также зафиксированы зоны повышенных напряжений, расположенные в зависимости от угла поворота на расстоянии 0,3-0,5 м от контура выработки «плавающего центра» при развороте комплекса 1КМТ и на расстоянии 0,2-0,3 м при развороте комплекса КК-2743-OZ («Пиома»). Абсолютные значения напряжений в этих зонах меньше, чем в зонах, расположенных на границе угольных пластов с кровлей.

За зоной повышенных напряжений в почве пласта наблюдается зона разгрузки массива горных пород от давления. Размеры этой зоны варьируются в пределах от 0,3 до 0,5 при развороте комплекса 1КМТ и от 2,8 до 4,7 при развороте комплекса КК-2743-OZ («Пиома»).

Как показал анализ результатов расчетов в процессе ведения очистных работ с движением забоя по криволинейной траектории происходит рост напряжений в угольном пласте и боковых породах в зависимости от угла поворота. При этом изменяются размеры и конфигурация зон повышенных напряжений. Для условий разворота комплекса 1КМТ максимальный рост напряжений был определен в точке, находящейся на границе угольного пласта с

породами непосредственной кровли на сопряжении выработки «плавающего центра». Здесь напряжения возросли при повороте на 90° в 1,65 раза по сравнению с напряжениями, существующими до начала разворота, а при повороте на 180° - в 3,6 раза. При развороте комплекса КК-2743-OZ («Пиома») максимальный рост напряжений определен в той же точке. При повороте на 90° напряжения возросли в 1,63 раза, а при повороте на 180° - в 3,55 раза.

Непосредственно над выработкой «плавающего центра» находится зона разгрузки, величина которой для данных горно-геологических условий зависит от размеров выработки и угла поворота очистного забоя. Для условий разворота комплекса 1КМТ она изменялась в пределах от 3,1 м (до начала разворота) до 3,4 м (угол поворота 180°), а для условий разворота комплекса КК-2743-OZ («Пиома») соответственно от 2,8 м до 2,95 м. Как можно заметить, зависимость размеров этой зоны от угла поворота незначительна и поэтому главным показателем, определяющим ее величину в конкретных горно-геологических условиях является пролет выработки «плавающего центра».

На сопряжении выработки «плавающего центра» с очистным забоем также наблюдается зона повышенных напряжений. Она располагается в непосредственной кровле в $0,5 \div 0,6$ м от выработки при развороте комплекса 1КМТ и в $0,4 \div 0,5$ м при развороте комплекса КК-2743-OZ («Пиома»). В зависимости от угла поворота ее размеры увеличиваются с 1,0 м (до начала разворота) до 1,6 м (поворот на 180°) для комплекса 1КМТ и с 0,8 до 1,4 м для комплекса КК-2743-OZ («Пиома»). При этом наблюдается интенсивный рост вертикальных напряжений, которые при повороте на 180° увеличиваются приблизительно в 3,3 раза по сравнению с напряжениями, существовавшими до начала разворота.

Как показали расчеты, горизонтальные напряжения в связи с тем, что рассматриваемые технологические схемы применяются на пластах пологого падения, существенной роли на картину распределения зон напряженно-деформированного состояния массива горных пород не оказывают.

Анализ расчета процессов смещений пород основной и непосредственной кровли в «плавающем центре» показал, что рост их в зависимости от угла поворота происходит по экспоненциальной зависимости. Расчеты, проведенные для условий применения технологических схем с разворотом комплекса типа 1КМТ на пласте К-1 в/п и КК-2743-OZ («Пиома») на пласте «Надбайкаимский» показали небольшое отклонение теоретических зависимостей от реально зафиксированных (погрешность менее 15%).

Графики смещения пород непосредственной и основной кровли выработке «плавающего центра» в зависимости от угла поворота, полученные методом конечных элементов, приведены на рис.6.19.

Абсолютная величина смещений, полученная расчетным путем для условий разворота комплекса 1КМТ составила 320 мм, величина расслоений основной и непосредственной кровли 38 мм. Реально было зафиксировано при угле поворота на 178° соответственно 330 мм и 43 мм. Для условий разворота комплекса КК-2743-OZ («Пиома») абсолютная величина смещений по данным расчетов составила 235 мм, в реальности 250 мм; величина расслоений при повороте на 90° -10 мм (в реальности 12 мм).

Таким образом, аналитические методы расчета параметров смещения пород "плавающим центре" методом конечных элементов с учетом формы выработанного пространства и пластических свойств горных пород дали возможность получить близкую к реальности картину смещений пород непосредственно и основной кровли с высокой степенью сходимости.

Изучение параметров смещения пород кровли по периметру выработки "плавающего центра" показало, что максимальные смещения наблюдаются в зоне сопряжения выработки с очистным забоем, минимальные - в зоне сопряжения выработки с угольным пластом, однако сравнение смещений показало, что разница в их абсолютных значениях в зависимости от угла поворота, изменяется в пределах от 20% до 30%.

Для изучения влияния радиуса "плавающего центра" на напряженно-деформированное состояние углеродного массива окружающего выработку,

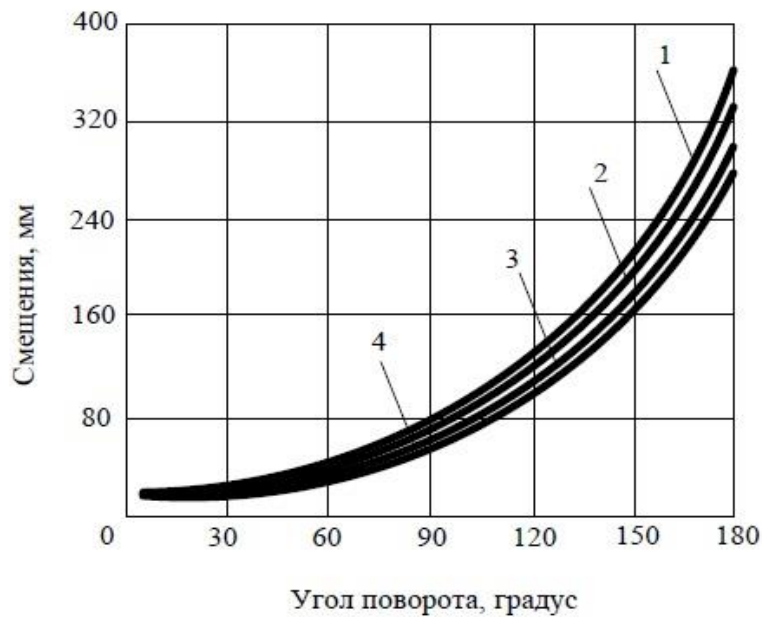
были произведены расчеты в интервале изменение радиуса от 1,5 м до 3,5 м с шагом 0,5 м. Глубина отработки и физико-механические свойства массива горных пород принимались аналогичными условиям разворотов комплексов 1КМТ (пласта К-1 в/п) и КК-2743-OZ («Пиома») (пласт «Надбайкаимский»). Анализ результатов дал возможность оценить ожидаемые смещения пород основной и непосредственной кровли в "плавающем центре" в зависимости от угла поворота в конкретных горно-геологических условиях (рис.6.20).

При применении технологической схемы с разворотом комплекса в условиях пласта К-1 в/п увеличение радиуса "плавающего центра" с 1,5 до 3,5 м вызывает рост конечных смещений пород кровли с 196 мм до 538 мм, т.е. смещения увеличиваются в 2,7 раза. При применении схемы с разворотом в условиях пласта «Надбайкаимский» увеличение радиуса "плавающего центра" вызывает рост конечных смещений с 142 мм до 376 мм.

На рис. 6.21 приведены графики роста коэффициента концентрации напряжений над выработкой «плавающего центра», характеризующего рост напряжений в массиве горных пород в зависимости от угла поворота при различных радиусах «плавающего центра». Из анализа зависимостей видно, что увеличение радиуса «плавающего центра» с 1,5 до 3,5 м приводит к росту коэффициента концентрации напряжений. Так при радиусе «плавающего центра» равном 3,5 для условий пласта К-1 в/п коэффициент концентрации напряжений при повороте на 180° достигает 3,8÷ 3,9; для условиях пласта «Надбайкаимский» - 3,1÷3,2. Таким образом, при применении технологической схемы с разворотом на пласте К-1 в/п в случае радиуса «плавающего центра» более 3,5 м на заключительном этапе разворота произойдет разрушение краевой части углепородного в массива зоны «плавающего центра».

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

а) для условий пласта $K_1^{ВП}$



б) для условий пласта "Надбайкаимский"

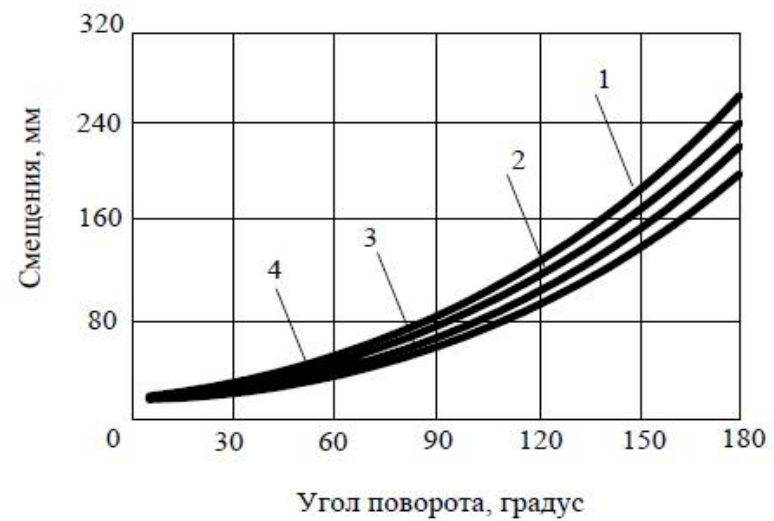


Рис. 6.19 - Графики смещения пород непосредственной и основной кровли выработке «плавающего центра» в зависимости от угла поворота, полученные методом конечных элементов

Ожидаемые смещения кровли в центре разворота в зависимости от угла поворота при различных радиусах "плавающего" центра ($R_{ПД}$)

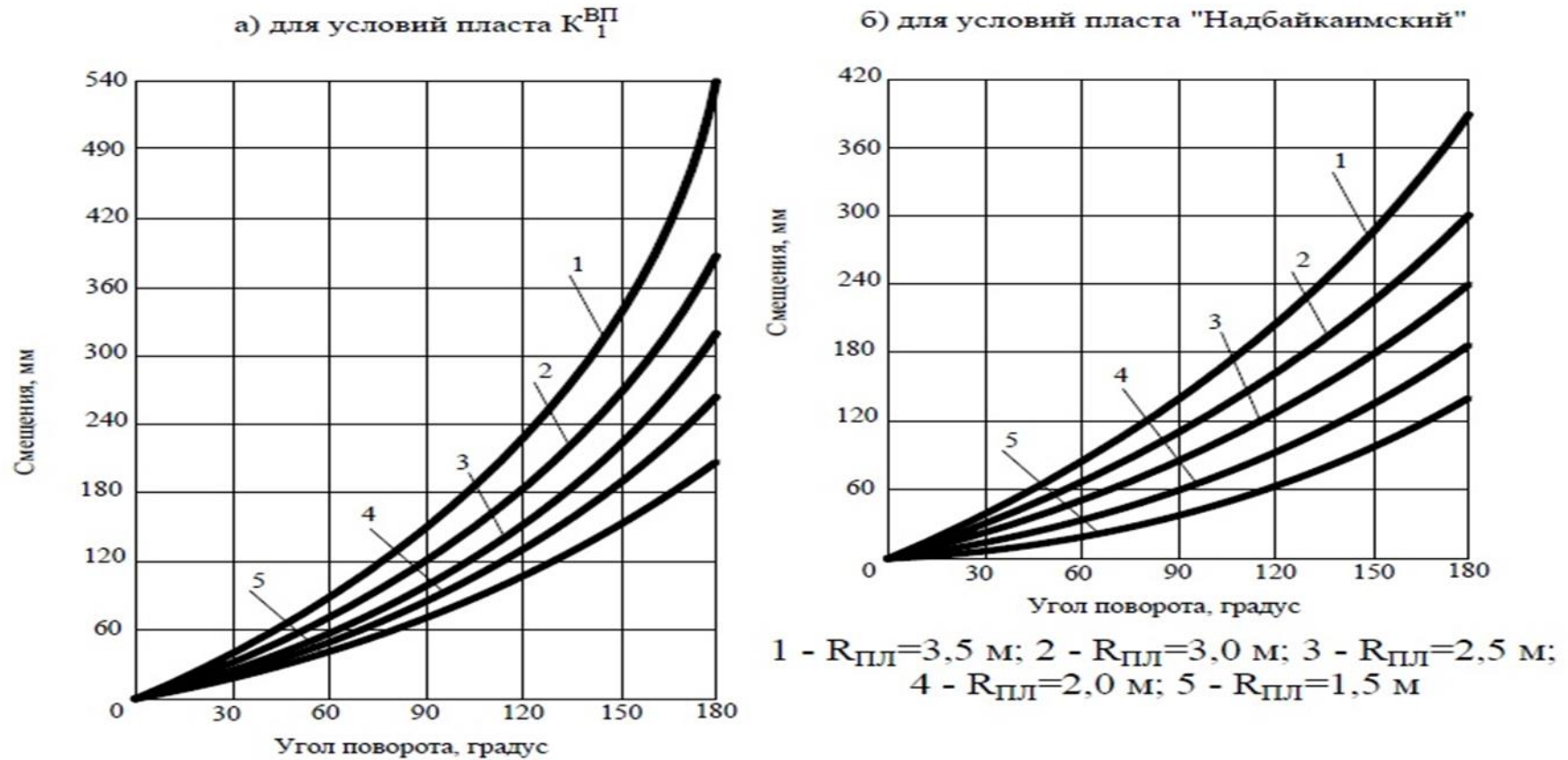


Рис. 6.20 - Ожидаемые смещения пород основной и непосредственной кровли в "плавающем центре" в зависимости от угла поворота в конкретных горно-геологических условиях

Рост коэффициента концентрации напряжений на контуре "плавающего центра" в зависимости от угла поворота при различных его радиусах ($R_{ПД}$)

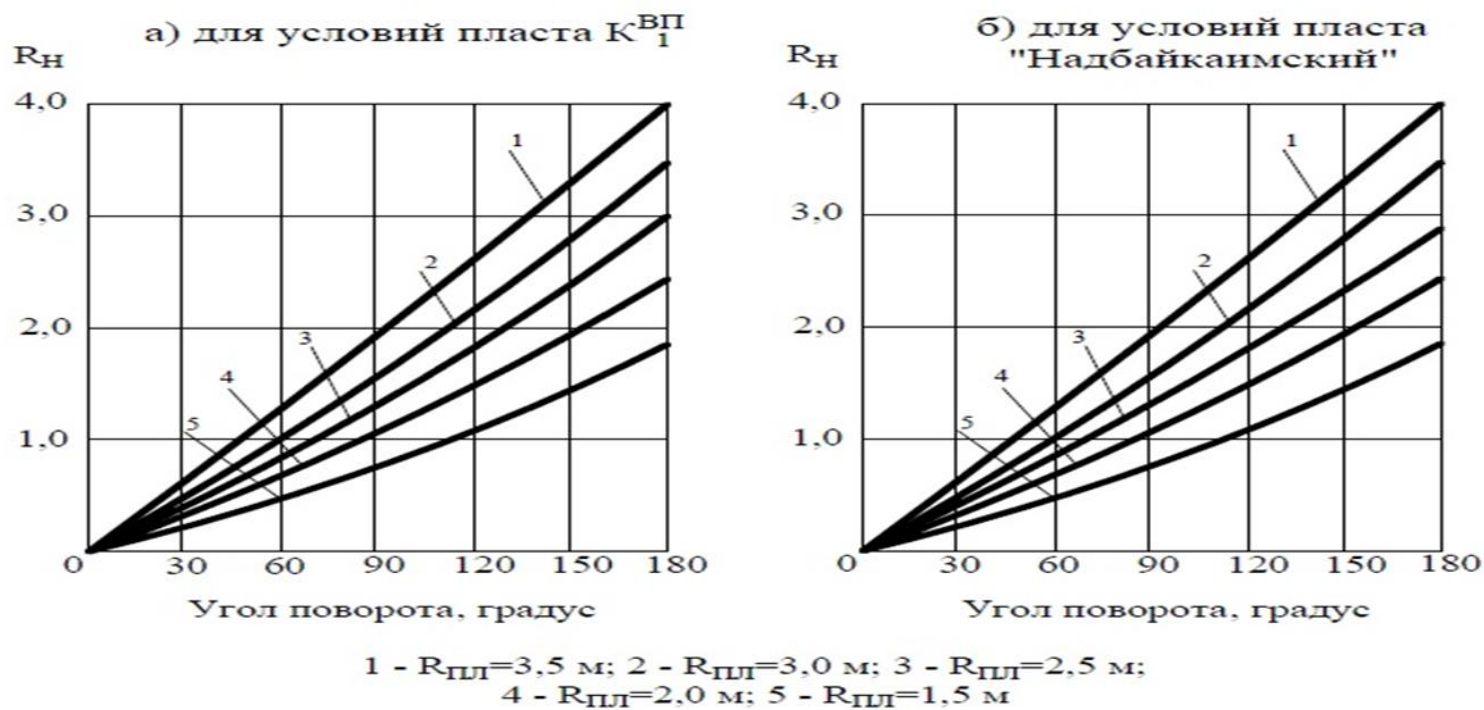


Рис. 6.21 - Графики роста коэффициента концентрации напряжений над выработкой «плавающего центра»

ВЫВОДЫ

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

2. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород в зоне центра разворота методом конечных элементов показало, что 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, что приведет к разрушению углепородного массива в зоне выработки «плавающего центра» на заключительном этапе разворота. Для условий пласта «Надбайкаимский» такое же увеличение радиуса «плавающего центра» вызывает рост коэффициента концентрации напряжений до $3,1 \div 3,2$, смещений – до 376 мм.

3. 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 компа

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».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Козлов В.В. Классификация технологических схем очистных работ с автоматизированными процессами на основе агрегатов механического действия //Горная промышленность. 2017. №1(131). С.39-40.
6. Козлов В.В., Агафонов В.В. Исследование факторов, влияющих на время непрерывного использования механизированных комплексов //Уголь. 2017. №3. С.22-24.
7. 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.
8. Рекомендации участников Всесоюзной школы передового опыта "Обмен опытом по организации разворота очистных комплексно-

механизированных лав". - Междуреченск: ш. Распадская, 15-17 мая 1985, ЦНИЭИуголь, 1985. - 4 с.

9. Опыт разворота лав. - Донецк: ЦБНТИ МУП УССР, 1985. - 4 с.

10. Лебедев В.И. Особенности взаимодействия механизированной крепи 4КМ-130 с боковыми породами при развороте лавы на 180° // Подготовка и отработка шахтного поля блок-стволами, обеспечивающими снижение объемов горных работ: Сборник научных трудов МГИ. - М., 1987. - с. 64-66.

11. Виткалов В.Г. Особенности управления горным давлением при развороте комплекса КК-27430 // Подготовка и отработка шахтного поля блок-стволами, обеспечивающими снижение объемов горных работ: Сборник научных трудов МГИ. - М., 1987. - с. 67-68.

12. Сербинович А.В. Техничко-экономическая оценка разворота механизированных комплексов // Научно-технические проблемы развития шахт: Сборник научных трудов КузПИ. - Кемерово, 1989, с. 156-160.

13. Дьяков Е.В. Исследование деформационных свойств угля в целике и смещений контура выработок при развороте механизированного комплекса // Исследование напряжений в горных породах: Сборник научных трудов СО АН СССР. - Новосибирск, 1985, с. 110-116.

14. Киячков А.П., Михеев О.В. Совершенствование технологических схем очистных работ с разворотом механизированных комплексов // Создание технологии и техники добычи угля без постоянного присутствия людей в забоях шахт: Сборник научных трудов МГИ.- М, 1984, - с. 43-46.

15. Никишичев Б.Г. Особенности технологии очистных работ с разворотом комплексов на 180° на шахте "Распадская" // Создание технологии и техники добычи угля без постоянного присутствия людей в забоях шахт: Сборник научных трудов МГИ. - М., 1984, - с. 25-27.

16. Толмак С.М. О развороте комплекса 2ОКП-10 при отработке участков неправильной формы на шахте "Северная" // Совершенствование электромеханического оборудования горных предприятий: Сборник научных трудов. Ташкент, 1987, - с. 60-64.

17. Фабияжский Л.В. Разворот комплекса 2ОКП на 90° с одновременным уменьшением длины лавы //Малооперационная технология разработки угольных месторождений с применением комплексов, агрегатов и автоматических манипуляторов: Сборник научных трудов МГИ - М., 1986, - с. 48-50.
18. Пулято Д.Ю. Особенности технологии очистных работ при развороте механизированного комплекса 1КМТ на шахте "Капитальная" п/о "Южкузбассуголь" //Малооперационная технология разработки угольных месторождений с применением комплексов, агрегатов и автоматических манипуляторов: Сборник научных трудов МГИ. - М., 1986, - с. 51-55.
19. Кузнецов Ю.Н. Отработка блоков по спиральной системе разработки //Малооперационная технология разработки угольных месторождений с применением комплексов, агрегатов и автоматических манипуляторов: Сборник научных трудов МГИ. -М., 1986, с. 17-20.
20. Глазов Д.Д. Выемка комплексами пластов с трудноуправляемыми кровлями. - Кемерово, 1977. - 175 с.
21. Худин Ю.Л., Глазов Д.Д., Мамонтов С.В. Комплексно-механизированная выемка нарушенных угольных пластов. - М.: Недра, 1985. - 199 с.
22. Особенности внедрения очистных комплексов /Под редакцией Д.Д.Глазова/ - Кемерово, 1975, 159 с.
23. Хацько В.А., Кириченко В.И. Разворот комплексно-механизированных лав на 180° //Уголь - 1984. - №5. - с. 5-6.
24. Ковачевич П.М., Птицын В.П. Опыт отработки выемочного поля механизированным комплексом без демонтажа его при переводе в следующую лаву //Уголь. - 1973. - № 2. - с. 14-16.
25. Дворецкий Н.М., Прусаков Ф.К. Опыт применения механизированных комплексов при отработке выемочных участков неправильной конфигурации //Уголь - 1972. - № 8. - с. 35-38.

26. Схемы подготовки пологопадающих пластов, не требующие демонтажа гидрофицированных комплексов /П.М.Ковачевич и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. М., -1974. - № 4. - с. 139-141.

27. Итоги эксперимента по развороту гидрофицированного комплекса на 90° /П.М.Ковачевич и др.// Вопросы горного дела: Сборник научных трудов КузПИ. - Кемерово, 1973. - с. 59-61.

28. Хорунжий В.С., Васецкий В.Н. Опыт разворота лавы на маломощном пласте шахты им. Бажанова //Уголь Украины. - 1978. - № 6. - с.10-14.

29. 29. Войтов М.Д., Брижак А.О. Оработка выемочных полей механизированными комплексами без монтажно-демонтажных работ // Вестник Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф.Горбачева. 2004. №3(40). С.35-37.

30. 30. Першин В.В., Войтов М.Д., Зырянова А.С., Пириева Н.Н. Оработка угольных пластов на шахтах нового технического уровня / Материалы IV международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». КГТУ имени Т.Ф.Горбачева. - 2015. С.71-72.

31. 31. Патент №2312987. Способ разработки шахтных полей угольных пластов / Брижак А.О., Войтов М.Д., Шитов А.Б. - №2004113994/03; заявлено 06.05.2004; опубликовано 10.08.2005; бюллетень №22.

32. Патент №2312987. Способ разработки шахтных полей угольных пластов / Войтов М.Д., Першин В.В. - №2006109970/03; заявлено 28.03.2006; опубликовано 20.12.2007; бюллетень №12.

33. Герасимчук В.Т. Новый способ разворота лав косыми заездами //Уголь Украины. - 1980. -№ 5. - с. 6-7.

34. Морзак В.А., Абрамитов И.К., Нечай И.Н. Увеличение длины выемочных полей при сложных тектонических нарушениях //Уголь Украины. - 1974. - № 5. - с 27.

35. Килячков А.П., Халимов А.И. Оработка пологих пластов с разворотом механизированных комплексов //Уголь. - 1983. - № 7. - с. 17-19.

36. Антонов И.П. Геомеханическое обоснование разворота лав на удароопасных пластах //Разработка удароопасных месторождений: Сборник научных трудов КузПИ. - Кемерово, 1986, - с. 107-110.
37. Халимов А.И., Килячков А.П. Опыт разворота механизированного комплекса на 180° //Проектирование высокопроизводительной технологии и техники для шахт: Сборник научных трудов МГИ. - М., 1982. - с. 19-24.
38. Бурчаков А.С, Шелевский Ю.А., Ярунин С.А. Технология и механизация подземной разработки пластовых месторождений. -Учебник для ВУЗов. - М.: Недра, 1989. - 431 с.
39. Федунец Б.И., Симонов В.М. Эффективность отработки пологих пластов. - М.: Недра, 1982. - 177 с.
40. Концепция создания базовой системы программно-организованных средств управления автоматизированными комплексами и развитие технологии добычи на их основе. - М.: ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1990, - 28 с.
41. Гибкая технология комплексно-механизированной выемки угля (модульный каталог ситуаций и гибких технологических схем). Пояснительная записка: Каталог ИГД им. А.А.Скочинского. -М., 1989. - 37 с.
42. Технологические схемы разработки пологих и наклонных пластов Кузнецкого бассейна: КузНИУИ. - Прокопьевск, 1989. -78 с.
43. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах на период 1990-1995 гг. ч.1. Технологические схемы (проект): ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1989. - с. 485.
44. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах на период 1990-1995 гг. ч. II. Пояснительная записка (проект): ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1989, - с. 138.
45. Технологические схемы с разворотом механизированных комплексов /Для условий шахт Кузбасса и бассейнов с аналогичными горно-геологическими условиями. Методические указания: МГИ. - М.,1987, - 63 с.

46. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах. Ч. 1. Технологические схемы: ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1979, - 338 с.

47. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах. Ч.2. Пояснительная записка: ИГД им. А.А.Скочинского. - М.1979, - с. 247.

48. Гибкая технология комплексно-механизированной выемки угля в условиях геологически нарушенных пластов (Методическое и программное обеспечение: макет системы (Первая редакция): ИГД им. А.А.Скочинского, Люберцы, 1988, - 110 с.

49. Гибкая технология комплексно-механизированной выемки угля (Модульный каталог ситуаций и гибких технологических схем):ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1989, - 41 с.

50. Экспериментальная технология отработки геологически нарушенных выемочных столбов механизированными комплексами (Справочник модулей и критических ситуаций и каталог их решений):ТулПИ. - Тула, 1983. - 90 с.

51. Батманов Ю.К., Захаров Е.П., Квасник О.И. Совершенствование технологии добычи угля на основе модульного принципа //Уголь.1939. - № 9 - с. 32-34.

52. Козлов В.В. Совершенствование системы управления шахты //Горный журнал. 2013. №5. С. 67.

53. Гуляев О.К., Потапов А.А. Функции автоматизированной системы управления производством угольной шахты //Гибкие технологии роботизация и САПР горных работ: Сборник научных трудов ТулПИ. -Тула, 1987, - с. 8-11.

54. Глазов Д.Д. Искусственный интеллект гибкой технологии комплексно-механизированной выемки угля //Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов: Сборник научных трудов ТулПИ. -Тула, 1986. - с. 26-36.

55. Козлов В.В. Методика исследования автоматизированного решения разворота очистного забоя // Уголь. 2010. №2. С.42-43.
56. Вождение механизированных комплексов в сложных горно-геологических условиях /Д.Д.Глазов и др. - Кемерово, 1975. - 159 с.
57. Глазов Д.Д. Выемка комплексами пластов с трудноуправляемыми кровлями. - Кемерово, 1977. - 175 с.
58. Бурчаков А.С. Совершенствование технологии подземной добычи угля на основе ускорения научно-технического прогресса //Уголь. - 1986. - № 8. - с. 21-23.
59. Козлов В.В., Мельник В.В. Анализ исследований и сочетания гидравлической технологии и процессов добычи угля //Уголь. 2017. №2. С.16-18.
60. Гибкие технологии, роботизация и САПР горных работ. Сборник научных трудов ТулПИ - Тула, 1987. - 117 с.
61. Батманов Ю.К., Захаров Е.П., Квасник О.И. Совершенствование технологии добычи угля на основе модульного принципа //Уголь -1989. - № 9. - с. 32-34.
62. Краткий отчет по хоздоговорной научно-исследовательской работе "Освоить и внедрить в практику работы шахт ГПО "Кузбасс-госуглепром" гибкую технологию в условиях геологически нарушенных пластов с программным обеспечением ЭВМ" № 01922417000 (промежуточный): ИГД им. А.А.Скочинского. - Люберцы, 1988. - 37 с.
63. 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.
64. Штеле В.И. Имитационное моделирование развития подземных горных работ. - Новосибирск: Наука, 1984. - 177 с.

65. Курленя М.В., Левин В.С., Штеле В.И. Теория горной технологии. Перспективы развития //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 1983. - № 4. - с. 77-86.
66. Бурчаков А.С, Кафорин Л.А., Харченко В.А. Совершенствование методов выбора технологических схем и их оптимальных параметров при проектировании высокопроизводительных угольных шахт. - М.: ЦНИЭИуголь, 1971. - 29 с.
67. Бурчаков А.С, Харченко В.А., Кафорин Л.А. Выбор технологических схем угольных шахт. - М.: Недра, 1975. - 272 с.
68. Выбор параметров шахт для месторождений с изменчивыми горно-геологическими условиями /Ликальтер Л.А., Смиренский М.М., Федоров В.П., Рожкова Н.Б. - М.: ЦНИЭИуголь, 1981. - № 5. -49 с.
69. Штеле В.И. Развитие методов системного моделирования технологии горных работ в исследованиях Красноярского отдела ИГД СО АН СССР //Оптимизация подземных горных работ на рудниках:Сборник научных трудов ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1989. - с. 3-18.
70. Глазов Д.Д. Методологические основы управления состоянием массива горных пород. Ч. 1. Методическая разработка к семинарским занятиям по курсу "Управление состоянием массива горных пород: ТулПИ. - Тула, 1983 - 16 с.
71. Глазов Д.Д. Понятийное рассмотрение проблем горной геомеханики /Горный журнал - 1983. - № 3. - с. 4-13.
72. Глазов Д.Д. Моделирование методов системного изучения геомеханических и горнотехнических объектов //Горный журнал. 1983.№7. - с. 6-14.
73. Глазов Д.Д. Методологические основы управления системой "Механизированная крепь - боковые породы"// Горный журнал. 1983. №7. - с. 70-71.
74. Андронов СП. О формах преобразования информации в базах знаний ГПС комплексно-механизированной выемки угля //Гибкие технологии,

роботизация и САПР горных работ: Сборник научных трудов ТулПИ. -Тула, 1987. - с. 39-47.

75. Витковский Э.И. Информационно-вычислительные системы горного производства //II Всесоюзная конференция "Информатика недр (банки данных, базы знаний, компьютерные технологии): Тезисы докладов. - Кемерово, 1989. - с. 8.

76. 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.

77. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. - 488 с.

78. Принципы построения имитационной модели отработки панели. /М. М. Смиренский и др. //Горнотехнические проблемы: Сборник научных трудов ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1989. - с. 28-32.

79. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами - М.: Энергия, 1987. - 288 с.

80. Системные эффекты межэкранного дробления и синтез технологических решений управления тяжелой кровлей /Д.Д.Глазов и др.//Горный журнал. - 1986. - № 2. - с. 13-20.

81. Определение рациональных областей применения схем подготовки шахтных полей /Шор А.И., Колесникова Р.Т., Сидорова С.Л.,Сафонов Н.С. //Совершенствование технологии подземных горных работ: Сборник научных трудов ИГД им. А. А. Скочинского. - М., 1984. - с. 3-10.

82. 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.

83. Бограчев Ю.В. Конструирование оптимальных технологических схем выемочных участков на основе оценки уровня их качества //Подземные разработки тонких и средней мощности угольных пластов: Сборник научных трудов ТулПИ: Тула, 1986. - с. 17-21.

84. Глазов Д.Д., Андронов С.П. Предмашинная подготовка базы знаний искусственного интеллекта геомеханических и технологических систем //Изв.вузов. Горный журнал. - 1987. - № 7. - с. 11-17.

85. Glazov D.D., Andronov S.P. Pre-reguisities of artificial intelligence for geomechanical and technological systems //Soviet Mining Jornal-1987- v/1,-№3, P.144-155.

86. Глазов Д.Д. Методология применения геомеханических знаний к принятию технологических решений //Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов: Сборник научных трудов ТулПИ. - Тула, 1984. - с. 22-28.

87. Глазов Д.Д. Системные модели управления состоянием породного массива в области комплексно-механизированной выемки угля //Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов: Сборник научных трудов ТулПИ. - Тула,1985. - с. 17-25.

88. Глазов Д.Д. Прикладной НТО для построения искусственного интеллекта геомеханических и горнотехнологических систем// Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов: Сборник научных трудов ТулПИ. – Тула. 1984. – с.28-30.

89. Глазов Д.Д., Андронов С.П. Формальное изучение новых технологических решений на основе базы знаний в языке тернарного описания //Изв.вузов. Горный журнал - 1987. - № 9. - с.14-21.

90. Glazov D.D., Andronov S.P. Formal achiving of new technological solutions the basis of knowledge-base in the language of ternary structure //Soviet Mining Jornal - 1987 -v.1, - №3,- p.144-155.

91. Квон С.С., Хан С.И., Есенбаева Г.А. САПР паспортов выемочного участка угольных шахт //II Всесоюзн. семинар "Информатика недр (банки

данных, базы знаний, компьютерные технологии). Тез. докл. - Кемерово, 1989. - с. 89.

92. Глазов Д.Д. Технологическая гибкость систем выемки угля, формируемых на базе интеллектуальной роботизации механизированных комплексов //Гибкие технологии, роботизация и САПР горных работ: Сборник научных трудов ТулПИ - Тула, 1987. - с.19-28.

93. Expert Systems Coming to Mining //Coal Age. -1987-№ 3.- p. 54.

94. Применение компьютерных систем с искусственным интеллектом в горной промышленности (США) – М.; ЦНИЭИуголь, 1988.-№ 5.- с. 1-2.

95. Denby B., Atrinson T., Expert System Aplication in the Mining Industry// The Mining Engineer.-1988.-№30.-p. 505-509.

96. Применение экспертных систем в горной промышленности. М.: ЦНИЭИуголь, 1988. - № 23.

97. Mill A.J.B. Second Generation CAD and IT systems for Mining Planning and Mana Mining //Coal Age. -1987-№ 3.- p. 58.

98. Клименш Ц., Валнически И. Вспомогательная система принятия решений при оценке эффективности разработки тонких пластов //Уголь - 1989. - № 12 - с. 49-55.

99. Лурий В.Г., Гордезиани З.А., Саникидзе Б.Г. К вопросу о конструировании технологических схем выемки угля //Уголь. 1990. - №4. - с. 22-24.

100. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семантике / Новости искусственного интеллекта. 2002. №6(54). С.2-12.

101. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени //Изв. РАН. Теория и системы управления. -2001. - №6. – С.114-123.

102. Еремеев А.П. Применение обучения с подкреплением в интеллектуальных системах реального времени / Труды Конгресса по интеллектуальной собственности и информационным технологиям. – М.: Физматлит, 2014. – Т.1. - С.263-271.

103. Кулинич А.А. Семиотическая когнитивная архитектура СППР / Труды Конгресса по интеллектуальной собственности и информационным технологиям. – М.: Физматлит, 2014. – Т.2. - С.146-153.
104. Бурчаков А.С, Жежелевский Ю.А., Ярунин С.А. Технология и механизация подземной разработки пластовых месторождений. - М.: Недра, 1989. - с. 432.
105. Кмэс Ф., Вайхаймер О. Повороты лав в каменноугольной промышленности ФРГ //Глюкауф. - 1980. - № 11. - с. 4-12.
106. Разворот механизированной лавы на 180° //Новости зарубежной угольной промышленности. - М.: ЦНИЭИуголь, 1975. - № 5. - с. 7-12.
107. Штайнбах Х. Применение щитовой крепи в лавах на границе пригодности запасов к отработке //Глюкауф. - 1976. - № 10. - с. 30-34.
108. Намакштанский В.Я., Дубина В.Я. Переход механизированными комплексами геологических нарушений и старых выработок //Уголь Украины. - 1981. - № 6. - с. 19-20.
109. Каталог основных работ института, рекомендуемых к внедрению в XII пятилетке. КузНИУИ. - Прокопьевск, 1987.
110. Пулято Д.Ю. Обоснование параметров технологических схем при движении забоя по криволинейной траектории: Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н./МГИ.-М., 1989.18с.
111. Чекавский В.И., Скурыдина Т.И., Клепиков В.М. Состояние монтажа и демонтажа механизированных комплексов на шахтах //Уголь. - 1984. - № 1. - с. 27-31.
112. Никитин В.Д. Комплексная механизация очистных работ и перспективы ее развития //Уголь - 1980. - № 8. - с. 4-8.
113. Чекавский В.И. Повышение эффективности монтажа, демонтажа и ремонта оборудования очистных механизированных комплексов // Уголь - 1980. - № 9. с. 60-67.
114. Бальтес I. Разворот лавы с помощью компьютера на шахте "Остерфельд" //Глюкауф. - 1990. - № 3/4. - с. 57-60.

115. Килячков А.П., Михеев О.В. Об увеличении времени непрерывного использования механизированных комплексов //Уголь. -1985. - № 11. - с. 22-24.
116. Козлов В.В. Каталог технологических схем разворота механизированного комплекса. (Монография) МГГУ, Москва, 2011 – С.150.
117. Птицын В.М., Якимов Г.И., Прусаков Ф.К. Обоснование направления и порядка выемки клинообразных стружек при круглом движении комплекса //Вопросы горного дела: Сборник научных трудов КузГТУ. - Кемерово, 1973. - с. 65-69.
118. Козлов В.В. Анализ существующих классификаций технологических схем с разворотом лавы //Уголь. 2010. №3. С. 64-65.
119. Козлов В.В., Михеева А.Б., Оганесян А.С. Классификация технологических схем очистных работ с разворотом механизированных комплексов //Уголь. 2017. №2. С.8-10.
120. Frosch R.A., Miller C.G., Stephens J.B. Underground mineral extraction. 1980.
121. 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.
122. 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.
123. Ржевский В.В. Задачи горной науки в деле дальнейшего совершенствования горного производства //Сб. МИРГЭМ, 1962. - № 46. с. 3-13.
124. 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.

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

126. 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.

127. 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.

128. Белобрагина Е.В. Системы принятия решений: Подход и инструментальные средства //II Всесоюзный семинар "Информатика недр (Банки данных, базы знаний, компьютерные технологии)". Тез. докл. - Кемерово, 1989. - с. 48.

129. Козлов В.В. Современное развитие процесса автоматизации задач организации производства //Уголь. 2013. №5. С. 50-51.

130. 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.

131. Козлов В.В. Моделирование гибких технологических систем очистных работ //Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №7. С.142-144.
132. Козлов В.В. Методология обоснования принципов формализации горно- технологических задач. (Монография) МГГУ, Москва 2010 – С.240;
133. Комплекс программ ЭКО. Описание применения.
134. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназов М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990. - 264 с.
135. Сойер Б., Фостер Д. Программирование экспертных систем на Паскале. - М.: Финансы и статистика, 1990. - 191 с.
136. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. - М.: Мир, 1989. - 390 с.
137. Попов Э.В. Экспертные системы: решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. - М.: Наука, 1987. - 288 с.
138. Пospelов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. - М.: Энергоиздат, 1981. - 231 с.
139. Искусственный интеллект. Книга 2. В 3-х книгах. Модели и методы: Справочник /Под ред. Д. А. Пospelова. - М.: Радио и связь, 1990. – 304с.
140. Интер-эксперт. Руководство пользователя. Ч. VIII. Демонстрационный пример. - Калинин: Центрпрограмм - систем, 1989. - 28 с.
141. 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.
142. Шапот М.Д. Вывод решений в условиях неопределенности в системе ЭКО //Экспертные системы на персональных компьютерах.: Тез.докл. - М., 1990. - с. 52-56.
143. Интер-эксперт. Руководство пользователя. Ч.1. Меню системы. – Калинин: Центропрограмм – систем, 1989. – 180 с.
144. Команды систем. - Калинин: Центрпрограмм - систем, 1989. - 188 с.

145. Интер-эксперт. Руководство пользователя. Ч.III. Справочное руководство - Калинин: Центрпрограмм - систем, 1989. - 164 с.
146. Интер-эксперт. Руководство пользователя. - Ч.IV. Справочное руководство - Калинин: Центрпрограмм - систем, 1989. -128 с.
147. Интер-эксперт. Руководство пользователя. Ч.V. Справочное руководство - Калинин: Центрпрограмм - систем, 1989. - 108 с.
148. Интер-эксперт. Руководство пользователя. Ч.VI. Справочное руководство. - Калинин: Центрпрограмм - систем, 1989. - 120 с.
149. Интер-эксперт. Руководство пользователя. Ч.VII. Справочное руководство. - Калинин: Центрпрограмм - систем, 1989. - 144 с
150. Козлов В.В. Разработка методики экспертного опроса при решении организационно-технологических задач //Горная промышленность. 2013. №3(109). С.79-80.
151. Козлов В.В. Организация знаний при создании системы автоматизированной поддержки решений по выбору организационно-технологических схем //Уголь. 2013. №5. С. 50-51.
152. "Разработать окончательную редакцию альбома технологических схем с разворотом механизированных комплексов" по теме П7-2-1 № Гос. регистрации 01822003794. - М., МГИ, 1985.
153. А.С. 228 /СССР/. Способ разворота механизированного комплекса. /Бурчаков А.С., Килячков А.П., Михеев О.В., Ялевский В.Д., Малышев Ю.Н., Никишичев Б.Г., Евтушенко А.Е./ Опубл. в Б.И., 1986.
154. Разработка методики выбора рациональных параметров технологических схем в зависимости от горно-геологических и горно-механических условий отработки пологих угольных пластов гидрошахт Кузбасса. Математическая модель горно-геологических условий отработки угольных пластов. Отчёт по теме. Рук. В.Н. Фрянов. - Новокузнецк: СМИ, 1982. - 59 с.
155. Методические указания к составлению проекта подготовки и отработки выемочного столба с разворотом механизированного комплекса на

примере лавы 30-6 пласта 30 гор. 135 м в условиях шахты «Новокузнецкая» ПО "Южкузбассуголь". Авторы: А.С. Бурчаков, Ю.Н. Малышев, О.В. Михеев, А.П. Килячков, А.И. Халимов. - Новокузнецк: Южкузбассуголь, 1982. - 39 с.

156. Пояснительная записка к проекту подготовки и отработки лав 4-7-14 и 4-7-16 комплексом 4КМ-130 в условиях шахты "Распадская". - Междуреченск, 1983. - 33 с.

157. Малышев Ю.Н., Михеев О.В., Никишичев Б.Г. О развороте комплекса 4КМ-130 на 180° на шахте "Распадская". //Уголь, 1985, № 5. – С. 55-58.

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

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

160. Халимов А.И. Исследование и оптимизация параметров технологических схем отработки выемочных полей с разворотом механизированных комплексов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М.: МГИ, 1983. - 223 с.

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

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

163. Ержанов Ж.С., Каримбаев Г.Д. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород. - Алма - Ата: Наука, 1975. - 237 с.

164. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. - М.: Мир, 1975. - 541 с.

165. Амусин Б.З., Фадеев А.Л. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики. - М.: Недра, 1975. - 144 с.
166. Деклу Ж. Метод конечных элементов: Пер. с франц. - М.: Мир, 1976. - 95 с.
167. Розин Л.А. Метод конечных элементов в приложении к упругим системам. - М.: Стройздат, 1977. - 127 с.
168. Стренг Г., Фикс Д. Теория метода конечных элементов: Пер. с англ. - И.: Мир, 1977. - 350 с.
169. Сагерлинд Л. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. - М.: Мир, 1979. - 392 с.
170. Палех Б.Л., Лазько В.А. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений. - Киев: Наукова думка, 1982. - 295 с.
171. Козлов В.В., Агафонов В.В. Обоснование метода математического моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Уголь. 2017. №3. С.70-72.
172. Фрянов В.Н., Колесников А.П. Определение коэффициентов концентрации напряжений с помощью интеграционной палетки при обработке пологих угольных пластов // Совершенствование техники и технологии гидродобычи угля: Сборник научных трудов ВНИИгидроуголь. Новокузнецк. 1986. - с. 68 - 75.
173. Златицкий А.Н. Исследование напряженно - деформированного состояния выемочных столбов при системе разработки с короткими очистными забоями // Гидравлическая добыча угля: Сборник научных трудов ВНИИгидроуголь. 1977. Вып. 40. - с. 3-8.
174. Власов Б.З., Леонтьев Н.Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. - М. Физматгиз, 1960. - 492 с.
175. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции: Пер. с нем. - М.: Наука, 1968. - 344 с.
176. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. - М.: Недра, 1982. - 270 с.

177. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р. И. Тедер И, Е. С. Ваталин, Н. Ф. Кундыш. - М.: Недра, 1969. - 392 с.
178. Механика горных пород и устойчивость выработок шахт Кузбасса / Под ред. В. Г. Кожевина. - Кемерово, 1973. - 248 с.
179. Кавлакан Н. В., Михайлов А. М. Решение смешанной статической задачи теории упругости для полупространства на упругом основании // Докл. АН СССР. 1980. т. 251. №6. - с. 1338 - 1341.
180. Кавлакан М. В., Михайлов А. М. Смешанная краевая задача теории упругости для полупространства на упругом основании // Изв. АН СССР. МТТ. 1981. № 6. - с. 77 - 86.
181. Прудников А. П., Бричков Ю. А., Маричев О. И. Интегралы и ряды. - М.: Наука, 1981. - 800 с.
182. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовиц, И. Стиган: Пер. с англ. - М.: Наука, 1979. - 832 с.
183. М. Я. Механика деформации и разрушений. Физико - математические основы теории. - Фрунзе: Илим, 1981. - 236 с.
184. Кратч Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений: Пер. с нем. - М.: Недра, 1978. - 494 с.
185. Методика выбора рациональных параметров технологических схем очистной выемки пологих угольных пластов гидрошахт Кузбасса / ВНИИгидроуголь. - Новокузнецк, 1988. - 139 с.