

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

БАБЫРЬ НИКИТА ВАЛЕРЬЕВИЧ



**ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ К СЛОЖНЫМ
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ СЕКЦИИ КРЕПИ ОЧИСТНОГО
МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Габов Виктор Васильевич

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ	11
1.1 Анализ развития очистных механизированных комплексов и классификация их механизированных крепей	11
1.2 Классификация секций механизированных крепей.....	17
1.3 Анализ этапов развития секций механизированных крепей очистных механизированных комплексов для пологих пластов средней мощности.....	24
1.4 Оценка устойчивости процесса добычи угля комплексно-механизированных очистных забоев и средств комплексной механизации на примере АО «Шахта «Полосухинская».....	35
1.5 Анализ развития адаптивных секций механизированных крепей очистных механизированных комплексов	47
1.6 Выводы по главе 1 и задачи исследования.....	60
ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ.....	61
2.1 Особенности объекта исследования и выбор метода исследования.....	61
2.2 Выявление закономерности развития функциональных возможностей и адаптивности секций механизированной крепи	63
2.3 Теоретические исследования процесса взаимодействия секций механизированной крепи с породами непосредственной кровли за цикл выемки.....	74
2.4 Оценка степени ослабления прочности и устойчивости пород непосредственной кровли при циклически повторяющихся силовых воздействиях секций механизированной крепи.....	84
2.5. Выводы по главе 2.....	89
ГЛАВА 3 СИНТЕЗ СХЕМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АДАПТИВНЫХ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ.....	91
3.1 Секция механизированной крепи с опорной и направляющей балками	91
3.2 Секция механизированной крепи с телескопическим перекрытием	96
3.3 Устройство безимпульсного регулирования сопротивлением гидростойки секции механизированной крепи.....	106
3.3.1 Методика выбора параметров гидротрансформатора	107

3.3.2 Методика проведения эксперимента на стенде завода ООО «Красный Октябрь»	109
3.4 Выводы по главе 3.....	117
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ГИДРОСТОЙКЕ СЕКЦИИ КРЕПИ	118
4.1 Расчетная схема гидрофицированной крепи с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии.....	120
4.2 Формирование блок-схемы переходного процесса	127
4.3 Математическое описание системы в соответствии с принятыми допущениями....	128
4.4 Выводы по главе 4.....	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ А Справка о внедрении	141
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Патент на полезную модель №173403	151
ПРИЛОЖЕНИЕ В Патент на полезную модель №169381	152
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Патент на полезную модель №191483	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Код математического моделирования	154

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Уголь относится к стратегическим видам сырья и является одним из важнейших сырьевых материалов для энергетической, металлургической и химической промышленности, а с учетом разведанных больших его запасов с ним связаны и перспективы будущего развития указанных отраслей.

В настоящее время в угольной промышленности 3/4 объема угля добывается подземным способом очистными механизированными комплексами. Интенсивность добычи угля возрастает. В процесс добычи вовлекаются угольные пласты со сложными горно-геологическими условиями и слабыми непосредственными кровлями, значения параметров, которых, изменяются в широком диапазоне. Переменные условия эксплуатации обуславливают нестабильность режимов работы механизированных крепей и существенное снижение эффективности работы очистных комплексов.

При этом механизированные крепи по своему назначению выполняют основные функции – управление горным давлением, поддержанием кровли и ограждение призабойного пространства необходимые для создания условий эффективной и безопасной работы в очистных забоях. Однако в процессе отработки выемочных столбов современные дорогостоящие механизированные крепи при постоянно возрастающей нагрузке на очистные забои не достаточно адаптивны к изменяющимся горно-геологическим условиям, а их применение не обеспечивает устойчивой работы очистных механизированных комплексов в рациональных режимах.

Для решения проблемы повышения устойчивости работы очистных механизированных комплексов в рациональных режимах, необходима разработка новых схемных и конструктивных технических решений секции механизированной крепи адаптивной к изменяющимся горно-геологическим условиям.

Степень разработанности темы исследования

Существенный вклад в развитие теории и практики создания механизированных крепей вложили отраслевые научно-исследовательские институты: ИГД им. А.А. Скочинского, Донгипроуглемаша, ДонУГИ, ВНИМИ, а также такие известные ученые как: В.Н. Гетопанов, И.А. Кияшко, В.Н. Клишин, Ю.А. Коровкин, Ю.Ф. Пономаренко, Б.А. Фролов, В.И. Хорин, Г.И. Ягодкин, S.S. Peng, H.S. Chiang, и др.

Несмотря на наличие разработанных ГОСТов, методик расчетов, нормативных документов, а также научных статей и монографий вопросам разработки схемных и конструктивных технических решений, повышающих адаптивность секций механизированных крепей, а также обоснованию их структуры и параметров уделялось недостаточное внимание, что требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель исследования

Выявление закономерностей силового взаимодействия секций механизированной крепи с породами непосредственной кровли для разработки научно обоснованных технических решений секции механизированной крепи, способных адаптироваться к изменяющимся горно-геологическим условиям, что обеспечит повышение эффективности и безопасности процесса добычи угля в комплексно-механизированных очистных забоях и в развитие горной отрасли страны.

Идея исследования заключается в повышении адаптивности в процессе силового взаимодействия секции механизированной крепи с породами непосредственной кровли:

- в режиме пошагового перемещения секций крепи – обоснованием структуры и параметров схемных и конструктивных технических решений контактно и кинематически адаптивных секций крепи к изменяющимся горно-геологическим условиям;

- в режиме управления горным давлением – переходом на безимпульсное регулирование сопротивления механизированной крепи опусканию пород непосредственной кровли с рекуперацией энергии горного давления в гидросистему комплекса и переходом на повышенное давление в гидросистеме.

Задачи исследования:

1. Анализ и обобщение производственного опыта известных результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации.

2. Проведение теоретических исследований процесса силового взаимодействия секций механизированной крепи с породами непосредственной кровли в комплексно-механизированном очистном забое угольных шахт.

3. Обоснование параметров устройства безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород непосредственной кровли.

4. Математическое моделирование процесса функционирования гидростоек с безимпульсным регулированием сопротивления гидростоек опусканию пород непосредственной кровли.

5. Разработка схемных и конструктивных технических решений адаптивных секций механизированной крепи к изменяющимся горно-геологическим условиям.

Научная новизна работы:

1. Установлена зависимость степени ослабления прочности и устойчивости пород непосредственной кровли в процессе циклических силовых воздействий механизированной крепи от кратности силовых воздействий на породы кровли и от степени напряженности пород в контакте с перекрытием секции крепи оцениваемая коэффициентом топания кровли.

2. Установлено, что максимально возможное время работы блока в режиме регулирования за цикл выемки, ограничено геометрическими размерами

гидротрансформатора, встроенного в полость штока второй ступени гидростойки и увеличивается пропорционально давлению рабочей жидкости во входном цилиндре и квадрату диаметра выходного гидроцилиндра гидротрансформатора блока безимпульсного регулирования.

Теоретическая и практическая значимость работы:

На основе анализа структуры и осуществляемых операций секцией механизированной крепи установлено, что при силовом взаимодействии секций механизированной крепи с породами непосредственной кровли при передвижке секций крепи уменьшение диапазона изменчивости величины контактных напряжений в породах кровли может быть достигнуто введением дополнительных структурных элементов с повышенным усилием подпора обеспечивающих снижение коэффициента трения скольжения с подшипниковой опорой, а также неподвижность их контакта с кровлей.

Обоснованы схемные и конструктивные технические решения, повышающие контактную и кинематическую адаптивности секции механизированной крепи, и как следствие, устойчивость процесса управления кровлей в комплексно-механизированных очистных забоях и производительность очистных механизированных комплексов.

Результаты исследований использованы в научно-исследовательской работе «Исследование нагруженности секций механизированной крепи и разработка рекомендаций по повышению устойчивости их работы на основе безимпульсного управления горным давлением для условий шахты им. А.Д. Рубана» в рамках хоздоговора №16040 и №17027, Санкт-Петербург, 2016-2018 годы.

Результаты работы использованы с целью повышения устойчивости очистных механизированных комплексов КМ138 в рациональных режимах для условий АО «Шахты «Полосухинская» (патент на полезную модель RU №191483 от 29.04.2019 г.; справка о внедрении АО «Шахта Полосухинская» от 03.02.2019 г.).

Методология и методы исследования

В работе использован комплексный метод исследований, включающий научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований, теоретические исследования, синтез схемных и конструктивных технических решений, промышленный эксперимент, компьютерное моделирование и обработка полученных результатов методами математической статистики.

Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.05.06 – Горные машины по п.4 области исследования «Обоснование и выбор конструктивных и схемных решений машин и оборудования во взаимосвязи с горнотехническими условиями, эргономическими и экологическими требованиями».

Положения, выносимые на защиту:

1. Установлено, что циклически повторяющиеся силовые воздействия секций механизированной крепи на породы кровли при выполнении операций цикла приводят к снижению прочности и устойчивости пород непосредственной кровли, оцениваемых коэффициентом топтания пород кровли, равным произведению коэффициентов, характеризующих степень кратности воздействия секции крепи на непосредственную кровлю, степень напряженности пород непосредственной кровли зоне контакта с перекрытием секции крепи в режиме управления горным давлением, прочностные свойства непосредственной кровли, с учетом степени ослабления пород непосредственной кровли вследствие ее трещиноватости и слоистости;

2. Для известных условий эксплуатации, типа секций крепи и конвергенции боковых пород в комплексно-механизированном очистном забое повышение энергетической эффективности функционирования гидросистемы гидростойки с блоком непрерывного безимпульсного регулирования её сопротивления опусканию пород кровли, оцениваемой

снижением потерь гидравлической энергии, передаваемой в напорную магистраль гидросистемы механизированной крепи очистного механизированного комплекса за цикл, достигается совершенствованием структуры гидросистемы с блоком безимпульсного регулирования сопротивлением, снижением гидравлических сопротивлений гидросистемы и уменьшением количества последовательных структурных элементов в блоке с 8 до 4х, исключением внешних соединительных каналов и переводом функционирования гидросистемы на повышенное давление второй ступени гидростойки.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Научные положения, выводы и рекомендации, разработанные в диссертации, соответствуют положениям теории, построенной на известных фактах, и удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Основные положения и результаты работы докладывались и получили положительную оценку на Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд на будущее» (г. Тула, 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); Международной конференции «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.).

Личный вклад соискателя заключается, в постановке цели, в формулирование задач и в разработке методик исследований; в проведении анализа процесса циклического взаимодействия гидростоек секций механизированной крепи с породами непосредственной кровли; в формулировании положений и выводов выносимых на защиту; в разработке

схемных и конструктивных технических решениях контактно и кинематически адаптивной секций механизированной крепи; в проведении математического моделирования процесса функционирования гидростоек с безимпульсным регулированием сопротивления опусканию пород непосредственной кровли

Данные о публикациях автора

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в одной статье - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus; новизна решений защищена тремя патентами на полезную модель.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, общим объемом 156 страниц печатного текста, содержит 16 таблиц, 57 рисунков, 5 приложений. Список литературы включает 106 наименований.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

1.1 Анализ развития очистных механизированных комплексов и классификация их механизированных крепей

В настоящее время основной объем добычи полезного ископаемого подземным способом приходится на комплексно-механизированные очистные забои (КМОЗ). Первый успешный опыт промышленного применения очистных механизированных комплексов (ОМК) относится к 70-м годам XX века, и до настоящего времени продолжает активно развиваться [75].

КМОЗ включает в себя следующие структурные элементы:

- «забой» - торцевая поверхность пласта, с которой добывается полезное ископаемое (почва, кровля пласта и вмещающие породы, свойство и параметры которых существенно влияют на эффективность процесса добычи);
- призабойное пространство (лава), в котором расположены забойный конвейер, механизированная крепь и выемочная машина;
- пластовые выработки (вентиляционный и конвейерный штреки);
- сопряжения лавы с пластовыми выработками.

В работе термин «забой» будет использоваться в разных смыслах в зависимости от контекста. Согласно «Горной энциклопедии», забой – это, при разработке месторождений полезное ископаемое, передвигающаяся в пространстве поверхность или вмещающих его пород, с которой осуществляется его выемка, при этом забой это и поверхность, и пространство, прилегающее к ней и оборудование, располагаемое в нем. К таким забоям относятся очистные, проходческие, подготовительные, резервные и другие [1, 46].

Прочностные свойства и параметры угольного пласта и вмещающих пород существенно влияют на эффективность процесса добычи.

Очистной механизированный комплекс (ОМК) – это совокупность технологически согласованных по основным параметрам горных машин, механизмов и оборудования, кинематически соединённых в единую систему, предназначенную для механизации выемки угля и доставки его на подготовительную выработку, поддержания пород кровли и управления состоянием вмещающих пород в призабойном пространстве [3].

Создание и внедрение ОМК в практику подземной добычи угля послужило мощным толчком для развития угольных шахт, что привело к повышению технического уровня и технологий подземной добычи. Использование ОМК в угольной отрасли привело к расширению области их применения. Они стали использоваться для добычи других полезных ископаемых с пластовой структурой залегания, в частности на калийных рудниках [19].

В состав основного оборудования и систем ОМК представленного на рисунке 1.1 входят [5, 82]:

- выемочная машина (комбайн или струг) (5), осуществляющие отделение угля от массива пласта и погрузку отделенной массы на забойный конвейер;

- забойный скребковый конвейер (6), осуществляющий транспортирование вдоль лавы горной массы до конвейерного штрека;

- механизированная крепь (4), выполняющая функции поддержания кровли, управления горным давлением в очистном забое, защиты призабойного пространства от проникновения в него обрушенных пород и угля, и перемещения оборудования комплекса по мере подвигания забоя в процессе добычи угля;

- перегружатель (7) - установленная в штреке вспомогательная конвейерная установка, принимающая уголь с забойного конвейера и

передающая его на ленточный конвейер;

- энергопоезд (2) - комплект пускорегулирующей аппаратуры, снабжающий ОМК электроэнергией, включающий насосную станцию для подачи водомасляной эмульсии в гидросистемы комплекса, насосную станцию для подачи воды в систему пылеподавления к исполнительным органам комбайна и к местам перегрузок [103].

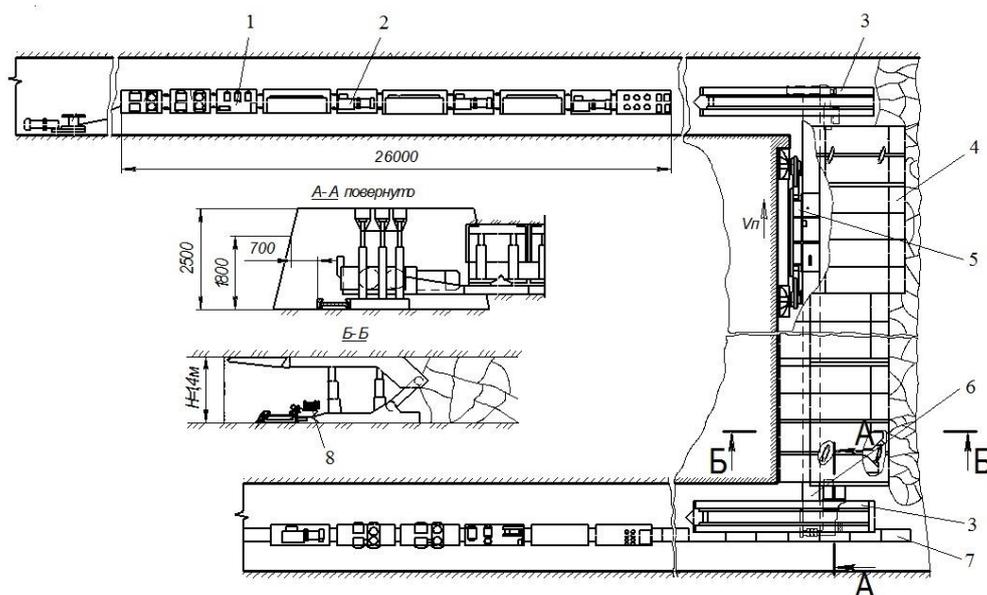


Рисунок 1.1 – Схема расположения оборудования ОМК в очистном забое

В состав вспомогательного оборудования ОМК входят:

- кабелеукладчик (8), предназначенный для укладки и защиты подводимых к комбайну коммуникаций (в струговой установке кабелеукладчик отсутствует);

- крепи сопряжений (3) арочной, трапециевидной или полигональной формы, анкерного или комбинированного типа, предназначенные для усиления крепления кровли штреков в зоне сопряжения с лавой;

- насосная установка (2), предназначена для подачи воды в систему к устройствам пылеподавления и в систему охлаждения электродвигателей, регуляторов скорости и редукторов выемочной машины;

- дробилка, предназначенная для дробления негабаритных кусков угля и породы и устанавливаемая либо на перегружателе, либо на комбайне;

- электрооборудование и аппараты систем электроснабжения (1) (в современных комплексах используется рабочее напряжение до 3000 В и выше), освещения, автоматики, контроля, сигнализации и связи.

Очистные механизированные комплексы принято разделять на группы по следующим перечисленным признакам:

- по углу залегания пласта – для пологонаклонных (0 - 35°), крутонаклонных и крутых (35 - 90°) пластов;
- по мощности пласта – для весьма тонких (<0,7 м), тонких (0,7-1,2 м), средней мощности (1,2 - 2,5 м) и мощных (>2,5 м) пластов;
- по виду добываемого ПИ – для шахт (уголь), для рудников (калийная соль);
- по типу выемочной машины – комбайновые, струговые и конвейероструговые;
- по типу кинематических связей секций механизированных крепей с забойным конвейером и между собой – на агрегатированные (с конвейером или балками) или комплектные (связи между секциями крепи);
- по назначению – общего назначения (в шахтах или рудниках) и специального назначения (применяются при работе угольных шахт: с пневмо- или с гидрозакладкой отработанного).

Механизированные комплексы по техническому уровню и времени использования принято разделять на четыре поколения:

- комплексы первого поколения, созданные в 60-70 гг. (ОКП, КМ-87, КМ-88);
- комплексы второго поколения, созданные в 80-90 гг. (КМ-103, КД-80, УКП);
- комплексы третьего поколения с унифицированными крепями, (КМ-137, КМ-138, КМ-139 и КМ-142);
- комплексы четвертого поколения (комплексы нового технического уровня фирмы JOY, Glinik).

Таблица 1.1 - Классификация пород по ряду технологических признаков

Порода	Степень устойчивости кровли	Среднее значение предела прочности, МПа	Шаг обрушения
Аргиллиты, глины, пески	Неустойчивая	<15,0	Вслед за передвижкой СМК
Аргиллиты, алевролиты	Среднеустойчивая	15,0-30,0	До 2,0
Аргиллиты, алевролиты мелкозернистые	Устойчивая	>30,0	2-8

По характеру (особенностям) взаимодействия с боковыми породами, составу, строению и прочностным показателям механизированные крепи разделены на три класса кровли (таблица 1.1):

- К **I классу** отнесены такие кровли, когда непосредственно над угольным пластом залегают аргиллиты, алевролиты и сланцы общей мощностью пласта менее 5 м, над которыми расположены песчаники или известняки, разрушающиеся на длинные блоки и образующие шарнирно-блочную систему. К этому же классу относят кровли, представленные песчаниками и известняками, разрушающимися на короткие блоки.

- Ко **II классу** отнесены кровли средней мощности. Они могут быть представлены аргиллитами, алевролитами и сланцами общей мощностью примерно от 4-5 м и выше. Мощность отдельных слоев пород не превышает 0,8-1 м, прочность в пределах до 80-110 МПа. Разрушение пород может происходить как послойно, так и блоками. При таком составе пород непосредственная кровля обрушается периодически, а основная зависает над выработанным пространством небольшими пролетами.

- К **III классу** отнесены так называемые труднообрушаемые кровли. Они характеризуются периодическими резкими осадками основной кровли, сопровождающимися динамическим нагружением призабойной крепи.

Таблица 1.2 - Смена комплексов

Уровень комплексов	Кровля									
	Легкая					Тяжелая				
	Мощность пласта									
	1	2	3	4	5 м	1	2	3	4	5 м
I-е поколение										
II-е поколение										
III-е поколение										
IV-е поколение										

В таблице 1.2 представлен анализ распределения угольных лав, для использования в них СМК по 5-ти горно-геологическим факторам подтверждающим, что практически все исследуемые лавы (98 %) имеют не менее 1-го осложняющего фактора. 80 % забоев имеют не менее 2-ух осложняющих факторов, а более 30 % лав – не менее трех [103].

Дальнейшими исследованиями было установлено распределение СМК по плану развития подземных работ. [46]. Выделение шахтопластов по классам боковых пород различной мощности показало, что на долю тонких – приходится 54 %, средней мощностью – приходится 31 %, мощных ($m = 2,5-5$ м) – около 15 %.

На легкие по нагрузочным свойствам кровлями пласты приходится 49 % от всего их количества, а тяжелые – 51 %.

Присутствие труднообрушаемой основной кровли создает преимущественно тяжелые производственные условия. Именно поэтому в

следующем разделе необходимо рассмотреть классификацию СМК как основного элемента, влияющего на устойчивую работу ОМК в целом [91].

1.2 Классификация секций механизированных крепей

Механизированная крепь представляет собой горную машину, которая размещена по длине очистного забоя, и состоит из самопередвигающихся секций, соединенных кинематически и гидравлически между собой [40, 66, 104, 106].

Разнообразие ГГУ угольных шахт определило многообразие конструкций СМК на этапах создания такого оборудования.

Механизированные крепи классифицируют [46, 65, 103]:

По мощности пластов на крепи для тонких (0,7-1,2 м), средней мощности (1,2-2,5 м) и мощных (2,5-5 м) пластов;

По степени выполнения основных функций на (рисунок 1.2):

- поддерживающие ($L_p; L_o=0$);
- оградительные ($L_o; L_p=0$);
- оградительно-поддерживающие ($L_o > L_p$);
- поддерживающе-оградительные ($L_p > L_o$).

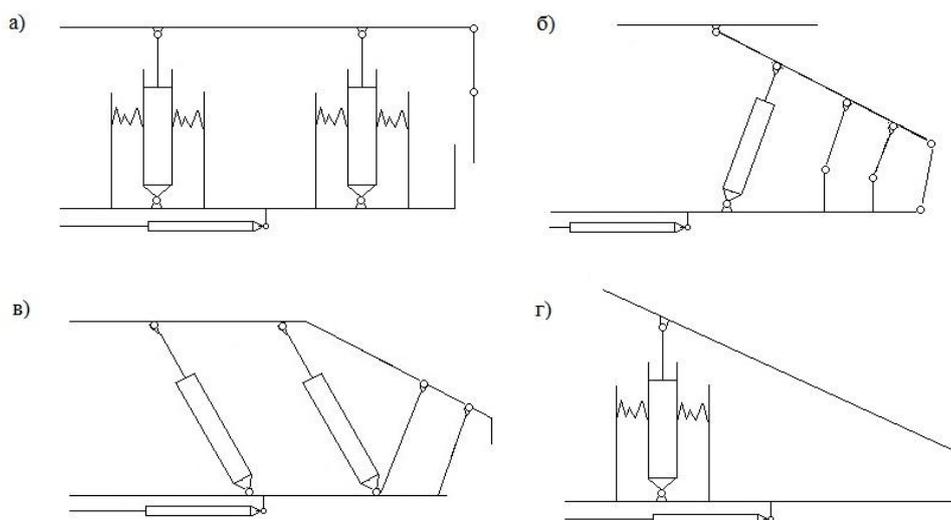


Рисунок 1.2 - Конструктивные схемы секций механизированных крепей:

а – поддерживающие; б – оградительные; в – оградительно-поддерживающие;

г – поддерживающе-оградительные

Крепи *поддерживающего* типа (М87УМ, МТ, М103М и др.) обеспечивают поддержание пород кровли над выработанным пространством в забое и управление горным давлением. Оградительные щиты таких крепей препятствуют проникновению обрушенных пород кровли со стороны завала в рабочее пространство лавы [7].

Крепи *оградительного* типа [56, 101] предназначены для ограждения межстоечного пространства от попадания в него обрушенных пород кровли. Конструктивное исполнение таких крепей наименее металлоемко, а также используется при отработке мощных пологих пластов.

Оградительно-поддерживающие крепи выполняют все три основные функции. Оградительный элемент крепей такого типа преобладает над поддерживающим и используется при разработке пологих пластов средней мощности.

Достоинствами крепей такого типа являются [91] небольшая ширина призабойной полосы поддерживаемых пород кровли в очистном забое; уменьшение нагрузки на крепь; увеличение ширины секции крепи; улучшение ее устойчивости.

Недостатками крепей такого типа являются малая ширина рабочего пространства; трудность размещения в лаве горного оборудования, перемещения людей и проветривания лавы.

Поддерживающе-оградительные крепи выполняют те же функции, что и оградительно-поддерживающие, однако поддерживающий элемент у них преобладает над оградительным. Крепи такого типа используются при отработке пологих пластов средней мощности и мощных с легко обрушающимися и с устойчивыми породами кровли.

Достоинствами крепей этого типа являются:

- большая ширина рабочего пространства, что обеспечивает улучшение условий для вентиляции лавы;

- удобство в расположение оборудования, что обеспечивает свободный проход для людей.

Крепи оградительно-поддерживающего (2УКП, ОКП70 и др.) и поддерживающе-оградительного типов (КД90, М137, М138 и др.) с силовой связью перекрытия с основанием называют щитовыми секциями крепи [61], передвигаются под действием собственной массы и давления обрушенных пород. Щитовые секции механизированной крепи в настоящее время являются основными при разработке пологих пластов мощностью свыше 1,0 м. Такие крепи передвигаются в каждом цикле на новую выемочную полосу с активным подпором, при этом поперечные изгибающие усилия на ГС обеспечивают лучшую устойчивость секций в лаве [7].

По характеру взаимодействия пород кровли с перекрытием секций крепи при циклической передвижке различают крепи перемещаемые:

- с зазором между перекрытием и кровлей («теряющие контакт»);
- с активным или пассивным подпором перекрытия с кровлей («без потери» контакта).

По схеме последовательности передвижки секций различают механизированные крепи (рисунок 1.3):

- с последовательной или фланговой передвижкой секций вслед за проходом комбайна и с последующей задвижкой конвейера (рисунок 1.3, а);
- с последовательной или шахматной, при которой четные секции передвигаются за проходом комбайна, а нечетные – за участком изгиба конвейера (рисунок 1.3, б);
- с групповой, при которой передвигаются одновременно каждая первая, затем каждая вторая, затем каждая третья секция во всех группах (рисунок 1.3, в).

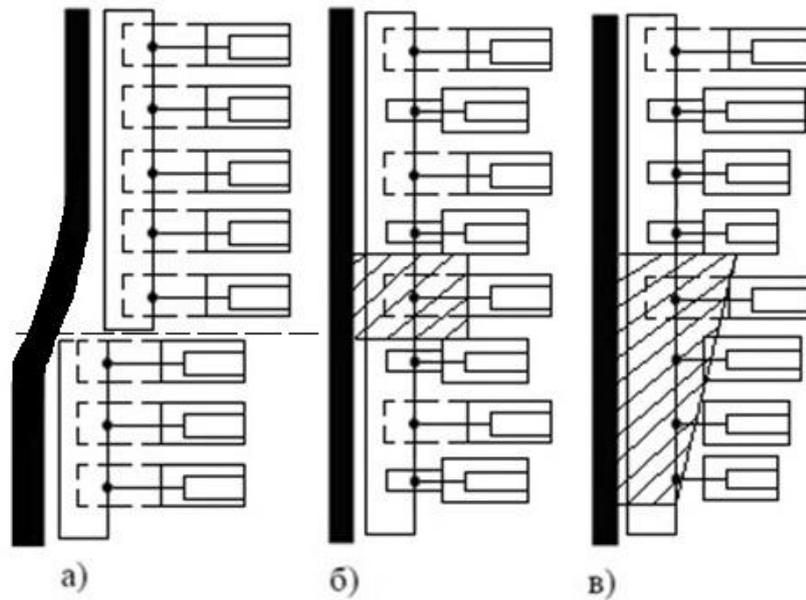


Рисунок 1.3 - Схемы передвижки секций механизированной крепи:

а – последовательная; б – шахматная; в – групповая

По кинематическим связям секции крепи (рисунок 1.4) между собой и с забойным конвейером разделяют на [89]:

- агрегатные (рисунок 1.4, а);
- комплектные (рисунок 1.4, б);
- комплектно-агрегатные.

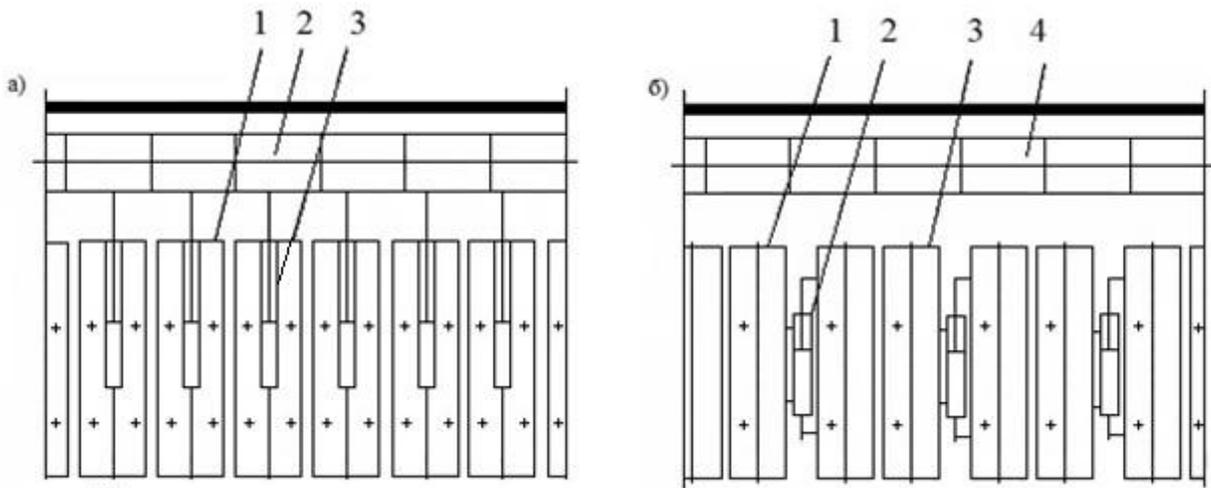
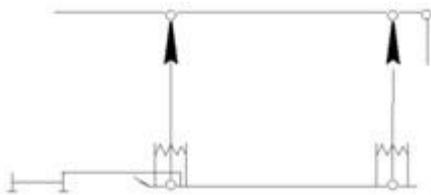
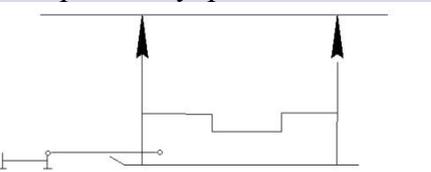
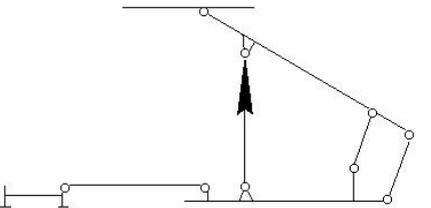
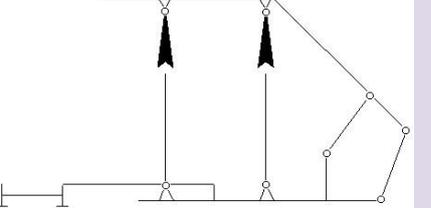


Рисунок 1.4 – Типы крепей по связям механизма передвижения крепи с решетчатым ставом: а – агрегатированные, где 1 – секция крепи; 2 – база-конвейер; 3 – гидродомкрат; б – комплектные, где 1 – основание секция крепи; 2 – гидродомкрат; 3 – перекрытие секции крепи; 4 – забойный конвейер.

Агрегатные механизированные крепи (КД90, М103, М88 и др.), имеют постоянную кинематическую связь СМК между собой и с забойным конвейером (рисунок 1.4, а). Способ передвижения агрегатной механизированной крепи осуществляется путем подтягивания СМК 1 к базе – конвейеру 2 специальными гидродомкратами 3. Агрегатные механизированные крепи могут применяться с комбайновыми, струговыми и конвейеро-струговыми выемочными машинами. Работу таких крепей проще автоматизировать. Особенности компоновки агрегатных СМК представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Особенности конструкции агрегатированных крепей

Схема крепи	Особенности конструкции
<p>Рамная</p> 	<p>Две или более ГС, расположенные в один ряд по направлению передвижения с перекрытием, основанием и домкратом передвижки</p>
<p>Костровая двухрядная</p> 	<p>Три или более ГС, расположенные продольно и поперечно по отношению к направлению передвижения с общим перекрытием, основанием и домкратом передвижки</p>
<p>Двухстоечная щитовая однорядная</p> 	<p>Две ГС, расположенные поперек направления передвижения с общим перекрытием, ограждением, основанием и домкратом передвижки</p>
<p>Четырехстоечная щитовая двухрядная</p> 	<p>Четыре ГС, расположенные вдоль и поперек направления передвижения с общим перекрытием, основанием и домкратом передвижки</p>

Комплектные механизированные крепи (МК98) состоят из комплектов (рисунок 1.4, б), включающих связанные между собой специальными

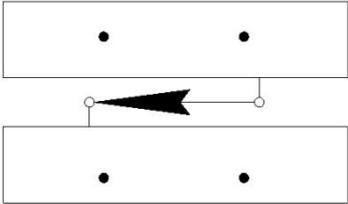
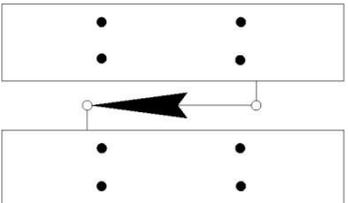
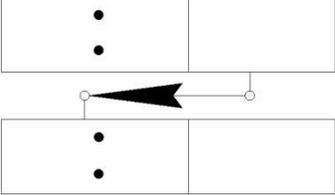
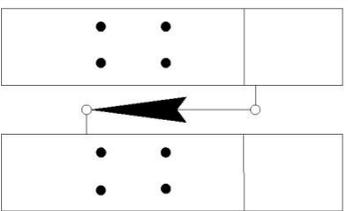
гидродомкратами 2 по основаниям или перекрытиям секции 1 и 3. Комплекты не имеют силовых связей между собой и забойным конвейером 4. Особенности компоновки комплектных СМК представлены в таблице 1.4.

Передвижка секций в комплектах механизированной крепи осуществляется путем поочередного снятия распора с одной секции и ее перемещение с опорой на распертую секцию в комплекте. Комплектные крепи могут применяться в струговых лавах. Достоинствами комплектной крепи являются: преодоление небольших геологических нарушений; изменение шага передвижки крепи, так как крепь не связана с конвейером; перемещение рабочих по почве пласта, которая не загромождена гидродомкратами передвижения и основаниями секций; большая маневренность. Недостатками комплектной крепи являются неопределенность их конечных и промежуточных положений; сложность автоматизации ее работы. Типичными представителями этого класса являются секции крепи М-81; М-97; М-130; М-145.

Комплектно-агрегатные СМК имеют фиксированную параллельность и интервалы их расположения, обеспечивающие силовое и кинематическое взаимодействие секций крепи, а также общую групповую связь по длине забоя и могут применяться с любыми выемочными машинами. Комплектно-агрегатные СМК отличаются высокой трудоемкостью в обслуживании по сравнению с агрегатными.

Практически все современные СМК относятся к агрегатным, в которых все секции связаны гидродомкратами передвижки со ставом забойного конвейера ОМК или с базой агрегата [103]. Передвижка секций агрегатированных крепей кинематически обусловлены, поэтому они более пригодны для дистанционного и автоматического управления. Гидродомкраты передвижки в большинстве случаев располагаются у почвы пласта и используются для передвижки СМК, конвейера или базы агрегата на забой.

Таблица 1.4 - Особенности конструкции комплектных крепей

Схема крепи	Особенности конструкции
<p>Рамная</p> 	Две или более рамные секции в комплекте
<p>Костровая</p> 	Две или более костровые секции в комплекте
<p>Двухстоечная щитовая</p> 	Две или более щитовые секции в комплекте
<p>Четырехстоечная щитовая</p> 	Две или более щитовые секции в комплекте

Секции агрегатной механизированной крепи классифицируют по количеству и конструктивной схеме расположению гидростоек (таблица 1.5). Однорядная одностоечная схема характерна для оградительно-поддерживающих крепей. Двухрядные рамные схемы применяются в крепях поддерживающего и поддерживающе-оградительного типов с достаточной поперечной устойчивостью, поэтому в настоящее время не изготавливаются. По однорядной или двухрядной кустовым схемам в настоящее время изготавливаются все щитовые агрегатные механизированные крепи.

Существует большое количество различных типов СМК [48], которые отличаются по глубине залегания, по углу наклона и по мощности пласта.

Однако выбор СМК зависит от особенности горно-геологических условий (ГГУ) их применения: типа почвы и кровли, физико-механических свойств породы, технологических схем транспорта.

Таблица 1.5 - Виды оснований секции механизированной крепи

Вид крепи	Конструкция	Признаки
Рамная и костровая	Жесткая лыжа рамной секции	Прочная на изгиб опорная плита для нескольких стоек
	Рессорное основание рамной секции	Рессорная связь опорных башмаков нескольких стоек
	Опорная плита на каждой стойке	Шарнирно закрепленная на нижнем конце стойки плита, увеличивающая опорную поверхность
	Основание костровой секции, общее	Прочное на изгиб коробчатое основание, общее для стоек костра
Щитовая	Основание секции сплошное или сборное	Прочная на изгиб опорная плита, общая для всех стоек секции, в сплошном или сборном исполнении
	Основание секции сплошное	Прочная на изгиб опорная плита, общая для всех стоек, в функциональном раздвоенном исполнении

Поэтому для выявления особенностей функционирования СМК в КМОЗ следует рассмотреть анализ этапов развития СМК как одной из основных горных машин ОМК.

1.3 Анализ этапов развития секций механизированных крепей очистных механизированных комплексов для пологих пластов средней мощности

В конце XIX века горное дело являлось главной отраслью российской промышленности, в которой число занятых горнорабочих составляло 436 тыс. человек [80].

В начальный период бурного развития призабойное пространство крепилось деревянными стойками (таблица 1.6) [65]. Вслед за выемкой угля крепились деревянные рамы, призабойные стойки которых находились в близости от забоя, поэтому погрузка угля выполнялась через линию призабойных стоек. Горным рабочим приходилось заново разбирать конвейер и монтировать после снятия каждой ленты угля.

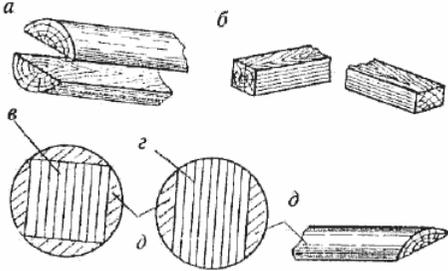
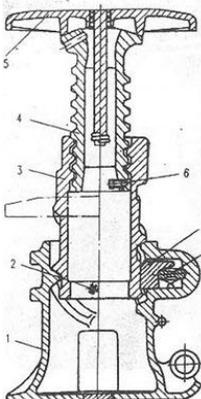
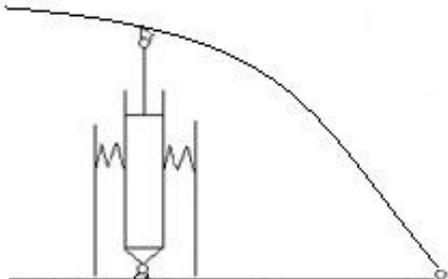
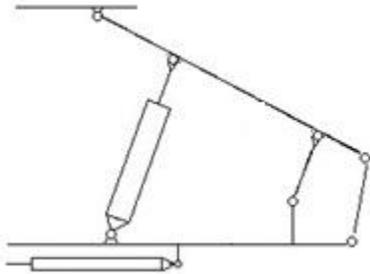
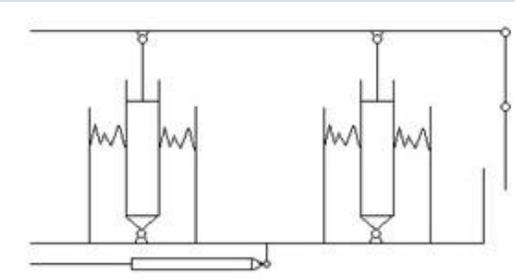
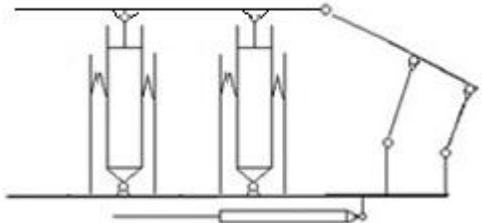
Наименование	Краткая характеристика	Достоинства конструкции	Недостатки конструкции	Рисунки
Деревянная стойка	Представляет собой круглый лесоматериал. Предел прочности древесины колеблется в широких пределах.	<ul style="list-style-type: none"> - Простота конструкции и удобство транспортировки; - Малый вес и низкая стоимость; - Простота обработки на рабочем месте. 	<ul style="list-style-type: none"> - При увеличении горного давления, возможно разрушение СМК; - Низкий предел прочности по сравнению с другими материалами; - Малый срок службы. 	
Металлическая стойка ОКУ	Стойки предназначены для неоднократного применения в качестве посадочной крепи при управлении кровлей пологих и наклонных (до 25°) пластов с вынимаемой мощностью от 0,5 до 1,4 м.	<ul style="list-style-type: none"> - Легкость в эксплуатации и ремонте; - Низкая стоимость изготовления; - Применение при буровзрывном и гидравлическом способах выемки. 	<ul style="list-style-type: none"> - Нестабильная рабочая характеристика постоянного сопротивления; - Низкий уровень начального распора и большая упругая податливость; - Высокая трудоемкость работ по креплению и повышение безопасности работ. 	
Крепь Ц-48	Секция состоит из основания, ограждения и козырька, а также из отдельных шарнирно соединенных между собой.	<ul style="list-style-type: none"> - Конструктивное исполнение, позволяет подстраиваться под изменяющуюся гипсометрию угольного пласта; - Улучшенная передвижка СМК с приложением усилия по всей длине секции. 	<ul style="list-style-type: none"> - Отсутствие кинематической связи между крепью и выемочной машиной. - Заковыристая конструкция СМК, - Трудоемкость и небезопасность. 	

Таблица 1.6 - Этапы развития механизированной крепи

<p>Крепь ОМК</p>	<p>В состав перекрытия входил выдвижной борт, перекрывающий межсекционный зазор</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Передача сил горного давления; - Регулировка высоты крепи по вынимаемой мощности. 	<ul style="list-style-type: none"> - Отрыв от кровли при передвижке; - Попадание обрушаемых пород в призабойное пространство; - Трудоемкость и небезопасность. 	
<p>Секция крепи М87</p>	<p>Крепь поддерживающего типа, агрегатная, с однотипными двухстоечными ленточными секциями, расположенными вдоль забоя в исходном положении, с резервируемым ходом гидродомкратов передвижки, через шток которых каждая секция соединяется со ставом конвейера</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Фронтальная передвижка става конвейера по всей длине забоя одновременно со всеми гидродомкратами крепи. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ограниченная область применения; - Низкая работоспособность; - Передвижка СМК без остаточного подпора; - Отсутствие передних управляемых консолей; - Незащищенность призабойного пространства от проникновения обрушенных пород; - Отсутствие приспособлений от сползания в сторону падения. 	
<p>Секция крепи М138</p>	<p>Поддерживающе-оградительная, щитовая, агрегатированная. Секция крепи четырехстоечная, со стойками двойной гидравлической раздвижности</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Возможность управления положением поддерживающей части перекрытия по отношению к кровле. 	<ul style="list-style-type: none"> - Опрокидывание секции на забой; - Выдергивание задних стоек из гнезд. 	

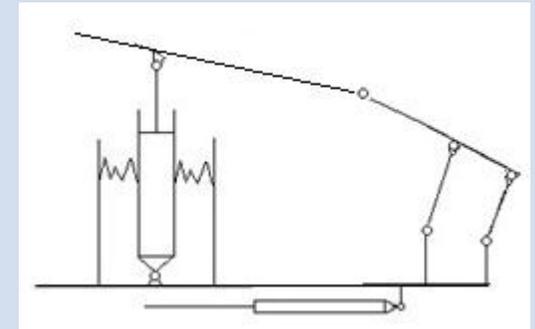
Продолжение таблицы 1.6

**Секции крепи
Tagor**

Крепь предназначена для выемки пластов с продольным наклоном до 15° без стабилизирующих устройств, а с применением стабилизирующих устройств (удерживание верхняков, удерживание последней секции и удерживание конвейера) – возможна эксплуатация крепи при выносном наклоне 30° .

- Наличие щита удержания забоя;
- Наличие механизма корректировки основания.

- Невозможность передвижки гидравлической СМК и крепление полосы кровли у забоя с номинальным распором;
- Развитие трещин в породах призабойной полосы непосредственной кровли;
- Невозможность передвижки с увеличенным подпором;
- Неуравновешенное положение секции крепи в вертикальной плоскости.



Окончание таблицы 1.6

Данная технология являлась трудоемкой, поэтому стали применять такие паспорта креплений, при которых призабойные стойки рам устанавливались на расстоянии и позволяли размещать забойный конвейер, а кровля у забоя поддерживалась только консольной частью деревянного верхняка крепежной рамы. Рабочие использовали подручный материал: рельсы, балки, отрезки которых подгонялись под мощности пласта и расклинивались между лежаком и верхняком.

В 1908 г. впервые была изготовлена металлическая стойка. Со временем конструкция и качество металлических стоек постепенно улучшалось, особенно интенсивное распространение стойки получают к концу 30-х годов в период массового применения врубовых машин [45, 83, 91].

Годы с 1928 по 1941 (рисунок 1.5) были этапом технического перевооружения угольной отрасли, в течение которых было построено около 200 шахт с общей годовой производительностью около 110 млн. тонн [75], которая не изменилась в 40-50-х годах, когда стали внедряться первые угольные комбайны.

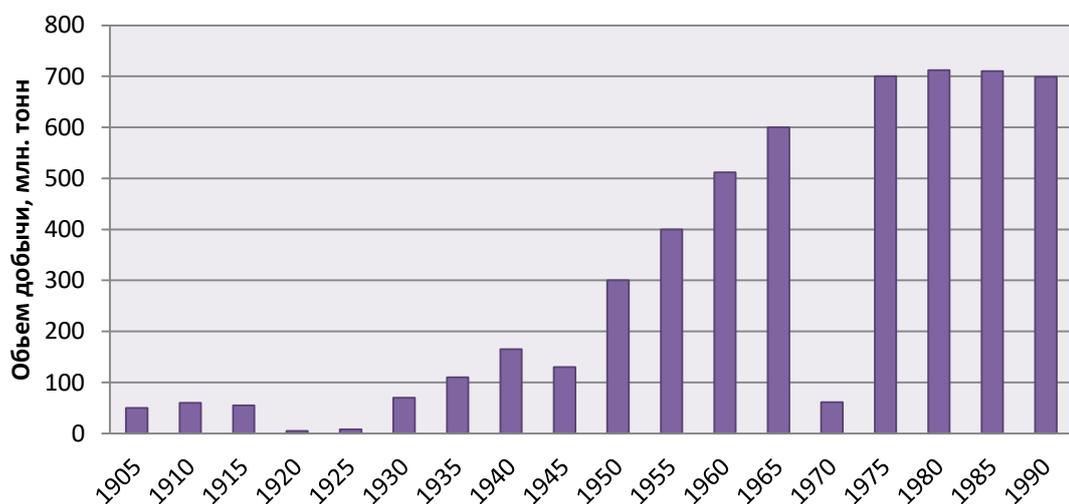


Рисунок 1.5 - Объем добычи угля в России в период с 1905-1990

В 1956 г. добыча угля в СССР достигла 428 млн. тонн в год, и страна вышла на первое место в мире по объемным показателям

его добычи. В 1965 г. добыча угля в Донецком бассейне составила 206 млн. тонн, на Урале – 61,6 млн. тонн угля, в Кузнецком бассейне – 100 млн. тонн.

Появлением металлических шарнирных верхняков стало возможным с момента создание бесстоечного призабойного пространства для размещения забойного конвейера. Достоинство применения деревянных верхняков с крепежными рамами по сравнению с шарнирными заключалось в следующем:

- поддержание кровли консольной частью;
- удлинение консоли за счет присоединения к ней еще одного шарнирного верхняка.

Применение индивидуальных стоек и шарнирных верхняков облегчило и упростило работы по креплению, что привело к уменьшению захвата выемочных машин до 0,4 - 0,6 м и внедрению секционных механизированных передвижных крепей.

Первые СМК состояли из комплектов передвижных крепежных рам сначала с винтовыми и клиновыми, а затем с гидравлическими стойками, устанавливаемыми по длине лавы с определенным шагом для обеспечения размещения забойного конвейера под консолями верхняков с возможным обеспечением последующей передвижки (таблица 1.6).

Разработками НИИ Гипроуглемаша в 1948 году была создана первая механизированная гидравлическая крепь, являвшейся частью угледобывающего агрегата «Кузбасс» [65]. Эту крепь можно считать прототипом современных рамных и костровых механизированных крепей поддерживающего типа. Первые же испытания агрегата «Кузбасс» подтвердили возможность и целесообразность создания механизированных передвижных крепей, что стимулировало поиск новых технических решений.

Последующее усовершенствование рамных СМК поддерживающего типа привело к формированию известных в настоящее время крепей механизированных комплексов типа КМ-101, ««Донбасс», КМК-97, МКС,

КМ-87 и др.

Появление СМК было самым значимым шагом в развитие средств комплексной механизации. В процессе создания ОМК и агрегатов для разных ГГУ появилась потребность в механизированных крепях с надежной защитой выработанного пространства и полной затяжкой кровли. Институтом Мосбасгипрогормаш были разработаны первые СМК такого типа для условий Подмосквовного угольного бассейна [42].

Механизированные крепи типа Щ-48, Щ-54 были последующим развитием щита Журавлева, ставшими прототипом современных щитовых крепей оградительно-поддерживающего типа (таблица 1.6). Дальнейшая модернизация натолкнула на создание крепей типа «Мосбасс» с надежным способом передвижки за счет внедрения жесткой базы по всей длине лавы. Применение гидравлических стоек постоянного сопротивления, улучшило их взаимодействие с кровлей пласта. Дальнейший научный и конструктивный поиск привел к созданию механизированной крепи Щ-58, оградительные щиты которой связывались с основанием при помощи четырехзвенных механизмов Чебышева. Большая часть современных щитовых крепей обладает ограждающими частями такого типа.

По настоящему технической революцией в горной отрасли стало внедрение первого в мире механизированного комплекса ОМКТ («Тула») на угольные предприятия, обеспечивающего комплексную механизацию таких технологических процессов, как: выемку, доставку и крепление призабойного пространства.

Институтом ПНИУИ в 60-х годах был создан комплекс МК для выемки угля из пластов мощностью от 0,8 до 1,9 м. По сравнению с комплексом ОМКТ он оснащался рамно-щитовой механизированной крепью поддерживающе-оградительного типа с двумя рядами стоек и четырехзвенным механизмом Чебышева, что обеспечило увеличение проходного сечения под крепью. Крепь МК стала прототипом рамно-

щитовых и костровощитовых механизированных крепей поддерживающего типа.

Разработка крепей в СССР и за рубежом в 70-х быстро развивалась и привела к созданию СМК таких типов, как:

I - рамных и костровых крепей поддерживающего типа;

II - щитовых крепей оградительно-поддерживающего типа;

III - рамных и костровых крепей поддерживающе-оградительного типа.

Несмотря на увеличение количества серийных комплексов в очистных забоях наметилась тенденция к уменьшению нагрузки на КМОЗ [19], связанная с отданным приоритетом нефтяной и газовой отрасли, что привело к отставанию угольной отрасли в топливном балансе страны на 47 %, однако этого было достаточно для тепло- и энергоснабжения промышленности страны.

Механизированные крепи практически не отличались по своей конструкции от прототипов, а трудоемкость управления такими крепями и их стоимость резко возросли. Повышение несущей способности крепей не обеспечивало в полном объеме их эффективную работу в условиях трудно обрушающихся кровель. С этого момента определился курс на качественное совершенствование очистных механизированных комплексов [43].

Рост концентрации очистных работ привел к сокращению числа угольных забоев при увеличении длины и скорости их подвигания, что привело к увеличению добычи ведущих угледобывающих стран. Высокие нагрузки на забой объяснялись вводимыми в эксплуатацию лавы механизированными комплексами нового технического уровня с повышенной надежностью [82].

В ходе реструктуризации и осуществления новой политики были закрыты убыточные предприятия, что привело к снижению производственных мощностей на 90 млн. тонн. Только с 2001 года количество вводимых мощностей начало увеличиваться и составило 164 млн.

тонн/год, в том числе 71 млн. тонн/год было получено в результате строительства новых предприятий. Производственным структурам угольной отрасли удалось адаптироваться к рыночным методам управления, что привело к повышению экономической эффективности. Социально-экономическая ситуация в угледобывающих регионах стабилизировалась.

С 2000 года наблюдался устойчивый рост объемов добычи угля в России (рисунок 1.6), удовлетворявший потребностям внутреннего рынка в угольной продукции.

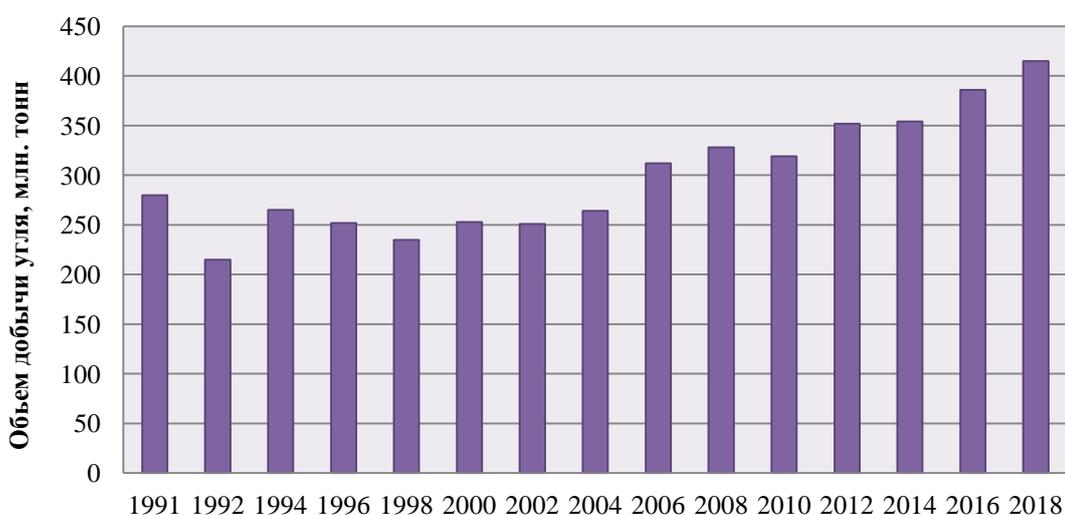


Рисунок 1.6 - Объём добычи угля в России в период с 1991-2017 г.

в России в 2007 году было добыто 315,1 млн. тонн угля, из которых 201,4 млн. тонн – открытым способом, углей для коксования – 72,5 млн. тонн, а энергетических углей – 241,7 млн. тонн. На внутренний рынок поставлено 190,9 млн. тонн угольной продукции [3].

В 2008 году начал развиваться мировой финансовый кризис, затронувший Россию и переросший в экономический. Добыча угля сократилась до 300,4 млн. тонн/год, но уже в 2010 году, объемы добычи угля в стране увеличились до 323 млн. тонн/год из-за медленного после кризисного восстановления экономики России.

Однако горное машиностроение в стране не выдержало конкуренции с

западными фирмами. Прекратился выпуск горной техники для очистных забоев. С закупкой современной горной техники зарубежного производства увеличилась концентрация работ угольных предприятий. В объединении АО «СУЭК-Кузбасс» (таблица 1.7) уже действуют угольные шахты нового технического уровня с использованием таких схем и современных механизированных комплексов.

Таблица 1.7 – Условия работы и состав оборудования очистных механизированных комплексов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

№	Шахта	Мощность пласта, м	Длина лавы, м	Состав механизированного комплекса			Нагрузка на забой, т/сут
				Крепь	Комбайн	Конвейер/перегрузатель	
1	Им. С.М. Кирова	1,5-2,4	242	JOYRS 2400/650×2	7LS-20	AFS- 38×800/1500	10400
2	Им. 7 ноября	4,5	286	TAGOR 24/50	Eickhoff SL- 500	PF 4/1132 PF 4/1132	9580
3	Им. А.Д. Рубана	2,20-2,55	220	МКЮ 2Ш- 13/27	Eickhoff SL- 300	PF 4/1132 PF 4/1132	8800
4	Им. В.Д. Ялевского	3,8	400	ДБТ 2500/5000	Eickhoff SL- 900	PF 4/1132 PF 4/1132	35000

За последние тридцать лет комплексная механизация очистных работ в России и за рубежом показывает, что СМК выполняют функции крепления, управления и поддержания кровлей в КМОЗ пологих и наклонных пластов, а основным типом применяемых СМК стала щитовая крепь [41, 47, 105].

В процессе эволюции СМК можно выделить 5 этапов развития, каждый из которых заканчивался переходом к новому техническому уровню использования крепей и технологий ведения очистных работ.

- 1 этап – создание переносных и передвижных стоек лебедками стоек типа ОКУ (кинематическая связь между стойками)



- 2 этап – создание рамных секций крепи типа М87 (рамные конструкции, установка буферов для возвращения стоек в исходное положение при передвижке)



- 3 этап – создание трехзвенных и четырехзвенных секций крепи (типа М138) (связь перекрытия с основанием, рычажная крепь, кинематическая связь всех звеньев, ограничение степеней свободы)



- 4 этап – создание щитовых гидрофицированных секций механизированных крепей (типа Тагор)



- 5 этап – создание адаптивных СМК (с переменным количеством звеньев)

Использование щитовых секций крепи [42, 97], вместо кустовых, рамных и комплектных крепей снижает вероятность обрушения пород кровли в рабочее пространство лавы, что обеспечивает увеличение коэффициента машинного времени комбайна с 0,15 до 0,35-0,40 и роста нагрузки на лаву в 1,5 раза (рисунок 1.7).

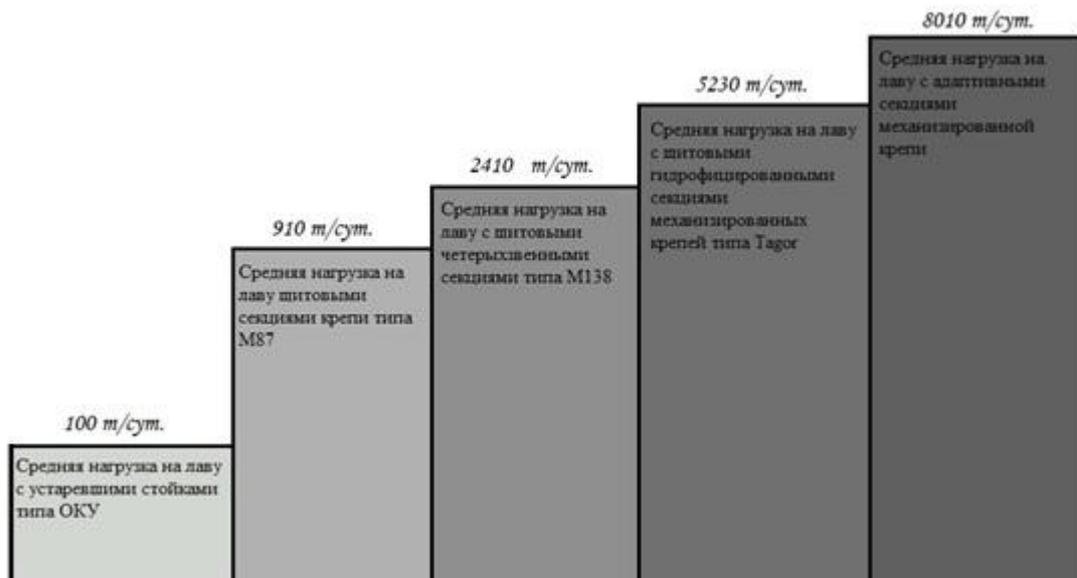


Рисунок 1.7 – Изменение нагрузки на забой по этапам развития СМК

Однако, несмотря на уверенное развитие СМК ОМК, общей особенностью процесса выемки угля в КМОЗ является отклонение значений параметров их режимов от расчетных по мере отработки выемочных столбов [59]. Поэтому для дальнейшего исследования процесса обеспечения безопасной и устойчивой работы комплекса следует более подробно рассмотреть ГГУ залегания пластов, на примере АО «Шахта «Полосухинская».

1.4 Оценка устойчивости процесса добычи угля комплексно-механизированных очистных забоев и средств комплексной механизации на примере АО «Шахта «Полосухинская»

Анализ горно-геологических и технических условий выполнен по представленным данным администрацией АО «Шахта «Полосухинская». Поле АО «Шахты «Полосухинская» располагается в северной части Байдаевского геолого-экономического района Кузбасса и отнесено к Новокузнецкому району. Населенных пунктов на площади шахтного поля нет. В районе действуют ряд шахт юга Кузбасса, относящихся к холдингу «Сибуглемет». В непосредственной близости к шахте расположен крупнейшей в Сибири ОАО «ЗСМК».

Шахта состоит из двух блоков, не связанных между собой горными работами: Блок №1 и Блок №3 (участок «Антоновский – 3»). Такое разделение обусловлено тектоническим строением и историей освоения месторождения.

Характеристика обрабатываемых пластов угля участка «Антоновский - 3» представлена в таблице 1.8.

Пласт	Марка угля	Мощность, м		Угол падения, град	Строение пласта	Степень выдержанности	Вмещающие породы	
		Чистый	С прослоями				Непосредственная кровля	Непосредственная почва
30	ГЖО	2,06	2,14	0-20	Умеренно сложное	Относительно выдержан	Мелкозернистый алевролит. Неустойчивая. Повсеместно ложная кровля до 0,5 метра – алевролито-глинистые осадки застойных вод.	Алевролиты. К пучению не склонна. Ложная почва – аргиллиты до 0,3 метра.
29а	ГЖ	2,85	2,90	0-20	Умеренно сложное	Относительно выдержан	Мелкозернистые алевролиты. Средней устойчивости. Ложная кровля не характерна.	Мелкозернистые алевролиты. К пучению несклонна. Ложная почва 0,1 – 0,3 метра.
26а	Ж	1,9	2,1	0-20	Умеренно сложное	Относительно выдержан	Мелкозернистые алевролиты. Неустойчивая - средней устойчивости. Повсеместно ложная кровля до 0,5 метра.	Алевролиты. К пучению несклонная – склонная. Ложная почва 0,1 – 0,3 метра.

Таблица 1.8 - Характеристика обрабатываемых пластов угля участка «Антоновский – 3».

Пласт 30 залегает в 50-60 метрах от 31 пласта и имеет умеренно-сложное строение, относительно выдержанный. Среднее значение мощности пласта 2,06 м по чистым угольным пачкам. С учетом породных прослоев средняя мощность пласта в границах участка составляет 2,14 м.

Пласт 30 вскрыт с поверхности транспортным, грузовым, людским и трубным бремсбергами 30-31, пройденными по пласту в центральной части шахтного поля. В настоящее время бремсберги пройдены до горизонта 0 м (абс.). Кроме того, параллельно бремсбергам со стороны северного крыла пройден транспортный бремсберг 30-32 до газоотводящей скважины пластов 30 и 29а, устьевая часть которого изолирована.

На северном фланге шахтного поля по пласту 30 пройдены людской и монтажный бремсберги 30-32, на южном фланге – ходовой и монтажный бремсберги 30-31.

Между центральными и фланговыми бремсбергами пласта 30 в целике, отделяющем основной выемочный блок от западного блока, пройден транспортный штрек 30-31, предназначенный для обеспечения запасного выхода людей на свежую струю воздуха.

Поэтапная подготовка выемочных единиц западного блока южного крыла шахты пласта 30 предусматривается тремя подготовительными забоями, оборудованными проходческими комбайнами 1ГПКС-01. Подготовка предусмотрена спаренными штреками с центральных и фланговых бремсбергов.

Отработка пласта 30 в южном крыле шахтного поля с вынимаемой мощностью 2,2-2,6 м осуществляется с применением механизированной крепи М-138 очистного комбайна К-500Ю (КСW-460NE) с забойным конвейером КСЮ-271 (RYBNIK 750).

Кроме вышеперечисленного очистного оборудования, в комплекте механизированных комплексов КМ-138 используется следующее оборудование:

- крепь сопряжения КСПЮ;
- скребковые перегружатели ПС-271;
- дробилки ДР 1000;
- насосные станции (маслостанции) ENP-3К (Haohinko).

Горные выработки пласта 30 не имеют непосредственной связи с горными работами пластов 29а и 26а. Пласт 30 проветривается обособленно. Способ проветривания – нагнетательный, система проветривания единая, схема проветривания – комбинированная (центрально-фланговая).

Пласт проветривается двумя главными вентиляторными установками 4ВЦ-15 ($n = 1500$ об/мин), оборудованными на устье грузового и трубного бремсбергов 30-31.

Пласт 29а залегает ниже пласта 30 в 60-70 метрах. В границах участка имеет, в основном, сложное строение (1-2 пачки угля), относительно выдержанный. При наличии породного прослоя средняя мощность пласта увеличивается до 2,9 м. Ложная кровля для пласта не характерна.

Пласт 29а вскрыт транспортным, грузовым, людским и трубным бремсбергами 29-31, пройденными по пласту в створе с центральными бремсбергами пласта 30. В настоящее время все центральные бремсберги пласта 29а пройдены на проектную длину.

Выдачи исходящей струи воздуха осуществляется на северном и южном флангах шахтного поля по пласту 29а пройдены по два бремсберга. На северном фланге – ходовой и монтажный бремсберги 29-32-бис, на южном – ходовой и монтажный бремсберги 29-31.

Подготовка пласта 29а предусматривается четырьмя подготовительными забоями, оборудованными проходческими комбайнами ГПКС-01.

Отработка пласта со средней вынимаемой мощностью 3,2-3,5 м предусмотрена с применением механизированной крепи МКЮ.4У-16,5/35, очистного комбайна KSW-460NE и лавного конвейера RYBNIK 750.

Кроме вышеперечисленного очистного оборудования, в комплекте механизированного комплекса МКЮ.4У предусматривается применение следующего оборудования:

- крепь сопряжения штрековая КСПЮ;
- скребковые перегружатели ПС-271;
- дробилки ДР 1000;
- насосные станции для орошения ЕНР-3К (Haohinko).

Пласты 29а и 26а на северном фланге шахтного поля объединены в единую вентиляционную сеть фланговым наклонным стволом. Способ проветривания обоих пластов нагнетательный, система – секционная, схема проветривания – комбинированная (центрально-фланговая).

Пласт 29а проветривается двумя главными вентиляторными установками 4ВЦ-15 ($n = 1500$ об/мин), оборудованными соответственно на устьях грузового и трубного бремсбергов 29-31.

Пласт 26а залегает ниже пласта 29а в 120-140 метрах. Пласт относительно выдержан, содержит 1-2 породных прослоев. Среднее значение мощности пласта 1,92 м по чистым угольным пачкам. С учетом породных прослоев средняя мощность пласта составляет 2,0 м.

В центральной части шахтного поля участка «Антоновский-3» пласт 26а вскрыт двумя наклонными стволами – грузовым и людским, пройденными по породе под углом 15° , и далее пройденными по пласту. Местоположение и азимут наклонных стволов определились необходимостью их проведения в створе с центральными бремсбергами верхних пластов 30 и 29а.

Диагонально промплощадки, пройдены ходовой и монтажный бремсберги 26-32.

На северном фланге шахтного поля по пласту 26а пройдены фланговые ходовой и монтажный бремсберги 26-32, не имеющие непосредственного выхода на поверхность. Фланговые бремсберги пройдены до горизонта -

160 м (абс.) и в верхней части северного крыла сбиваются с ходовым бремсбергом 26-32 и с фланговым наклонным стволом.

Всего по пласту 26а в одновременной работе до 2017 года находились пять подготовительных забоев, три из которых подготавливал очистной фронт комбайнами ГПКС-01 и два забоя осуществляли углубку бремсбергов комбайнами КП-21.

Для отработки пласта шахтного поля со средней вынимаемой мощностью 2,3 м принята механизированная крепь 3М-138 с очистным комбайном KSW-460NE и забойным конвейером RYBNIK 750.

Кроме вышеперечисленного очистного оборудования, в комплекте механизированного комплекса МКЮ.4У предусматривается применение следующего оборудования:

- крепь сопряжения штрековая КСПЮ;
- скребковые перегружатели ПС-271;
- дробилки ДР 1000;
- насосные станции (маслостанции) ENP-3K (Haohinko).

Пласт 26а проветривается двумя главными вентиляторными установками 4ВЦ-15 ($n = 1500$ об/мин), оборудованными соответственно на устьях грузового наклонного ствола 26-31 и людского наклонного ствола 26-31.

В соответствии с действующим проектом в качестве общешахтного вспомогательного транспорта на шахте используется подвесная монорельсовая дорога МПД-24Ф с подвесными дизельными локомотивами DLZ-110F.

Для вспомогательных операций используются шахтные лебедки типа ЛВД и ЛПК для выемочного участка.

Выдача горной массы с каждого разрабатываемого пласта осуществляется на отдельный угольный склад.

Согласно техническому заданию на разработку проектной документации «Доработка запасов каменного угля участка «Антоновский-3» Байдаевского геолого-экономического района Кузбасса АО «Шахта «Полосухинская» мощность которой определяется проектом, но должна быть не менее 1,5 млн. т угля в год.

За последнее 10 лет руководству АО «Шахты «Полосухинская» удалось достичь значительного увеличения нагрузки на очистные забои, за счет смены устаревшего оборудования на современные высокопроизводительные комплексы. Однако использование дорогостоящих, мощных, современных очистных механизированных комплексов приводит к снижению их эффективности из-за неустойчивости их работы в рациональных режимах, причиной такого положения является факторы, ограничивающие нагрузку на очистной забой:

1. Простои;
2. Неустойчивый режим работы;
3. Сложные горно-геологические и технологические условия;
4. Слабая адаптивность секций крепи к переменным горно-геологическим и технологическим условиям.

Для оценки степени устойчивости работы КМОЗ в рациональных режимах проведен анализ производительности ОМК в условиях АО «Шахты «Полосухинская» (рисунок 1.8).

На рисунке 1.8 представлены графики изменения месячной производительности очистных забоев по мере отработки выемочных участков. Характер изменения производительности говорит о высокой степени неравномерности нагрузок на очистной забой, то есть существенное отклонение режимов работы очистных комбайнов, большой динамичности процесса, и, следовательно, неустойчивой работе ОМК в целом. В периоды стабильной работы рассматриваемые забои достигали нагрузки 240 тыс. тонн в месяц.

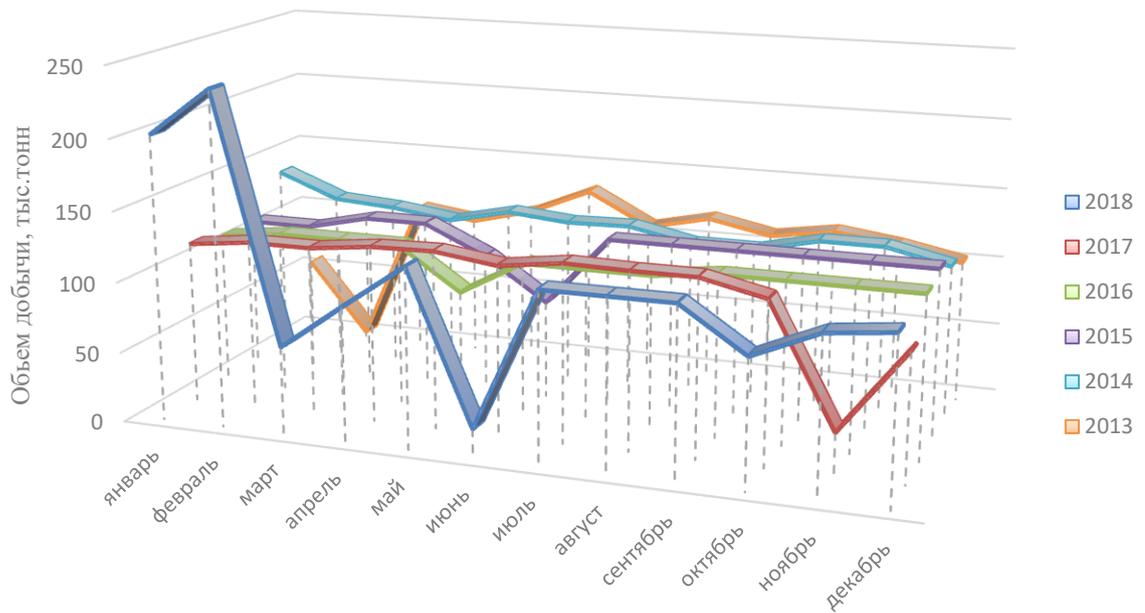


Рисунок 1.8 – Добыча угля за 6 лет АО «Шахта «Полосухинская»

График на рисунке 1.8 отражает высокую степень неравномерности нагрузок на очистной забой, то есть существенное отклонение режимов работы очистных комбайнов и, следовательно, ОМК в целом от рациональных режимов.

Эти отклонения характеризуют существенные потери в добыче из-за упущенных выгод по сравнению с потенциальными возможностями, уровень которых определяется рациональным режимом работы ОМК [71, 94, 101].

Более объективно динамика процесса добычи угля в КМОЗ отражена на рисунке 1.9, на котором представлены фактическая скорость подачи комбайна и нагрузки на приводы основных машин ОМК.

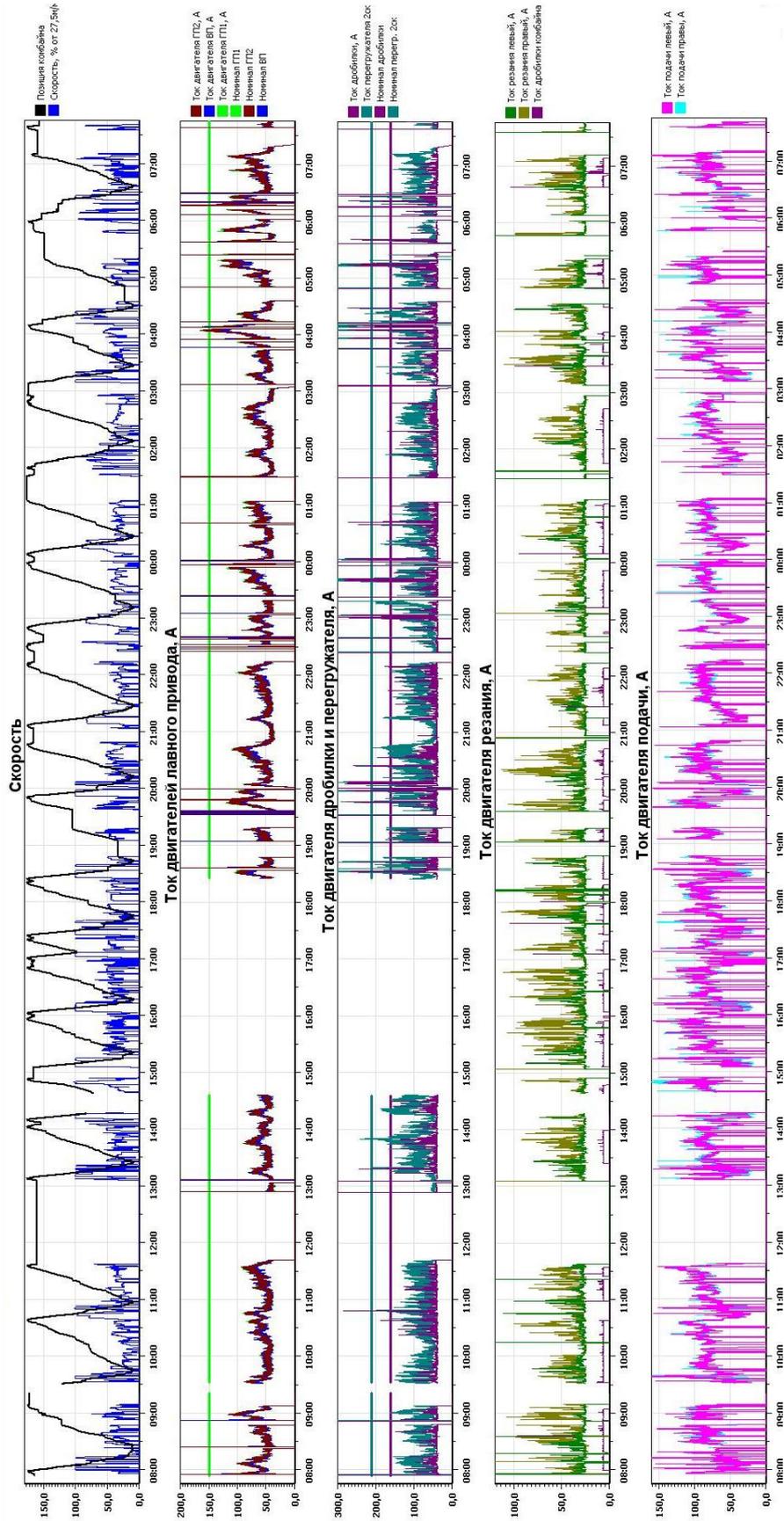


Рисунок 1.9 – Изменение скорости движения комбайна в лаве и нагрузок на приводы машин в КМОЗ

Значения параметров при выполнении последовательных операций комбайна отличаются, однако отказов оборудования ОМК, влияющих на производительность за контролируемое время, не было замечено.

В известных методиках анализа режимов работы КМОЗ учитываются как осредненные значения скорости подачи (V_i) и сумма времени перерывов (T_{pi}) в работе выемочной машины по добыче.

Время работы, время кратковременных остановок t_{oi} и скорость движения комбайна v_{ni} зависят, от таких факторов времени как:

- оценки оператором сложившейся i -той ситуации;
- включения технологической машины и перехода её режима на рабочий режим;
- отключения.

Таким образом, все эти факторы характеризуют время последовательных переходных процессов. Роль и значимость отклонения фактической производительности ($Q_{\phi i}$) от расчетной, технически обоснована (Q_{pi}) вследствие кратковременно влияющих факторов.

Уменьшение текущей производительности $Q_{\phi i}$ относительно расчетной Q_p за контролируемое время t_i непрерывной работы ОМК оценивается показателем устойчивости (Π_{yi}), который равен отношению фактической производительности (добычи) комбайна за определенный интервал времени к его расчетной производительности за тот же интервал времени при непрерывной работе комплекса, формула (1.1):

$$\Pi_{yi} = \frac{Q_{\phi i}}{Q_{pi}}; \quad (1.1)$$

Фактическая производительность может быть определена по формуле (1.2):

$$Q_{\phi i} = \frac{\sum t_{\phi i} B H \gamma}{\frac{1}{V_m} + \frac{\sum t_{oi}}{L_{\phi i}}} = \frac{\sum t_{\phi i} K_l}{\frac{L_{\phi i} + V_m \sum t_{oi}}{V_m \cdot L_{\phi i}}} = \frac{\sum t_{\phi i} K_l V_m L_{\phi i}}{L_{\phi i} + V_m \sum t_{oi}}, \quad (1.2)$$

где t_{oi} – время кратковременных остановок, сек; $t_{\partial i}$ – время работы по добыче, сек; B – ширина захвата комбайна, м; H – мощность угольного пласта, м; γ – плотность угля в массиве, т/м³; V_m – математическое ожидание скорости подачи комбайна; $L_{\partial i}$ – длина участка лавы, пройденная комбайном за контролируемый период времени, м; $K_l = BH\gamma$ – величина постоянная для конкретных горно-геологических условий.

Расчетная производительность комбайна может быть определена по формуле (1.3):

$$Q_{pi} = \frac{\sum t_{pi} BH\gamma}{\frac{1}{V_{pi}} + \frac{\sum t_{opi}}{L_{pi}}} = \frac{T_{pi} K_l V_{pi} L_{pi}}{L_{pi} + V_{pi} \sum t_{opi}}, \quad (1.3)$$

где $T_p = \sum t_{pi}$ – расчетное время работы ОМК за контролируемый период времени, мин; L_{pi} – расчетная длина лавы, пройденная комбайном за контролируемый период времени, м; V_{pi} – расчетная скорость подачи, м/мин.

Значение времени $\sum t_{opi}$ не может быть отнесено к регламентированным перерывам, поэтому не учитывается в расчетах и принимаются равным $\sum t_{opi} = 0$. В этом случае расчетная производительность будет равна, формула (1.4):

$$Q_{pi} = \frac{\sum t_{pi} K_l V_{pi} L_{pi}}{L_{pi}}. \quad (1.4)$$

Оценка устойчивости процесса в КМОЗ определяется отношением, формула (1.5):

$$\Pi_{yi} = \frac{\sum t_{\partial i} K_l V_m L_{\partial i} (L_{pi} + V_{pi} \sum t_{opi})}{(L_{\partial i} + V_m \sum t_{oi}) (\sum t_{pi} K_l V_{pi} L_{pi})} = \frac{V_m \sum t_{\partial i} L_{\partial i}}{V_{pi} \sum t_{pi} (L_{\partial i} + V_m \sum t_{oi})}. \quad (1.5)$$

Обозначив отношения $\frac{V_{mi}}{V_{pi}}$ коэффициентом устойчивости по скорости

(K_{yv}), а отношение $\frac{\sum t_{oi}}{\sum t_{pi}} = K_{yt}$ - коэффициентом устойчивости по времени,

получим, формула (1.6):

$$\Pi_{yi} = K_{yv} K_{yt} \frac{L_{\partial i}}{L_{\partial i} + V_m \sum t_{oi}} = K_{yv} K_{yt} \frac{1}{1 + V_m \frac{\sum t_{oi}}{L_{\partial i}}}. \quad (1.6)$$

Заменяя длину участка лавы $L_{\partial i}$, пройденного комбайном за контролируемый период времени, произведением $V_m \sum t_{oi}$ обозначим отношение $\frac{\sum t_{oi}}{\sum t_{\partial i}} = M_o$ и получим, формула (формула 1.7):

$$\Pi_{yi} = K_{yv} K_{yt} \frac{1}{1 + M_o}. \quad (1.7)$$

В результате, показатель устойчивости равен произведению дифференциальных коэффициента устойчивости по скорости на коэффициент устойчивости по времени и на коэффициент относительного увеличения времени остановок ($K_{yo} = \frac{1}{1 + M_o}$), формула (1.8):

$$\Pi_{yi} = K_{yv} K_{yt} K_{yo}. \quad (1.8)$$

Значения коэффициентов K_{yv} и K_{yt} зависят от совместного влияния технических, технологических и профессионально-психологических факторов, таких как реакция машиниста комбайна на перемещение секции механизированной крепи и конвейера к забою, операторов секции крепи ОМК на перемещения очистного комбайна в изменяющихся ГГУ.

Следует отметить, что взаимное влияние этих факторов на значения коэффициентов устойчивости K_{yv} и K_y зависит от степени адаптации ОМК к переменным ГГУ и от качества управления и технологическим процессом.

Таким образом, проведенный анализ устойчивости работы ОМК позволяет сделать следующие выводы:

– сложные ГГУ отработки угольных пластов на шахте АО «Шахта «Полосухинская» (газоносность и обводненность, опасность пластов по

газодинамическим явлениям и горным ударам, наличие геологических нарушений и неустойчивой кровли, расслоение и трещиноватость пород кровли, вывалообразование, изменения мощности пласта и в его структуре) являются главными сдерживающими факторами стабильной работы очистных забоев в течении довольно длительного времени;

– высокий потенциал применяемых средств механизации очистных работ и уровень технологической обеспеченности производственного процесса в КМОЗ используются менее чем на половину от технической возможности;

– одним из наиболее перспективных способов (направлений) повышения устойчивости работы КМОЗ в рациональных режимах является повышение адаптивности оборудования ОМК, в первую очередь СМК [9, 89], в изменяющихся по мере отработки ГГУ, к местным изменениям условий по длине очистного забоя за цикл работы.

Однако на отклонение режимов работы от номинальных в наибольшей степени влияют, помимо внешних факторов (неустойчивые и трудноуправляемые кровли, обводненность, газообильность пластов, наличие прослоев и локальных включений пород), динамика нагрузок, искривленность линии забоя, недостаточные качество управления машинами и уровень информационного обеспечения, недостоверность диагностических сведений.

Поэтому исследования по дальнейшему совершенствованию существующих и разработке новых СМК должны вестись в направлении создания механизированных крепей, адаптивных к реально изменяющимся ГГУ.

1.5 Анализ развития адаптивных секций механизированных крепей очистных механизированных комплексов

Рассматривая конкретный тип комплекса и определенный диапазон условий его применения, предполагается, что для достижения наибольшей

эффективности он будет надежно работать во всем диапазоне условий. Однако, как показывает практика эксплуатации механизированных комплексов, ГГУ изменяются в пределах одного пласта. В таком случае эффективность работы очистных механизированных комплексов зависит от точности настройки к изменяющимся условиям.

В диссертационной работе рассматриваются вопросы, связанные адаптивностью, изменяющейся по режиму управления горным давлением.

Механизированная крепь ОМК предназначена для создания условий в КМОЗ для интенсивной и безопасной работы по добыче полезного ископаемого (ПИ). Однако диапазон изменения ГГУ по мере отработки выемочного участка (поля, панели, столба) в реальных условиях, как правило, более широкий, чем предусмотрен условиями эксплуатации СМК по технической характеристике [9, 46, 65].

На необходимость развития адаптивных СМК изменяемых к ГГУ указывали многие известные исследователи, специалисты и конструкторы [3, 4]. Известны схемные технические решения контактно, статически, динамически и кинематически адаптивных секций крепи (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 - Типы адаптивных секций механизированной крепи

Контактная адаптивность

Под контактной адаптивностью понимается изменение площади контакта перекрытия с кровлей и выравнивание напряжения по всей длине площади контакта СМК.

Одним из основных путей повышения контактной адаптивности по

мнению профессора В.И. Клишина является оптимизация сопротивления крепи в зависимости от величин и характера нагрузок при состоянии непосредственной кровли, близком к предельному (рисунок 1.11).

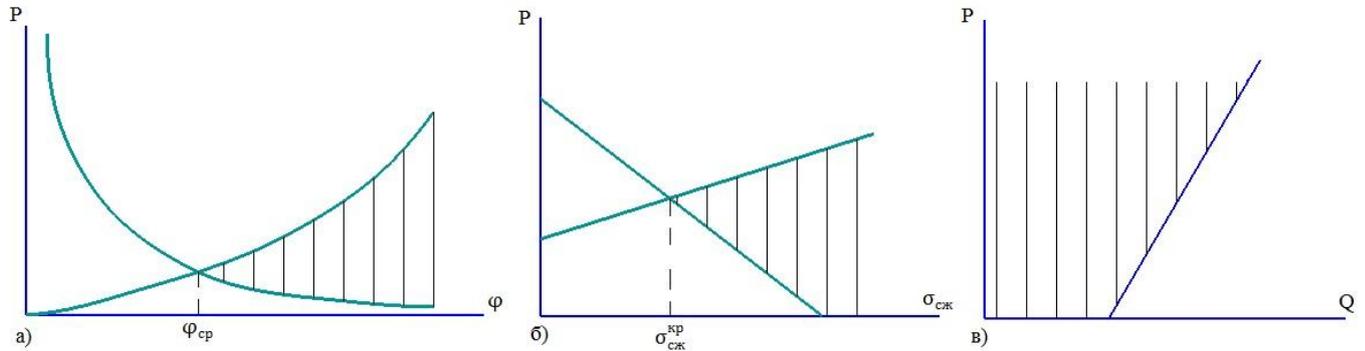


Рисунок 1.11 – Зависимость крепи P от угла внутреннего трения пород кровли φ (а), предела прочности пород кровли на сжатие $\sigma_{сж}$ (б) и нагрузок со стороны кровли Q (в)

По результатам исследований, проведенных в лаборатории ИГД СО АН СССР [29, 92, 93], установлены пределы минимально достаточного и максимально допустимого сопротивления консольной части механизированной крепи.

Проанализировав графики на рисунке 1.11, можно сделать следующие выводы:

- существуют такие пределы механических свойств пород кровли, ниже которых крепь не в состоянии препятствовать вывалообразованию;
- для предотвращения вывалообразования сопротивления крепи должно находиться в определенных допустимых пределах;
- пределы сопротивления крепи регламентируются нагрузкой со стороны кровли и несущей способностью краевой части угольного пласта.

В настоящее время не исчерпаны возможности улучшения конструкций верхних опорных элементов механизированных крепей за счет обеспечения более полного прилегания контактирующих поверхностей, геометрических форм верхняков, обеспечивающих сохранению контакта с кровлей и снижение вероятности вывалообразования. Поэтому разработка

конструктивного технического решения по созданию контактно адаптивных СМК является актуальной темой исследования.

По результатам многочисленных исследований было установлено, что основными показателями количественной оценки состояния боковых пород в призабойном пространстве является величина и скорость их относительного сближения, т.е. конвергенция [51, 66, 96, 101]. Величины опускания пород непосредственной кровли в очистных забоях меньше, чем в лавах с индивидуальной крепью, причиной такого положения является высокий уровень начального распора и рабочего сопротивления СМК, а также большей площадью опорных поверхностей верхняков и оснований. Несмотря на это, состояние нижних слоев обычно хуже, чем при индивидуальном креплении, что объясняется цикличностью контактирования СМК с боковыми породами.

В случае механизированных крепей резкие смещение кровли происходят вследствие выемки угля, а также при периодических разгрузках.

Нижние слои обнаженной кровли, контактирующие с опорной поверхностью верхняка каждой секции механизированной крепи, подвергаются многократному (до 5-6 раз) нагружению при передвижках, сопровождаемому опусканием кровли со сравнительно высокими скоростями. Все это оказывает отрицательное влияние на состояние не только самых нижних слоев кровли, а зачастую оно распространяется и вглубь массива на высоту до 10 м и более.

Контактное взаимодействие крепи с непосредственной кровлей зависит от устойчивости, совершенства конструкции СМК и технических навыков процесса крепления. В технической литературе принято характеризовать непосредственные кровли по уровню их склонности к вывалам (E) [93], которая определяется по формуле (1.9):

$$E = \frac{S_B}{S_{кр}}, \quad (1.9)$$

где E - склонность кровли к вывалам; S_B - площадь вывалов, m^2 ; $S_{кр}$ - площадь

обнаженной кровли, м².

Оценку совершенства механизированных крепей основных типов по условиям их контактного взаимодействия с кровлей будем проводить по сопротивляемости к вывалообразованию, выражающей уровень безупречности конструкции и технологических приемов удержания нижних слоев непосредственной кровли по отношению к «идеальной» механизированной крепи, обеспечивающей поддержание нижних слоев кровли с необходимой для нормального функционирования крепи характеристикой контактирования опорной поверхности верхняка с кровлей. Иначе, способность СМК не допускать образование вывалов при взаимодействии и есть сопротивляемость к вывалообразованию.

Склонность кровли к вывалам зависит от механических характеристик и особенностей ГГУ непосредственной кровли. Согласно результатам исследований [104], проведенных в 132 КМОЗ на глубинах от 300 до 1130 метров, количество вывалов высотой более 50 см на глубинах свыше 850 метров оказалась вдвое выше, чем на глубинах до 850 метров. На больших глубинах также резко возрастает косвенное влияние на склонность к вывалам Е мощности пласта и крепости угля за счет интенсификации отжима угля в верхней части пласта, приводящего к увеличению размера некрепленой полосы перед крепью.

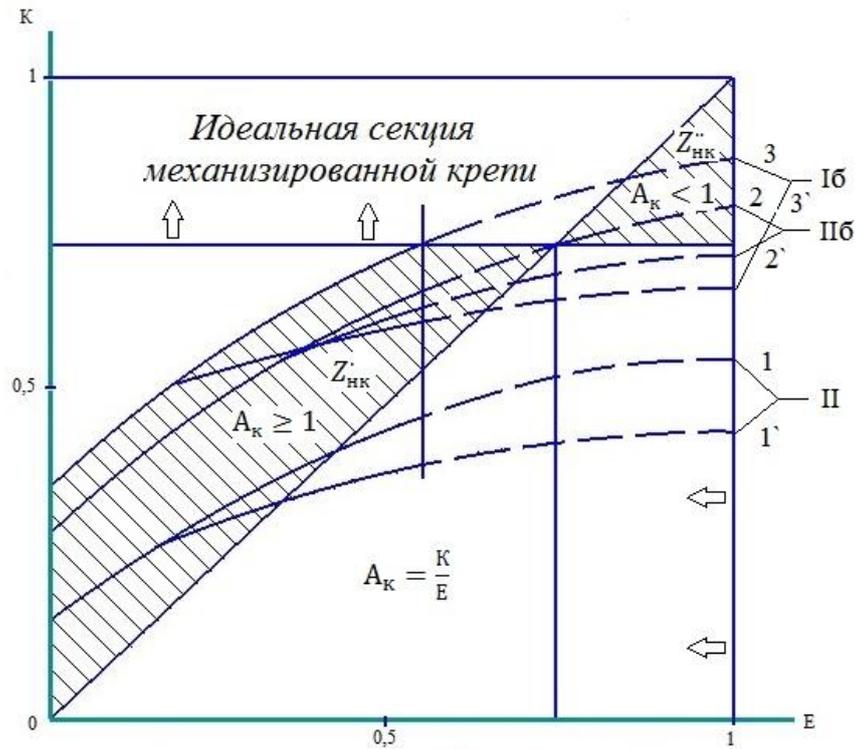


Рисунок 1.12 – График изменения контактной адаптивности в зависимости от видов и направлений воздействий на характеристики механизированных крепей и непосредственной кровли

Сопротивляемость СМК к вывалообразованию зависит от следующих параметров:

- сопротивления крепи;
- скорости просадок крепи;
- степени затяжки кровли;
- скорости крепления;
- отставания крепления от выемки.

К настоящему времени накоплен большой материал по исследованию влияния перечисленных факторов на контактное взаимодействие СМК с непосредственной кровлей [104, 106]. Контактное взаимодействие в системе крепь - непосредственная кровля по мнению Б.А. Фролова и В.И. Клишина, можно оценивать по величине следующего отношения, формула (1.10):

$$A_k = \frac{K}{E}, \quad (1.10)$$

где A_k - коэффициент контактной адаптивности; K – сопротивляемость крепи вывалообразованиям; E - склонность к вывалам.

В основу построения графиков (рисунок 1.12, кривые 1-3) положены результаты трех основных типов крепей отражающих процесс развития по условию сопротивляемости вывалообразованию при допустимых скоростях просадок кровли соответственно:

- кривая 1 - рамных и костровых крепей поддерживающего типа;
- кривая 2 - кострово-щитовых крепей поддерживающе-оградительного типа;
- кривая 3 - щитовых крепей оградительно-поддерживающего типа.

Те же характеристики на рисунке 1.12 при критических скоростях опускания основной кровли показаны кривыми 1', 2', 3'. Сплошные линии показывают путь развития механизированных крепей вплоть до последних конструкций. Штриховые линии – результат прогноза развития крепей данных по критерию контактной адаптивности.

Из рисунка 1.12 видно, что наиболее приемлемые механизированные крепи по критерию контактной адаптивности являются щитовые крепи оградительно-поддерживающего типа с четырехзвенным соединением ограждающего щита с основанием (кривая 3) обладающие следующими преимуществами:

- легко преодолевают неровности и вывалы высотой до 0,5 м;
- обеспечивают постоянное минимальное незакрепленное пространство между передними кромками верхняков и забоем;
- благодаря опорным элементам удерживают обычно отжимаемую верхнюю часть забоя;
- секции крепи устойчивы и обладают повышенной прочностью.

При создании контактно адаптивных СМК необходимо в первую очередь учитывать изменяющиеся горно-геологические и технологические условия по мере отработки угольного пласта. Следовательно, необходимо создавать СМК

(рисунок 1.13) позволяющие увеличить площадь контакта СМК с кровлей и улучшить прилегание перекрытия к породам кровли, обеспечивая предотвращение вывалообразований (различные виды и типы козырьков, пневмобаллонные и безразгрузочные крепи).

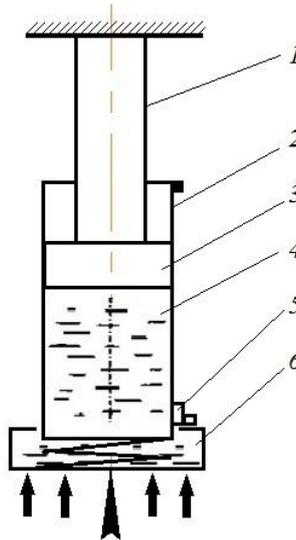


Рисунок 1.13 - Принципиальная схема безимпульсного устройства защиты:

1 – штанг, 2 – цилиндр гидростойки; 3 – поршень; 4 – поршневая полость;
5 - предохранительный клапан; 6 – подпружиненная опора

Динамическая адаптивность

Под динамической адаптивностью понимается внезапное блоковое обрушение кровли (рисунок 1.14), при котором СМК проседает одновременно за счет действующей на него импульсной нагрузки.

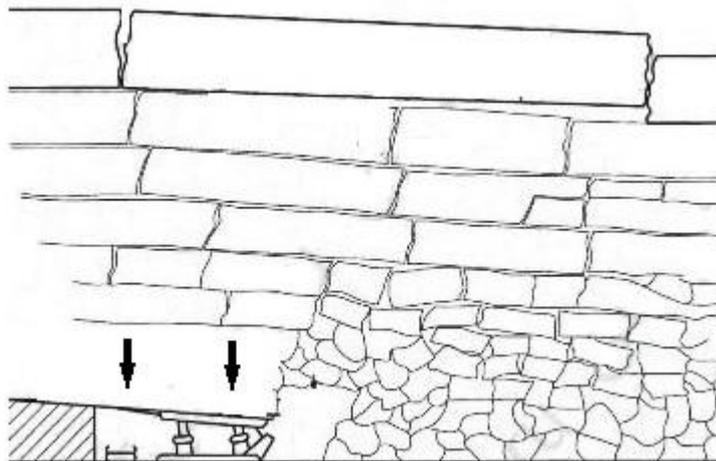


Рисунок 1.14 – Схема взаимодействия блоков и механизированной крепи в

очистном забое

Неожиданные динамические обрушения кровли приводят к ряду негативных факторов:

- опасность для жизни людей;
- разрушение механизмов и горных выработок;
- разрушение гидроцилиндров, приводящее к разрыву манжетных уплотнений и поломке предохранительных клапанов;
- снижение добычи угля и возрастание затрат на восстановление ОМК;
- повышение опасности ведения очистных работ.

Рассмотрим в обобщенном виде систему зависимости от видов и направления воздействий на характеристики механизированной крепи и основной кровли [93].

Для этого примем два условия, формулы (1.11 - 1.14):

$$1) Q = \text{const} = Q_{\max}; \quad (1.11)$$

$$0 \leq P \leq Q_{\max}, \quad (1.12)$$

где Q – нагрузка на крепь, кН; Q_{\max} – максимальная нагрузка на крепь, кН; P – сопротивление крепи, кН/м².

В этом случае изменение скорости деформации крепи будет протекать в пределах $v_{\max}^0 \geq v \geq 0$ (рисунок 1.15, кривая 1), где v – скорость деформации (просадок) крепи, мм/мин, v_{\max}^0 – начальная скорость деформации крепи (при $P=P_{\text{св}}=0$), мм/мин.

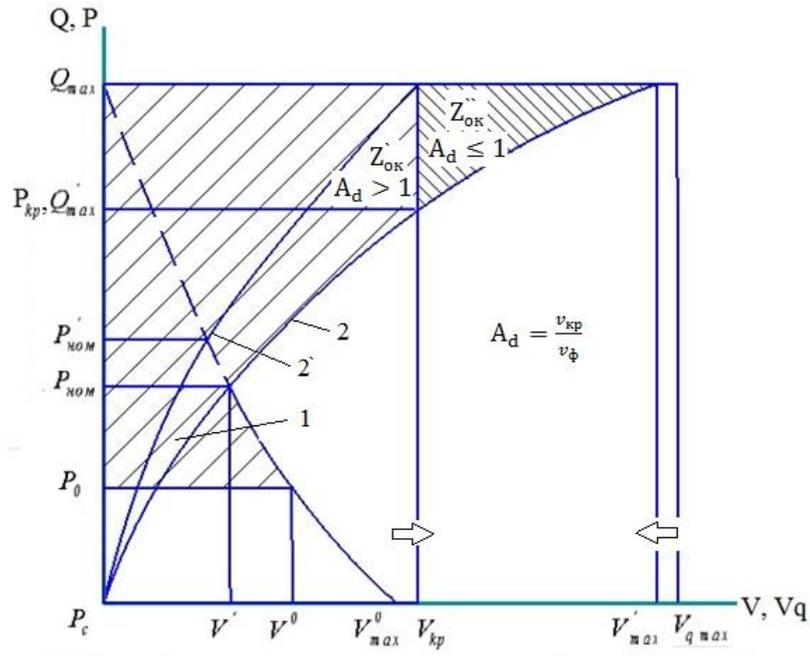


Рисунок 1.15 - График изменения динамической адаптивности системы в зависимости от видов и направления воздействий на характеристики механизированной крепи и основной кровли: Q – нагрузка на крепь со стороны кровли; v_q – скорость нагружения крепи (опускание крепи); v – скорость деформации (просадок) крепи

$$2) P = \text{const} = P_{\text{ном}}; \quad (1.13)$$

$$0 \leq Q \leq Q_{\text{макс}}, \quad (1.14)$$

где $P_{\text{ном}}$ – сопротивление крепи, соответствующее настройке предохранительного клапана.

В этом случае изменение скорости деформации крепи будет протекать в пределах $v' \geq v \geq v_{\text{макс}}$ (кривая 2), где v' – скорость деформации крепи при $Q = P_{\text{ном}}$, $v_{\text{макс}}$ – скорость деформации крепи при достижении $Q_{\text{макс}}$.

Динамическая адаптивность механизированной крепи в основном зависит от характеристики ее гидропор и других элементов механизированных крепей [93].

Динамическую адаптивность системы взаимодействия СМК с основной кровлей можно выразить отношением критической скорости деформации $V_{\text{кр}}$ к ее фактическому значению $V_{\text{ф}}$, формула (1.15):

$$A_d = \frac{V_{кр}}{V_{\phi}}, \quad (1.15)$$

где A_d – коэффициент динамической адаптивности системы взаимодействия СМК с основной кровлей; $V_{кр}$ – порог критических скоростей деформации системы крепь – породы.

Для зоны допустимых скоростей деформации $Z'_{ок}$ справедливо условие $A_d > 1$, а для зоны критических деформаций $Z''_{ок}$ справедливо условие $A_d \leq 1$.

Динамическая адаптивность (рисунок 1.16) отражает эффект демпфирующего устройства снижая давление в поршневой полости, по сравнению с известными аварийными клапанами где происходит задержка открытия их подвижных запирающих частей.

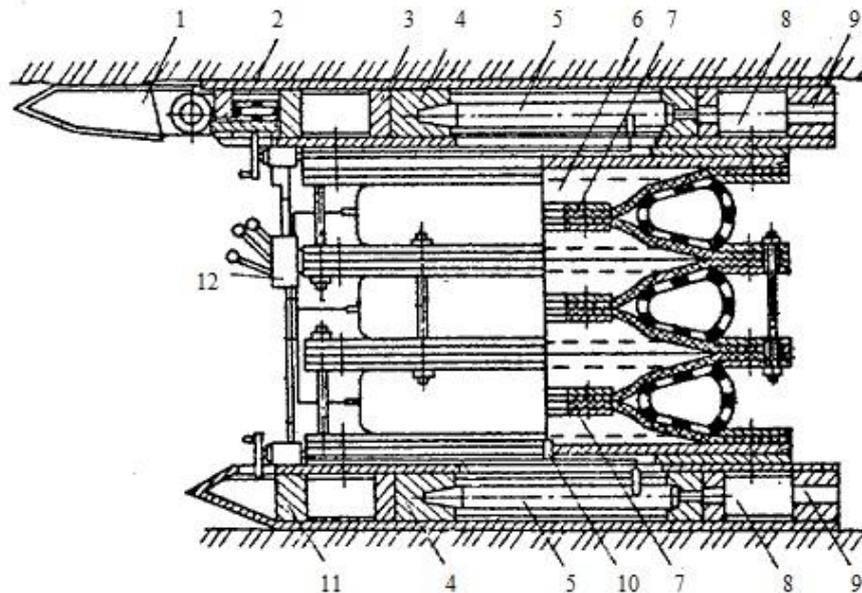


Рисунок 1.16 - Пневмобаллонная крепь: 1 – козырек; 2 – пневматический баллон; 3 – верхняя опоры; 4 – поворотная обойма; 5 – пневмодвигатель; 6 – сильфон; 7 – металлическое кольцо; 8 - каналы; 9 – камеры; 10 – штуцер; 11 – нижняя опора; 12 – пульт управления

Подавляющее большинство аварий СМК на угольных шахтах происходит от динамической составляющей нагрузки на их конструкцию и решение проблем, связанное с повышением динамической адаптивности,

играет очень важную роль, однако это выходит за рамки нашего исследования и является отдельной самостоятельной темой.

Кинематическая адаптивность

Под кинематической адаптивностью понимается изменение характеристик кинематических звеньев в зависимости от ГГУ.

Задача оптимального управления положением крепи в пространстве разделяется на две проблемы [93]:

- анализ структуры и параметров крепи на этапе его проектирования для определенных ГГУ;
- определение экономической целесообразности использования СМК в конкретных условиях.

Главное требование заключается в определении критерия качества функционирования системы в конкретных ГГУ с последующим сравнением с допустимым значением.

При передвижке необходима кинематика, принципиально отличающаяся от свободной шарнирной. Она призвана не допустить, опрокидывания секции при отсутствии природных связей (силы трения) и компенсировать к началу следующего нагружения полученные ошибки положения звеньев. Постоянная компенсация ошибок положения должна сочетаться с внесением периодических корректировок с целью уменьшения ошибок. Система будет иметь одновременно и наибольший коэффициент использования усилий стоек.

В ИГД СО РАН была предложена секции механизированной крепи (рисунок 1.17), адаптивная к внешним нагрузкам, оптимизирующая взаимное положение кинематических звеньев СМК в пространстве при конвергенции боковых пород.

Предложенное техническое решение, не меняя силовых параметров, увеличивает энергетические параметры и улучшает процесс взаимодействия

крепи с кровлей.

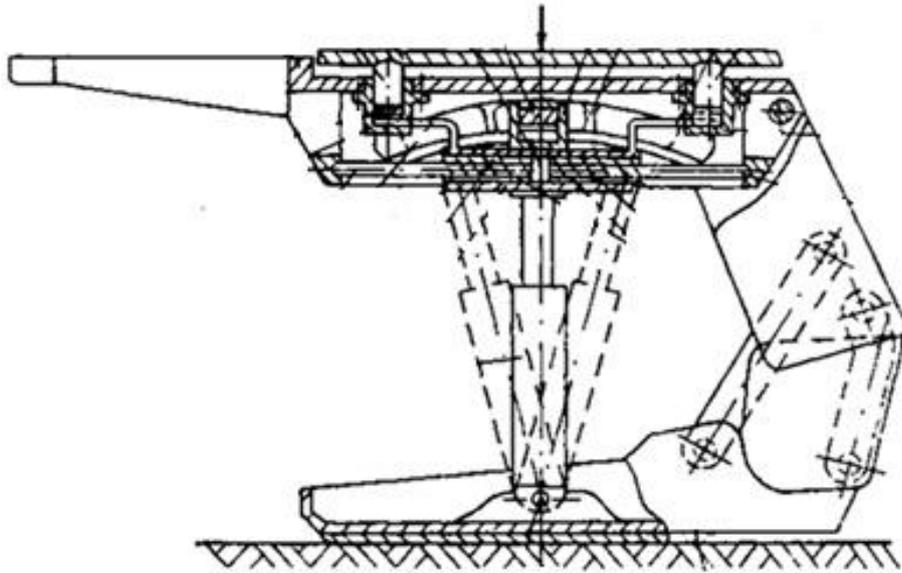


Рисунок 1.17 - Адаптивная к внешним нагрузкам СМК

Статическая адаптивность

Под статической адаптивностью (медленно изменяющиеся во времени), при описании процессов взаимодействия СМК с породами непосредственной кровли понимается процесс, при котором используются статические уравнения, в которые не входят масса и ускорение. Таким образом в работе не рассматриваются динамические процессы (горные удары), а только процессы связанные с безимпульсным регулированием сопротивления гидростойки (ГС) СМК опусканию пород непосредственной кровли и устойчивость управления к горному давлению.

Основные задачи повышения статической адаптивности:

- 1) Обеспечить эффективность взаимодействия СМК с непосредственной кровлей за цикл выполняемых операций: неподвижным контактом СМК с распорным элементом при передвижке СМК;
- 2) Безимпульсное регулирование сопротивлением ГС в режиме управления ГД;
- 3) Выбор значений параметров работы СМК не ниже уровня

начального распора;

4) Оценка коэффициента вариации сил сопротивления ГС, коэффициента вариации сил гидродократов усилия передвижки и коэффициента энергетической эффективности.

1.6 Выводы по главе 1 и задачи исследования

По результатам анализа теоретических и экспериментальных исследований установлено, что использование дорогостоящих, мощных, современных ОМК в сложных ГГУ с широким диапазоном их изменчивости приводит к снижению устойчивости их работы в рациональных режимах, связанное со слабой адаптивностью секций крепи.

Установлено, что вопросам разработки адаптивных СМК к переменным ГГУ, поиску технических решений, повышающих адаптивность СМК и обоснованию их параметров уделялось недостаточно внимания, поэтому требуются дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо выполнить:

1. Анализ и обобщение результатов, полученных ранее по рассматриваемой тематике.

2. Исследование процесса силового взаимодействия гидростоек СМК с породами непосредственной кровли в КМОЗ.

3. Разработка схемных и конструктивных технических решений СМК обеспечивающих более устойчивую работу в рациональных режимах повышением контактной и кинематической адаптивности.

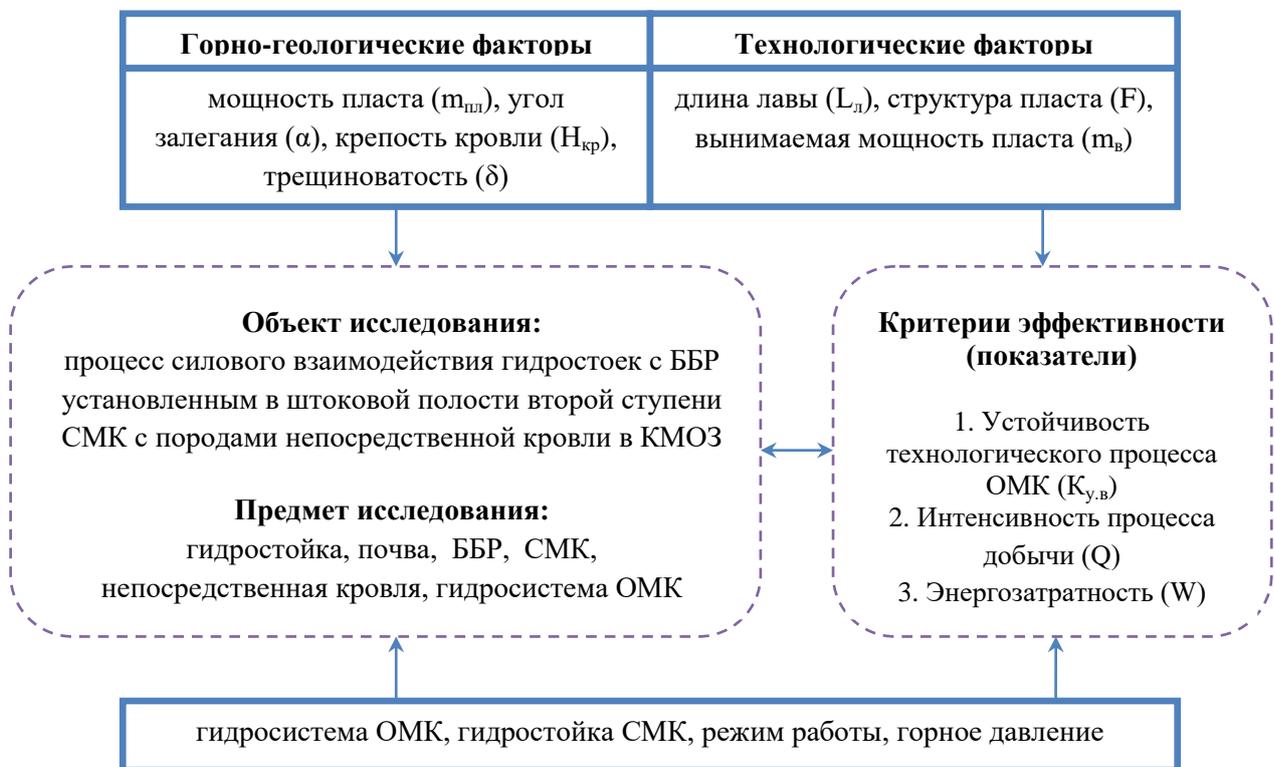
4. Математическое моделирование процесса функционирования блока безимпульсного регулирования циклическим взаимодействием гидростоек с породами непосредственной кровли.

ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

2.1 Особенности объекта исследования и выбор метода исследования

Опираясь на цели и задачи, сформулированные в первой главе, необходимо провести анализ особенностей объекта исследования, обосновать и принять метод дальнейших его исследований. Рассматриваемый технологический процесс взаимодействия СМК с почвой и кровлей пласта в призабойной зоне представляет собой циклически выполняемые операции: распор, управление горным давлением, снятие распора, передвижка. Поэтому следует признать, что объектом исследования является процесс силового взаимодействия гидростоек с ББР установленным в штоковой полости второй ступени СМК с породами непосредственной кровли КМОЗ (рисунок 2.1).

Внешние условия



Внутренние условия

Рисунок 2.1 – Структурная схема объекта и предмета исследований

Тогда предметом исследования являются материальные объекты, которые вовлечены в этот процесс. Факторы, отражающие условия функционирования объекта исследования по особенностям их влияния принято разделять на внешние и внутренние.

Рассматриваемая область использования характерна для условий АО «Шахты «Полосухинская».

Внешние условия представлены на рисунке 2.1 горно-геологическими и частично технологическими их определяющими условиями, и факторами. Горно-геологические факторы отражены в значениях параметров мощности пласта $m_{пл}$ (1,8-3 м), угла залегания α (0-20°), крепости кровли $H_{кр}$ (4-6), обрушаемости и устойчивости пород кровли (мелкозернистый алевролит; среднеустойчивая ложная кровля до 0,5 м), трещиноватости (δ), строение пласта (умерено сложное), обводненности (подземные воды имеют напорно-безнапорный характер), газоносность (2,8-21,5 м³/т в зависимости от горизонта), а технологические факторы отражены в значениях параметров длины очистного забоя $L_{д}$ (150-200 м) и выемочного столба (1500 м), типа выемочной машины (К500Ю), структуры пласта F , вынимаемой мощности пласта $m_{в}$ (1,5-2 м) и др.

Причем значения этих параметров могут быть заданы средними значениями и диапазоном отклонений значений этих параметров от средних значений на технологически значимом пространстве. Первые составляющие следует отнести к детерминированным величинам, которые принимают определенные, заранее прогнозируемые значения, а вторые к случайным величинам, которые можно оценить только с некоторой вероятностью.

Внутренние условия относятся к тем факторам, на которые можно влиять, например, при проектировании угольной шахты или в процессе выемки. Внутренние условия отражены в значениях параметров, например, параметрами СМК, ОМК, давления рабочей жидкости в магистрали гидросистемы механизированной крепи, давления, при котором срабатывают

предохранительные клапаны, давления подпора ГС, расхода жидкости, сопротивления ГС опусканию пород непосредственной кровли, рабочей и деформационно-силовой характеристики и др.

Учитывая вышеизложенное следует констатировать, что объект исследования «процесс силового взаимодействия гидростоек с ББР установленным в полости штока второй ступени СМК с породами непосредственной кровли КМОЗ» сложный, многофакторный, содержит детерминированную и случайную составляющие, поэтому принимается комплексный метод исследований, включающий:

- анализ известных схемных и конструктивных технических решений, и режимов работы секции крепей ОМК;

- исследование процесса силового циклического взаимодействия СМК с породами непосредственной кровли в КМОЗ;

- моделирование процесса функционирования ББР циклическим взаимодействием гидростоек с породами непосредственной кровли, обеспечивающих повышение эффективности режимов работы СМК;

- синтез схемных и конструктивных технических решений, обеспечивающих более устойчивую их работу в рациональных режимах.

Таким образом, комплексный метод обеспечит получение объективных результатов исследований.

2.2 Выявление закономерности развития функциональных возможностей и адаптивности секций механизированной крепи

Аналитические и шахтные исследования показали [102], что эффективность отработки ОМК в сложных ГГУ, характеризующихся неустойчивой непосредственной и труднообрушающейся основной кровлями, может быть достигнута на базе механизированных крепей, способных обеспечить крепление и поддержание кровли с максимально возможной скоростью и минимальными затратами ручного труда.

Развитие технологии подземной добычи угля сопровождалось развитием структуры и параметров в первую очередь средств механизации горных работ в КМОЗ, в том числе механизированной крепи [50, 69, 92].

Выявление закономерностей изменений кинематики и конструктивного исполнения СМК следует рассматривать на примере пологих пластов средней мощности близким к условиям АО «Шахты «Полосухинская», получивших наибольшее развитие и область использования на угольных шахтах.

При анализе процесса развития функциональных возможностей СМК временной интервал целесообразно разделить на 4 этапа по конструктивным особенностям и количеству выполняемых операций за цикл выемки (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Этапы развития секций механизированной крепи

Этап	Год и тип секции (стойки)	Конструктивные особенности	Количество выполняемых операций		
			За цикл $N_{o.ц}$	Основных N_o	Вспомогательных N_B
0	1903 ДИОС	Деревянная, индивидуальная, одноразовая, сборная; две стойки под распил	1	1	0
1	1915 МИМБ	Металлическая, индивидуальная, многоразовая, безразборная; две стойки под металлический верхняк	3	2	1
2	1935 ЩГЖ1	Секция щитовая «Журавлева» с двумя стойками	5	3	2
	1940 МРМБ	Секция щитовая с одной стойкой и двумя гидродомкратами	6	3	3
	1948 Щ48	Секция «Щекинская 48»	5	3	2
3	1956 «Мосбасс»	Секция механизированная с гидродомкратом	7	3	4
	1957 Щ57	Секция с гидростойкой и с базой (конвейером)	8	3	5
	1958-1965 АК, М87	Семейство секций с гидростойками и домкратами передвижки	12	3	9
4	2000-2018 Tagor, САТ	Современные гидрофицированные щитовые секции крепи	15	3	2
5	2020- Адаптивные	На базе щитовых гидрофицированных секций крепи	15-19	3	15

За исходные данные следует принять СМК явившиеся прототипами щитовых СМК, отследить развитие которых удастся в полной мере по причине их применяемости в настоящее время. Основные конструктивные особенности СМК могут быть отражены в следующих обозначениях: Д – деревянная; М – металлическая; И – индивидуальная; О – одноразового использованная; М – многократного использованная; С – сборная; Б – безразборная; Ц – цельнопередвижная; ПО – поддерживающе-оградительная; Ч – четырехзвенная.

Попытки создания первых секций крепи, которые были предприняты еще в начале 20 века и представляли собой простейшую конструкцию деревянной индивидуальной одноразовой сборной (ДИОС) крепи, состоящей из отдельных соединенных друг с другом структурных элементов, по сути прямолинейных стержней и балок, обеспечивающая только одну основную операцию поддержание и управление кровли ГД. Достоинствами ДИОС являлось небольшая масса, низкая стоимость изготовления, простота конструкции и удобство в установке и транспортировке. Однако трудоемкость процессов крепления и управления кровлей такими крепями составляла 70-80 % от всего объема работ в очистном забое, что приводило к высоким затратам ручного труда и травматизму в очистных забоях. Эту крепь принимаем за исходную при анализе.

Под структурой секции крепи понимается количество элементов, каждый из которых выполняет определенную функцию, и взаимосвязь между ними. [84]

К первому этапу развития по структурным особенностям СМК классифицировать можно, начиная с металлических индивидуальных многократно используемых безразборных (МИМБ) стоек (с деревянными или металлическими верхняками) предназначенных для поддержания кровли в качестве органной крепи. Применение крепей такого типа привело к снижению трудоемкости работ по доставке крепежного материала и затрат на

лесоматериалы, а также повлияло на повышении эффективности процессов крепления и управления кровлей, однако низкий уровень начального распора и большая упругая податливость, не обеспечивали улучшение состояния кровли [3, 6, 76].

Ко второму этапу следует отнести по их структурным особенностям металлические, рамные, многоразовые, безразборные (МРМБ) секции крепи. Первые образцы щитовых секций «Журавлева», «Щекинские», кинематически связанные с базой (конвейером или балкой) ставшие унифицированной структурной единицей для оснащения очистного забоя, что способствовало разработке узкозахватной технологии выемки угля. Шарнирная база позволила вписаться в изменяющуюся гипсометрию почвы пласта, а так называемый «щит Журавлева» обеспечил ограждение призабойного пространства, что позволило увеличить безопасность работы для шахтеров [51, 98].

Третий этап развития характеризуется разработкой и созданием металлических, оградительно-поддерживающих, щитовых, многоразовых, безразборных, цельнопредвижных (МЦМБЦ) секций типа «Мосбасс», Щ57, М87 и других, которые были приняты за основу при создании первого семейства работоспособных комплексов, и которые принято называть комплексами первого поколения. Помимо основных операций, появляются вспомогательные, такие как выдвигной борт, перекрывающий межстоечный зазор, гидродомкраты удерживающие СМК и конвейер от сползания и др. Достоинством такой крепи является фронтальная передвижка става конвейера одновременно всеми гидродомкратами крепи по всей длине забоя. К числу недостатков секций щитового типа этого периода можно отнести относительно увеличенную металлоёмкость, незащищенность призабойного пространства от проникновения обрушенных пород, ограниченную сферу использования и низкую работоспособность [101, 102].

К четвертому этапу следует отнести металлические, поддерживающе-оградительные, щитовые, четырехзвенные, многоразовые, безразборные, цельнопредвижные (МЩЧМБЦ) секции крепи, большее внимание к которым стало уделяться вследствие компактности, функциональности, надежности, управляемости, что обеспечило вывод технической информации на пульт управления диспетчера шахты. Особенностью конструкций является большое разнообразие вспомогательных операций, а именно наличие щита удержания забоя, управляемого двумя гидродомкратами, наличие ограждений, узел подъема основания, а также рычаг механизма корректировки основания и домкрат для корректировки конвейера и секций [75, 77, 78].



Рисунок 2.2 – Изменение количества основных и вспомогательных операций во времени

Проведенный анализ, представленный на рисунке 2.2 показал, что каждому последующему этапу развития СМК соответствует увеличение количества вспомогательных операций. Целесообразно темп увеличения вспомогательных операций выделить как критерий интенсивности развития.

Поэтому для дальнейшего исследования развития функциональных возможностей СМК необходимо выделить контролируемые параметры, формула (2.1).

Контролируемые параметры



- $N_{o.ц}$ - количество операций, выполняемых секцией за цикл выемки (всего);
- N_B - количество вспомогательных операций, выполняемых секцией за цикл выемки;
- N_o - количество основных операций, выполняемых секцией за цикл выемки.

$$N_{o.ц} = N_B + N_o \quad (2.1)$$

Для угольных забоев характерна циклическая выемка. Цикл операций в угольном очистном забое определяется совокупностью повторяющихся в определенном порядке процессов и операций, обеспечивающих выемку угля на установленную паспортом величину подвигания, формула (2.2).

Каждая СМК КМОЗ циклически выполняет последовательные и совмещенные операции (рисунок 2.3), которые можно разделить на основные (T_o), формула (2.3) и вспомогательные (T_B), формула (2.4):

$$T_{ц} = T_o + T_B, \quad (2.2)$$

$$T_o = t_y + t_{пк} + t_{огр}, \quad (2.3)$$

$$T_B = t_{ср} + t_{пд} + t_{кор.п} + t_з + t_{ск.у} + t_{рег.п}, \quad (2.4)$$

где t_y – управление горным давлением; $t_{пк}$ – поддержание кровли; $t_{огр}$ – ограждение призабойного пространства; $t_{ср}$ – снятие распора; $t_{пд}$ – передвижка секции; $t_{кор.п}$ – корректировка положения секции; $t_з$ – защита призабойного пространства от проникновения обрушившихся пород; $t_{ск.у}$ – скалывание подкровельной пачки угля; $t_{рег.п}$ – регулирование положения секции в плоскости пласта.

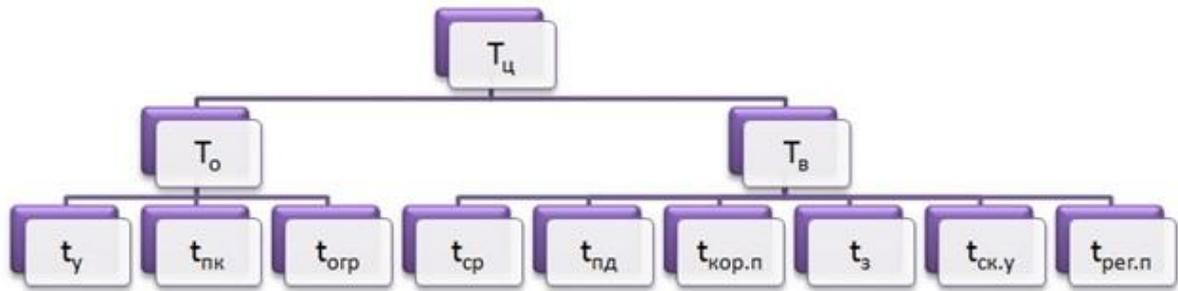


Рисунок 2.3 – Время основных и вспомогательных операций, выполняемых секцией крепи

Основные операции, выполняемые СМК:

1. Управление горным давлением;
2. Поддержание кровли над призабойным пространством;
3. Защита (ограждение) призабойного пространства от проникновения в него обрушенных пород кровли.

Вспомогательные операции, выполняемые СМК:

1. Корректировка положения секции крепи ее разворотом в плоскости пласта во время передвижки (М142);
2. Корректировка положения секции крепи при ее смещении по падению пласта;
3. Закрытие межсекционного зазора по перекрытию (ОКП70);
4. Корректировка положения СМК выдвиганием борта с опорой перекрытия на распертые соседние секции при передвижке секции крепи (М138);
5. Защита призабойного пространства от проникновения обрушающихся пород в рабочее пространство лавы (М130) со стороны выработанного пространства;
6. Установка опережающей стойки крепления кровли при ее обнажении вследствие отжима (УПК5);
7. Скалывание подкровельной пачки угля у кровли (МКТ);
8. Регулирование рабочего сопротивления поддерживающих кровлю козырьков (ОКП70);
9. Удержание забоя от вывалов (1УКП);

10. Корректировка положения забойного конвейера по длине лавы регулированием усилий гидродомкратов с опорой на секции крепи при боковой нагрузке;

11. Корректировка взаимного положения соседней секции (M91);

12. Регулирование положения конвейера относительно забоя при передвижке.

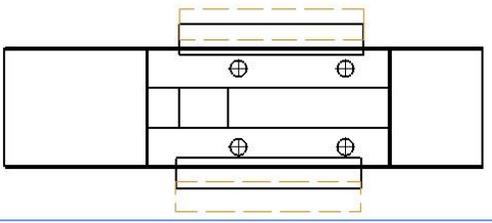
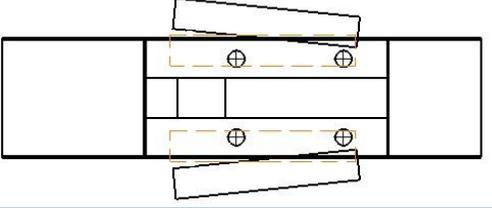
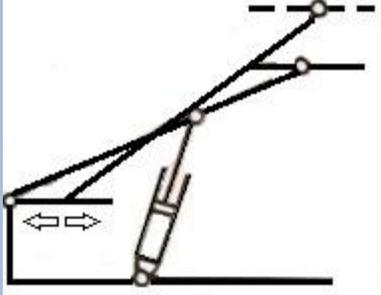
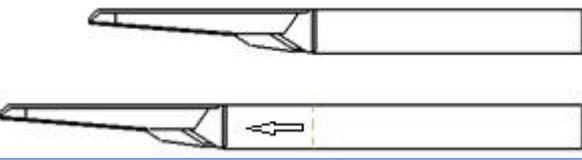
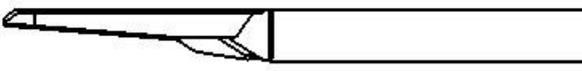
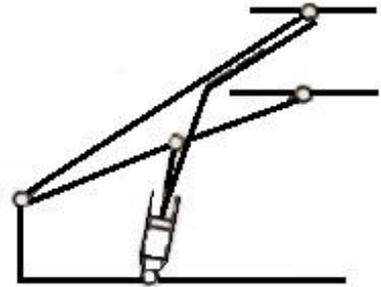
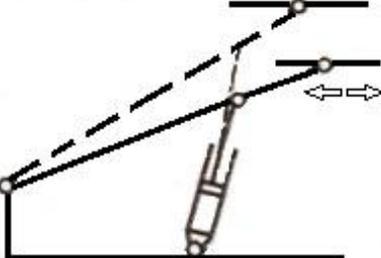
Механизмы	Выполняемые операции	Секция крепи	Конструктивные особенности
Гидроцилиндр выдвигноборта	Корректировка положения секции крепи разворотом в плоскости пласта во время передвижки	М142	
Гидроцилиндр выдвигноборта	Закрытие межсекционного зазора по перекрытию	М137	
Гидродомкрат оградительного телескопического перекрытия	Защита призабойного пространства от проникновения обрушившихся пород в рабочее пространство лавы	М130	
Гидродомкрат выдвигного козырька	Удержание забоя от вывалов	1УКП	
Гидродомкрат скалывающего козырька	Скалывание подкровельной пачки угля у кровли	МКТ	

Таблица 2.2 – Конструктивные особенности СМК

Гидроцилиндр поджимного козырька	Подхват кровли	М81	
Гидроуправляемый отжимной щит	Увеличение рабочего сопротивления поддерживающих кровлю козырьков	ОКП70	

Окончание таблицы 2.2

Начиная с периода интенсивного развития СМК с 1965 и по 2015 г. (рисунок 2.4) количество разрабатываемых и используемых типов секций по годам увеличивалось до 1975, что отражалось в разнообразии конструктивных исполнений. Начиная с 2000-х развитие СМК, обеспеченное научными разработками, конструкторским и производственным опытом привело к переходу на применение одного типа крепей, получивших широкое применение при выемке пластов средней мощности, а именно поддерживающе-оградительных щитовых, зарекомендовавших себя в производственных условиях и обеспечивающих рост нагрузки на забой от 5230 т/сут. до 10250 т/сут. Переход на щитовые механизированные крепи взамен технологически устаревших рамных, кустовых и комплектных крепей привел к постепенному снижению выпуска других типов СМК.

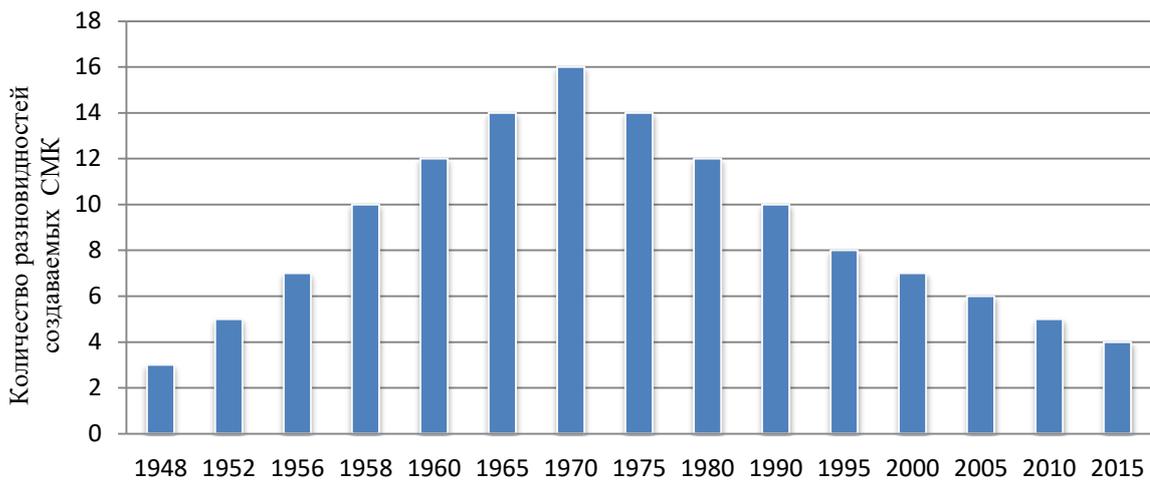


Рисунок 2.4 – Зависимость СМК от количества используемых типов секций по годам

В результате частично сократилась вероятность вывалообразований и обрушений кровли в рабочее призабойное пространство лавы, что обеспечило за счет совмещения основных и вспомогательных операций более длительную работу в режиме добычи. Коэффициент машинного времени работы комбайна увеличился с 0,14 до 0,36-0,5.

Таким образом, развитие СМК характерно тем, что увеличение количества вспомогательных операций по этапам развития улучшает приспособляемость крепи, которые срабатывают в конкретных условиях, как реакция на изменение горно-геологических и технологических условий работы. Вспомогательные операции, в которых объективная необходимость не требуется, быстро исчезают. Намечается переход к адаптивным СМК, поэтому для дальнейшего исследования необходимо проанализировать их режимы работы и рабочую характеристику.

2.3 Теоретические исследования процесса взаимодействия секций механизированной крепи с породами непосредственной кровли за цикл выемки

Технологические возможности и эффективность функционирования СМК отражены в их комплексных рабочих характеристиках: изменение несущей способности гидростоек (давления рабочей жидкости в поршневой полости стойки) при выполнении циклически повторяемых во времени операций [72, 87, 88].

Под типовой рабочей характеристикой режимов работы гидростойки (ГС) профессор В.Н. Хорин [4, 5, 98] (рисунок 2.5) описывает зависимость давления в поршневой полости ГС (распорного усилия) от ее податливости в режиме управления горным давлением и изменения давления в поршневой полости ГС в зависимости от выполняемых последовательных операций передвижки СМК.

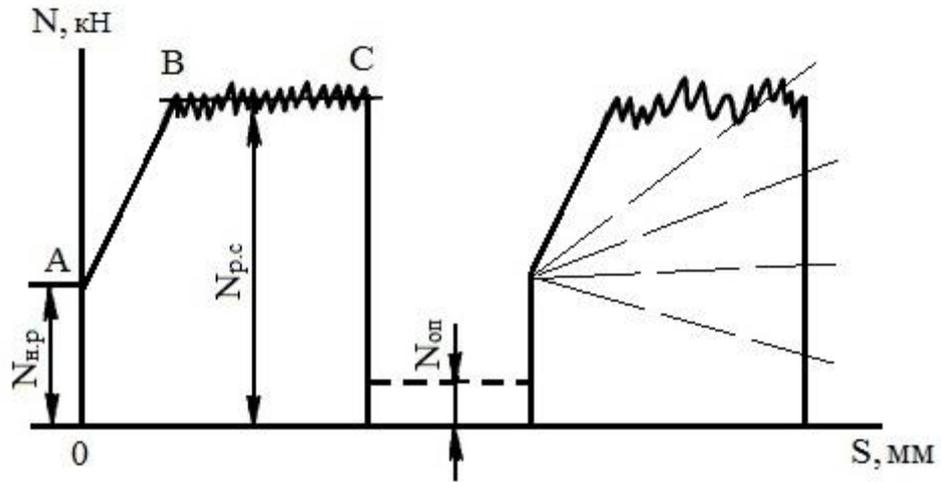


Рисунок 2.5 – Типовая рабочая характеристика по В.Н. Хорину

Работу ГС (рисунок. 2.5) можно разделить на несколько этапов. Для распора секции, а, следовательно, раздвижки стойки, рабочая жидкость $P_{н.с}$ начинает действовать на породы кровли, создавая усилие начального распора $N_{н.р}$, отжимает обратный клапан и следует в поршневую полость ГС. При определенном давлении поршень ГС вместе со штоком выдвигаются и прижимают перекрытие к кровле, а основание – к почве пласта (линия АВ на рисунке 2.5). Опускание выдвигной части ГС на величину ΔS_y сопровождается упругим сжатием рабочей жидкости и деформации цилиндра.

На рисунке 2.5 линия АВ соответствует режиму работы ГС нарастающего сопротивления. При последующем опускании пород непосредственной кровли давление в поршневой части ГС повышается до уровня настройки срабатывания ПК. ГС работает в режиме равного сопротивления (линия ВС), формула (2.5).

$$N_{р.с} = \frac{\pi D^2}{4} P_{п.к}, \quad (2.5)$$

где D – диаметр цилиндра ГС, мм; $P_{п.к}$ – давление срабатывания ПК, МПа.

При этом работа ПК ГС характеризуется величиной разброса $\pm \Delta p$ давления рабочей жидкости в поршневой полости ГС при срабатывании (открывании и закрывании) ПК.

Длина ГС меняется в зависимости от податливости ГС, определяемой количеством рабочей жидкости, прошедшей через ПК из поршневой полости ГС.

По мере выемки угля ГС разгружается и механизированная крепь передвигается на новое рабочее место подачей рабочей жидкости в штоковую полость и в разгрузочный клапан, открывая выход рабочей жидкости из поршневой полости в сливную магистраль. Под действием рабочей жидкости, поступающей под давлением в штоковую полость, происходит принудительное опускание выдвижной части ГС, которая может разгружаться полностью с потерей контакта верхнего перекрытия с породами кровли в процессе передвижки или частично со снижением давления в поршневой полости до заданного предела, регулируемого специальным подпорным клапаном, не теряя контакта с породами кровли.

В конце передвижке в поршневую полость ГС подается рабочая жидкость под давлением $P_{н.с}$, после чего стойка распирается с усилием начального распора $N_{н.р}$ и цикл ее работы повторяется.

Профессором В.Н. Хориным отмечено [97], что фактическое сопротивление, оказываемое гидростойкой опусканию пород кровли, является одним из важнейших параметров, определяющих характер взаимодействия системы «механизированная крепь — боковые породы».

Однако до сих пор у многих рабочих очистного забоя и даже инженерно-технических работников складывается неправильное представление о фактическом сопротивлении механизированной крепи.

Необходимо отказаться от распространенного ошибочного мнения, что если имеется видимость, что ГС механизированной крепи расперты, то механизированная крепь оказывает сопротивление опусканию пород кровли, равное номинальному рабочему сопротивлению, указываемому обычно в паспорте крепи в t/m^2 .

В действительности факт распора гидростоек секций механизированной крепи еще ничего не говорит о величине фактического сопротивления, развиваемого секцией механизированной крепи.

Основными причинами отклонений фактических значений рабочей характеристики ГС от ее номинального значения, являются [56, 68, 73, 99]:

- наличие в системе ГС микроутечек;
- изменение со временем давления настройки срабатывания предохранительного клапана;
- уменьшение величины начального распора ГС относительно заданной;
- ухудшение состояния пород кровли, неизбежно приводящие к увеличению трудоемкости;
- снижение возможной скорости передвижки и, следовательно, производительности комплекса по добычи угля.

Однако типовая РХ представленная на рисунке 2.5 в таком виде не является корректной и на практике существенно отличается от фактической РХ ГС (рисунок 2.6) [97].

Основными отличиями приведенной и фактической РХ является:

- изменение давления в поршневой полости и в напорной магистрали в широких пределах из-за потерь в гидролиниях;
- увеличение фактического времени передвижки за цикл ($t = 7$ с), по сравнению с чистым временем ($t = 1,5-2$ с).

Поэтому для выявления особенностей взаимодействия механизированных крепей с породами непосредственной кровли при выполнении последовательных операций цикла предлагается рабочую характеристику анализировать по осциллограмме давлений в поршневой полости ГС и напорной магистрали секции крепи при передвижки снятой в действующей лаве 26-325 АО «Шахты «Полосухинская» (рисунок 2.6).

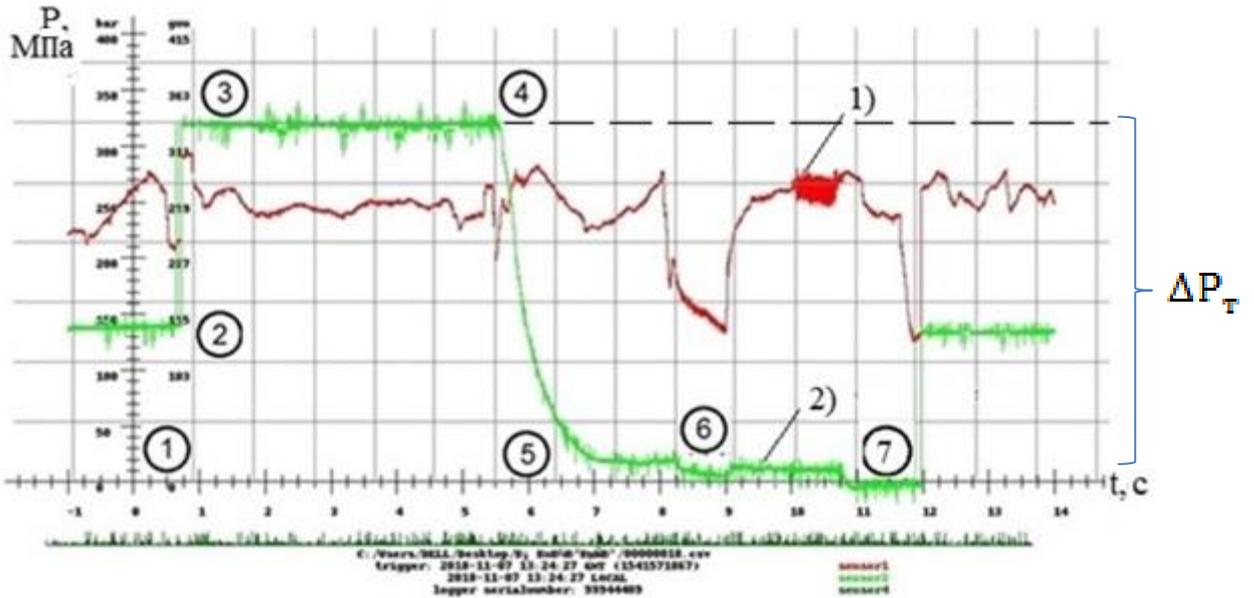


Рисунок 2.6 – Осциллограмма изменения давлений в гидростойке секции механизированной крепи М-138 за цикл операций передвижке лавы 26-325 АО «Шахты «Полосухинская», где – 1) давление в напорной магистрали; 2) давление в поршневой полости.

Для оценки режимов работы СМК рабочую характеристику следует разделить на стадии действующих на крепь нагрузок (1-7):

1. Начальный распор

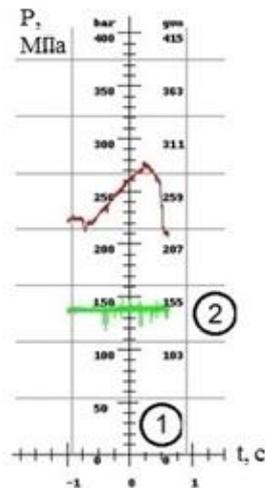


Рисунок 2.7 - Операция принудительного подпора

Операция принудительного распора (рисунок 2.7) характеризует увеличение во времени ($t=0,75$ с) давления в поршневой полости ГС СМК от уровня давления подпора 1 (при передвижке) до уровня начального распора

2, значения которого зависят от давления в напорной магистрали [62]. После контакта перекрытия с кровлей давление в поршневой полости начинает резко увеличиваться, соответственно телескопическая раздвижность и деформация стойки увеличивается тоже.

2. Работа в режиме нарастающего сопротивления

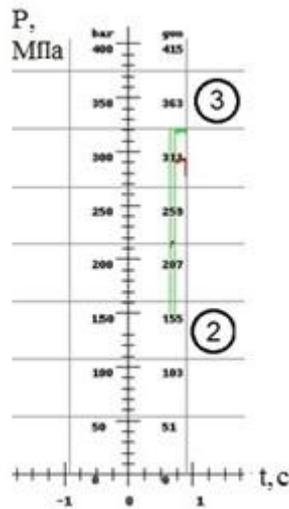


Рисунок 2.8 – Работа в режиме нарастающего сопротивления

К режиму нарастающего сопротивления (рисунок 2.8) ($t=0,25 c$) относим работу замкнутой гидросистемы под нагрузкой, вызываемой осадкой кровли [71]. Следствием, которой является процесс деформирования как гидростоек, так и пород на контактах или их обтекания характеризующий участок 2-3 до момента срабатывания предохранительного клапана. Исследованиями И.А. Кияшко [52] было установлено, что во многих лавах, например, шахт Западного Донбасса, за период от установки секции до ее передвижки не наблюдалось случаев срабатывания предохранительных клапанов. В случае активного опускания кровли рабочее сопротивление гидростоек секции увеличивается, что приводит к срабатыванию ПК как среднее значение из максимально допустимых сопротивлений стоек опусканию (сближению) пород. Однако если вмещающие породы на контактах с перекрытиями и основаниями секций не сминаются, т. е. они достаточно прочные, то срабатывание ПК фиксируется повсеместно.

Колебания давления в напорной магистрали связаны с изменением режимов переключения (схемы передвижки) [70].

3. Срабатывание предохранительного клапана (работа в режиме равного сопротивления)

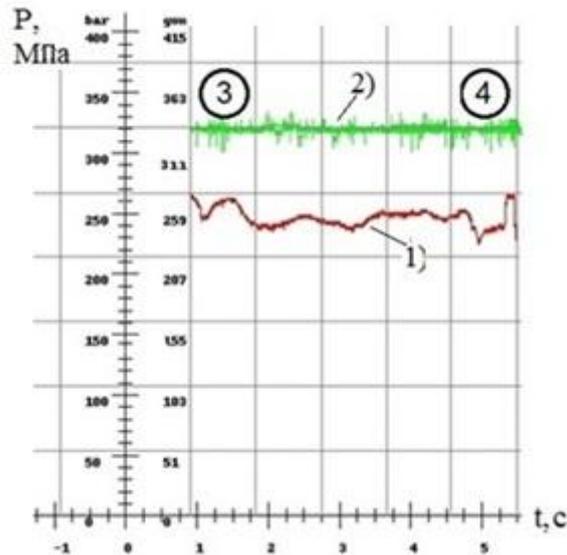


Рисунок 2.9 – Работа в режиме равного сопротивления:

1) давление в напорной магистрали; 2) давление в поршневой полости.

Работа в режиме равного сопротивления (рисунок 2.9) определяется настройкой ПК и формируется его последовательными срабатываниями [13, 79] на участке 3-4 ($t=4,5$ с). Давление срабатывания ПК устанавливают, как правило, соответствующим нагрузке на крепь при первичной осадке основной кровли, и принимают максимально допустимым из условия прочности секции крепи. Большой диапазон изменений давления на непосредственную кровлю от минимальных значений, при передвижке секций, до максимальных значений, способствуют увеличению нагрузок на кровлю, возникновению в ней трещин и вывалов, что приводит к неустойчивости процесса управления горным давлением.

На характеристике вершинами зубьев отмечены моменты открытия ПК, а впадинами — моменты закрытия ПК.

Следует отметить, что колебания давления в поршневой полости на участке 3-4 связаны с состоянием кровли по прохождению различных волн, вибраций.

4. Операция снятие распора

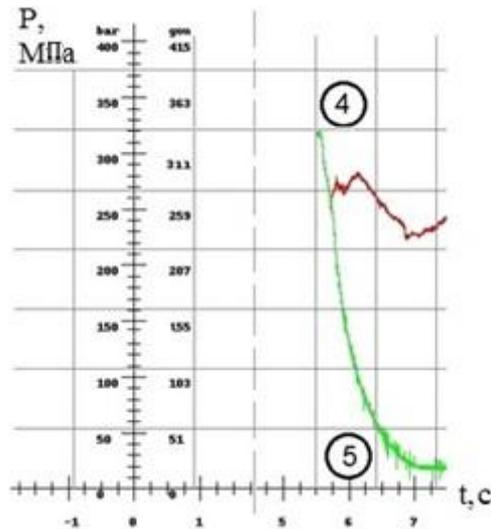


Рисунок 2.10 – Снятие распора

Участок 4-5 характеризует снятие распора (рисунок 2.10) ($t=1,5$ с) стойки вследствие очередного открывания разгрузочного клапана. При разгрузке стойки жидкость подается по каналу «разгрузка». Разгрузочное устройство отжимает обратный клапан, вследствие чего поршневая полость соединяется со сливом через канал «распор». Давление в поршневой полости снижается с 32,5 МПа до 2 МПа. Необходимо сделать вывод о том, что резкое снижение сил сопротивления приводит к негативным последствиям, таким как разрушение пород непосредственной кровли и высыпание пород в межстоечное пространство. Также следует отметить, что при резком закрытии разгрузочного клапана ГС совершает колебательный процесс и проседает.

6. Операция передвижки секций механизированной крепи

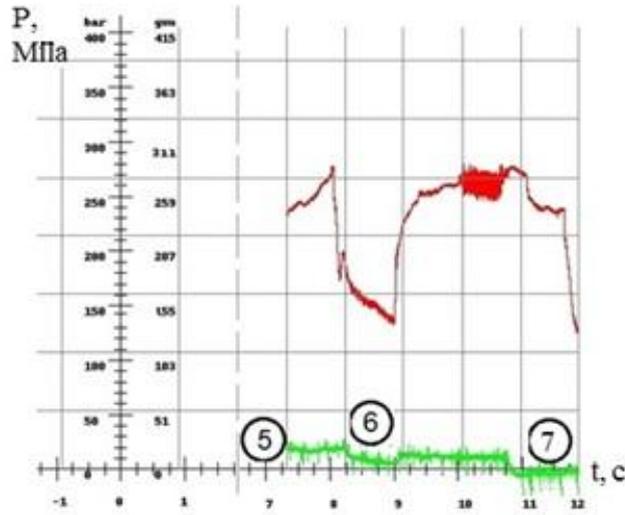


Рисунок 2.11 – Операция передвижки

Участок 5-6 характеризует передвижку секции крепи (рисунок 2.11) ($t=2$ с) при которой необходимо предварительно разгрузить ГС от горного давления. Колебания давления в напорной магистрали на участке 6-7 характеризуется подтягиванием секции крепи гидроцилиндром к конвейеру и последующим его прижатием с установлением зазора.

Проведя анализ типовой РХ (рисунок 2.5) и подробный анализ фактической РХ (рисунок 2.6) с последовательно выполняемыми операциями цикла, можно сделать вывод, что основными негативными факторами, влияющими на режимы работы СМК являются:

1. Последовательные срабатывания предохранительного клапана (рисунок 2.6, поз. 3-4) формирующие характеристику «равного сопротивления», являющиеся причиной возникновения переходных (динамических) процессов в гидростойке, приводящие к интенсификации трещинообразования и расслоения в породах непосредственной кровли, получивших название динамическое «топтание» кровли [91, 94, 100];

2. Систематические воздействия на непосредственную кровлю при снятии распора и передвижки СМК, из-за большой разницы давлений (рисунок 2.6, поз. 4-5) на непосредственную кровлю от минимальных

значений, при передвижке секций, до максимальных значений, при неизбежно завышенной уставке ПК по давлению, приводят к повышенным нагрузкам на непосредственную кровлю, возникновению трещин и вывалов, что делает процесс управления горным давлением неустойчивым [14, 59, 100].

Для снижения эффекта динамического «топтанья» пород непосредственной кровли В.В. Бувичем [80] предложено техническое решение, по замыслу которое предлагает структуру рабочей характеристики гидростоек секций крепи привести к виду, представленному на рисунке 2.12 кривой 2-3.

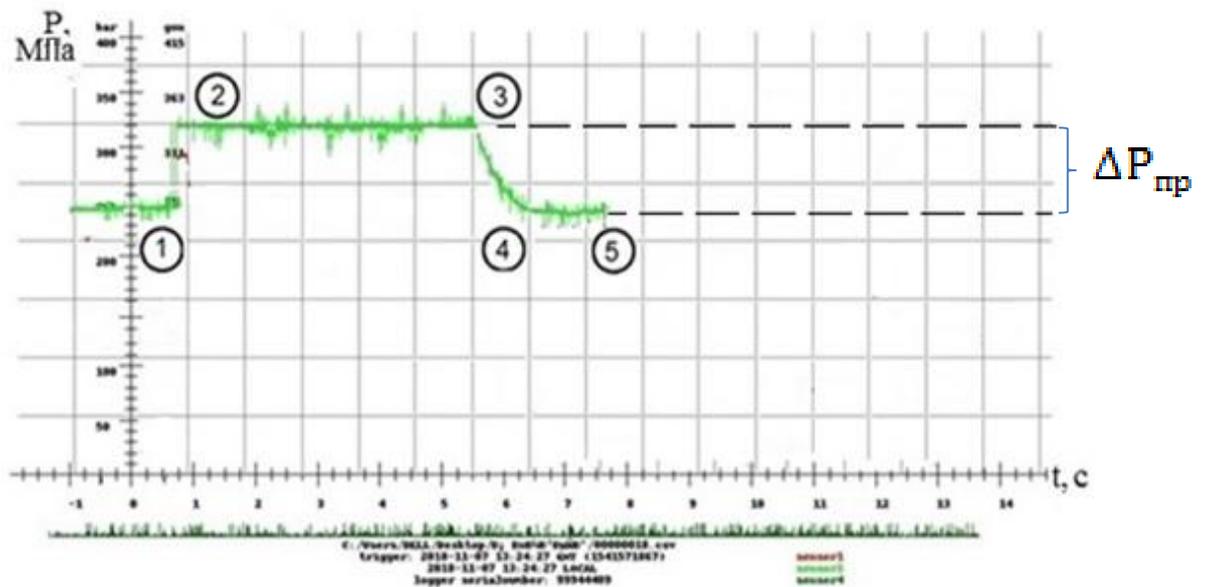


Рисунок 2.12 – Измененная рабочая характеристика СМК

Особенностью такой рабочей характеристики являются:

- снижение сил сопротивления передвижению СМК $\Delta P_{пр}$, что уменьшает вероятность высыпаний породы в межсекционное пространство и повышает устойчивость работы ОМК в рациональных режимах;
- управление горным давлением непрерывным регулированием объема вытесняемой рабочей жидкости из поршневой полости ГС через гидротрансформатор в напорную магистраль гидросистемы комплекса, а не вследствие срабатываний ПК, как предусмотрено в типовой РХ.

Для предотвращения разрушений пород непосредственной кровли при снятии распора и передвижки СМК, из-за большой разницы статических сил, автором предлагается дополнить предложенную В.В. Бувичем структуру рабочей характеристики и привести к виду, представленному на рисунке 2.12 кривой 1-2, 3-5.

Особенностью предложенной характеристики являются:

- предотвращение высыпаний породы в межсекционное пространство;
- повышенный уровень начального распора при передвижке;
- сокращение времени на передвижку;
- устойчивая работа ОМК в рациональных режимах.

2.4 ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОСЛАБЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

Эффективность работы очистных механизированных комплексов и в частности секций механизированной крепи носит комплексный характер и зависит как от горно-геологических условий, так и от параметров самой СМК.

При выборе параметров необходимо знать, насколько опасны силовые воздействия с точки зрения ослабления пород непосредственной кровли, однако такой оценки до настоящего времени нет. Сделана первая попытка оценка степени ослабления прочности и устойчивости пород непосредственной кровли при циклически повторяющихся силовых воздействиях секций механизированной крепи при выполнении операций цикла.

Совместно с техническим отделом АО «Шахты «Полосухинская» были проведены комплексные исследования шахт холдинга «Сибуглемет», заключающиеся в применении метода фиксации и замеров продолжительности, выполняемых операций в угольных лавах (рисунок

2.13).



Рисунок 2.13 - Лава 26-325 АО «Шахты «Полосухинская»

Стойки механизированных крепей оборудовались манометрами МП-3У (рисунок 2.14), считывание показаний которых проводилось с интервалами 20-30 минут от времени прохода ОМК и передвижки СМК.



Рисунок 2.14 - Манометр МП-3У установленный на гидростойке

Наблюдения за состоянием пород непосредственной кровли, таких как

заколы, трещины, вывалы, регистрировались с помощью фотоаппарата при каждом цикле передвижки механизированной крепи.

Наблюдения проводились при выполнении различных технологических операций, таких как выемка угля комбайном, концевые операции, технологические перерывы, отказы и время на их устранение в угольном забое с учетом времени на их регистрацию.

Исследования проводились в КМОЗ со сложными ГГУ и технологическими условиями с наиболее распространенными схемами комплектаций горного оборудования с применением механизированной крепи М-138, очистного комбайна К-500Ю (КСW-460NE) и с забойным конвейером КСЮ-271 (RҮВНИК 750).

Например, в лаве пласта 26а, АО «Шахты «Полосухинская» работает механизированный комплекс МКЮ.4У в составе которого механизированная крепь 3М-138 с очистным комбайном КSW-460NE и забойным конвейером RҮВНИК 750 при средней мощности пласта 1,9 м и с коэффициентом крепости угля $f=2,0-3,0$.

Наблюдения проводились в течение 30 суток (100 смен). При этом выполнено 63 цикла выемки, а подвигание забоя лавы составило 80 м.

Анализ результатов наблюдений показал, что выемка угля, крепление забоя и передвижка конвейера занимают от 10 % до 18 % общего времени. Концевые операции – от 5 % до 10 % общих затрат времени. Наибольшую продолжительность по времени занимает работы по устранению отказов СМК от 16 % до 23 %. Простои из-за неисправности конвейера составляют от 7 % до 12 % и комбайна - от 2 % до 5 %.

Было установлено, что в очистном комплексе наименее надежным элементом по затратам времени на устранение отказов при выполнении процессов крепления и управления кровлей является СМК, что повышает вероятность вывалов породы в призабойном пространстве.

Результаты измерений показали, что рабочее сопротивление СМК

составляет около 85% от номинальных параметров, что говорит о не полном использовании силовых ресурсов.

Расстояние от консолей перекрытия до очистного забоя превышает допустимую величину, что увеличивает вероятность потери устойчивости незакрепленных пролетов кровли (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Потери устойчивости незакрепленных пролетов кровли

Результаты визуальных наблюдений показали, что наиболее интенсивная конвергенция вмещающих пород происходит после прохода ОМК. При этом в непосредственной кровле возникают критические напряжения $\sigma_{кр}$, способствующие раскрытию трещин, расслоению пород и вывалообразованию в межстоечное пространство.

Значительное влияние на устойчивость кровли оказывает режим работы крепи - изменение во времени сопротивления гидростоек опусканию пород кровли и высоты секций.

Определения фактического режима работы СМК зависит от типа гидравлических стоек, состояния ПК, качества рабочей жидкости и др.

Частые срабатывание ПК приводят к перепадам сопротивления ГС и негативно сказываются на состоянии ослабления пород непосредственной

кровли в результате силовых циклических воздействий, непосредственно контактирующих с перекрытием крепи. Этим объясняются вывалы породы в призабойное пространство в период длительных остановок лав, когда передвижка крепи, не производится, но присутствует статическое «топтание кровли», каким и является перемещение крепи. В процессе передвижки крепи наблюдается и динамическое «топтание кровли», обусловленное снятием распора при перемещении секций механизированной крепи к забою, которое также отрицательно воздействует на нижний слой пород кровли.

«Топтание кровли» [96] – это общепринятый термин характеризующий процесс периодического нагружения, разгрузки боковых пород при передвижении механизированных крепей и проходческих комбайнов, вызывающее нарушение устойчивости выработки.

Автором предложено степень интенсивности ослабления пород непосредственной кровли в результате силовых циклических воздействий при передвижках оценивать коэффициентом «топтания» кровли равным произведению коэффициентов по формуле (2.6):

$$K_m = C_{\sigma_k} \cdot K_{\sigma} \cdot K_{кр} \cdot K_{mp} \cdot K_{cl}, \quad (2.6)$$

где C_{σ_k} - коэффициент, характеризующий прочностные свойства непосредственной кровли (класс кровли); K_{σ} - коэффициент, учитывающий степень напряженности пород непосредственной кровли в контакте с перекрытием секции крепи в режиме управления горным давлением; $K_{кр}$ - степень кратности воздействия секции крепи на кровлю с породами; K_{mp} и K_{cl} - коэффициенты, отражающие степень ослабления пород непосредственной кровли вследствие ее трещиноватости и слоистости, соответственно.

Значения коэффициента K_{σ} определяется по формуле (2.7):

$$K_{\sigma} = C_1 \frac{\sigma_{\phi}}{\sigma_{кр}} = C_1 \frac{P_{нк} \cdot S_{nn} \cdot n_{cm}}{L_n \cdot \lambda_{ш} \cdot \sigma_{кр}}, \quad (2.7)$$

где $P_{нк}$ - давление срабатывания предохранительного клапана гидростойки, МПа; S_{nn} - площадь сечения поршневой полости гидростойки, мм²; n_{cm} - количество гидростоек секции крепи, шт; L_n - длина поддерживающей части перекрытия секции крепи, мм; $\lambda_{и}$ - шаг расстановки секции крепи по длине очистного забоя, м; $\sigma_{кр}$ - критическое напряжение кровли (предельное напряжение при котором кровля разрушается).

Значения коэффициента $K_{кр}$ определяется по формуле (2.8):

$$K_{кр} = C_2 \frac{L_n}{\lambda_6}, \quad (2.8)$$

где C_1 и C_2 - коэффициенты ослабления пород непосредственной кровли с изменением фактической их напряженности и кратности нагрузок, λ_6 - шаг передвижки секции крепи.

Например, в условиях АО «Шахты «Полосухинская» для случая использования очистного механизированного комплекса КМ-138 с механизированной крепью М-138, длиной поддерживающей части перекрытия секции крепи 5м и шагом передвижке секции крепи 0,8 м, коэффициент кратности воздействия секции крепи на кровлю с породами будет равен (2.9):

$$K_{кр} = \frac{5}{0,8} = 6,2 \quad (2.9)$$

Таким образом, после преобразований формула коэффициента «топтанья» кровли имеет вид (2.9):

$$K_m = \frac{C_{ск} \cdot C_1 \cdot P_{нк} \cdot S_{nn} \cdot n_{cm}}{\sigma_{кр} \cdot \lambda_{и}} \cdot \frac{C_2 \cdot K_{кр} \cdot K_{сл}}{\lambda_6}. \quad (2.9)$$

Предложенный способ оценки снижения прочности и устойчивости породы непосредственной кровли под силовым взаимодействием СМК при выполнении операций цикла определяемым коэффициентом топтанья кровли

учитывает как геометрические размеры крепи, режимы работы СМК, так и прочностные свойства пород.

Коэффициенты ослабления пород непосредственной кровли с изменением фактической их напряженности и кратности нагрузок C_1 и C_2 определяются на основе опыта и дальнейших экспериментальных исследований.

2.5 Выводы по главе 2

Современные СМК осуществляют управление горным давлением в соответствии с их рабочей характеристикой, состоящей из последовательно выполняемых операций цикла: характеристик нарастающего и равного сопротивления, разгрузки и подпора при передвижке секции, начального распора секций.

Взаимодействие механизированной крепи с породами непосредственной кровли и почвы в КМОЗ определяется изменением ГГУ, в которых работает СМК, и поэтому ее рабочие характеристики должны выбираться в зависимости от этих условий. Однако создание машины для каждого конкретного очистного забоя, безусловно, нерационально, поэтому для повышения устойчивости процесса управления горным давлением в КМОЗ, необходима разработка адаптивных СМК, которые обеспечат:

- равномерное распределение давления по всей длине площади контакта перекрытия с кровлей, способствующие повышению устойчивости процесса управления кровлей при передвижке секции крепи;
- передвижку секции крепи с неподвижными контактами распорных элементов с кровлей и почвой;
- повышение устойчивости и безопасности технологического процесса добычи угля в комплексно-механизированных очистных забоях.

ГЛАВА 3 СИНТЕЗ СХЕМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АДАПТИВНЫХ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

Чтобы повысить устойчивость процесса управления горным давлением, не достаточно изменить только структуру рабочей характеристики СМК, необходимо совершенствовать структуру и параметры самой СМК, обеспечивающей, передвижку СМК без значительных статических и динамических силовых воздействий на породы непосредственной кровли, способных вызывать высыпание породы непосредственной кровли в межстоечное пространство.

3.1 Секция механизированной крепи с опорной и направляющей балками

Предлагается разработанная СМК с опорной и направляющей балками [88] (рисунок 3.1) в которой перекрытие секции выполнено с продольным пазом, открытым к кровле, в который установлена опорная балка с возможностью её перемещения гидродомкратом, шарнирно соединённым с перекрытием, на шаг передвижки секции крепи, при этом гидропатрон, закреплённый на портале перекрытия, через промежуточную подшипниковую каретку перекрытие опирается на опорную балку.

Технический результат достигается тем, что перекрытие секции выполнено с продольным пазом, открытым к кровле, в который установлена опорная балка с возможностью её перемещения гидродомкратом, шарнирно соединённым с перекрытием, на шаг передвижки секции крепи, при этом гидропатроном, закреплённом на портале перекрытия, через промежуточную подшипниковую каретку перекрытие опирается на опорную балку, обеспечивая при передвижке секции неподвижность контакта опорной балки с кровлей, прижатие балки к кровле, поддержание кровли, снижение силы трения перекрытия о кровлю и силы перемещения секции крепи.

Устройство поясняется следующими рисунками:

рисунок 3.1 – общий вид секции механизированной крепи;
 рисунок 3.1 – секция механизированной крепи, вид сверху;
 рисунок 3.1 – секция механизированной крепи, вид спереди, где:

- 1 – козырек;
 - 2 – портал по перекрытию;
 - 3 – гидродомкрат по перекрытию;
 - 4 – перекрытие (верхняк);
 - 5 – завальное ограждение секции;
 - 6 – гидростойки;
 - 7 – гидродомкрат передвижки по основанию;
 - 8 – основание секции;
 - 9 – портал по основанию;
 - 10 – опорная балка;
 - 11 – скользящая каретка по опорной балке;
 - 12 – гидропатрон по перекрытию;
 - 13 – направляющая балка;
 - 14 – скользящая подшипниковая каретка по направляющей балке;
 - 15 – гидропатрон компенсирующего устройства;
 - 16 – забойный скребковый конвейер;
- h – шаг передвижки направляющей балки.

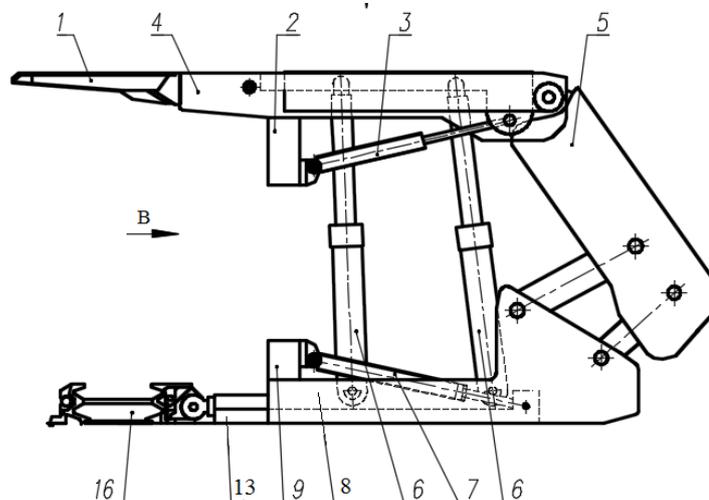


Рисунок 3.1 – Общий вид секции механизированной крепи

Секция механизированной крепи состоит (рисунок 3.1) из перекрытия с козырьком и порталом, опорной балки (рисунок 3.2), которая гидродомкратом соединена с порталом, через гидродомкрат с направляющей балкой, которая шарнирно другим концом соединена со ставом забойного скребкового конвейера.

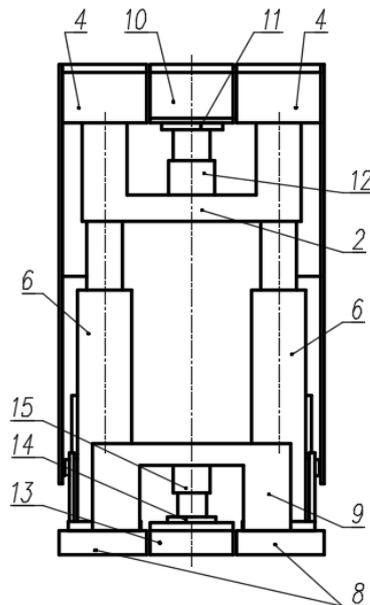


Рисунок 3.2 – Секция механизированной крепи, вид сверху

Опорная балка установлена в пазе перекрытия с возможностью перемещения не менее чем на шаг передвижки секции. Завальное ограждение соединено шарнирно с перекрытием и с основанием секции крепи. Перекрытие опирается на основание распорными стойками. Опорная балка через скользящую подшипниковую каретку (рисунок 3.2-3.3) с гидропатроном опирается на портал перекрытия секции крепи.

Передвижка секции крепи с опорой через скользящую подшипниковую опору на распорную и направляющую балки может быть определена (3.2), по сравнению с типовой (3.1) по формуле:

$$F_T = N \cdot f_{тр} \quad (3.1)$$

$$F_{пр} = N \cdot f_{сц} \quad (3.2)$$

$$K_{cc} = \frac{F_{тип.}}{F_{пред.}} = \frac{f_{тр}}{f_{сц}} = 10, \quad (3.3)$$

где K_{cc} – коэффициент снижения сил сопротивления передвижению; $f_{тр}$ – коэффициент трения скольжения с подшипниковой опорой; $f_{сц}$ – в контакте кровли с перемещающимся перекрытием; N – нормальная составляющая сил распора.

Таким образом, передвижка секции крепи с опорой через скользящую подшипниковую опору на распорную и направляющую балки обеспечивает снижение коэффициента сил сопротивления (3.3) их перемещению в 10 раз по сравнению с типовой секцией крепи.

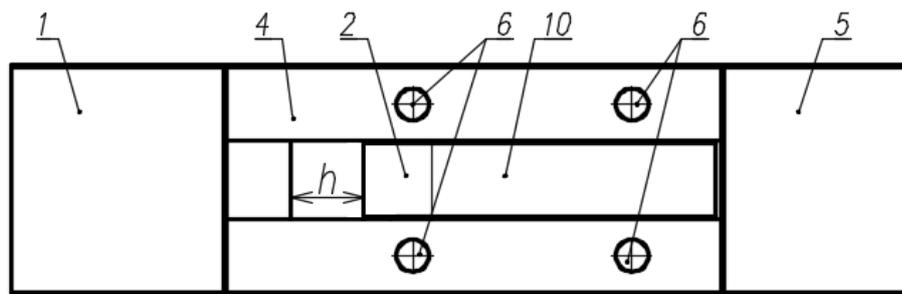


Рисунок 3.3 – Секция механизированной крепи, вид спереди

В исходном положении секция подвинута к конвейеру, перекрытие с козырьком и опорной балкой передвинуты к забою. После выемки полосы угля и подвигания забоя на ширину захвата очистного комбайна или на шаг передвижки крепи (в струговой лаве) передвижка секции крепи осуществляется в следующей последовательности: переносится одновременно распор секции крепи в почву с основания на направляющую балку включением гидропатрона по основанию и с перекрытия секции на опорную балку включением на распор гидропатрона по перекрытию.

После переноса распора на направляющую и опорную балки включаются гидродомкрат по основанию и гидродомкрат по перекрытию, осуществляющие передвижку секции крепи на забой (к конвейеру) с опорой

на неподвижные направляющую и опорную балки. При этом: вместе с основанием, порталом и гидропатроном перемещается скользящая по неподвижной направляющей балке подшипниковая опора и вместе с перекрытием, порталом, гидропатроном перемещается скользящая по неподвижной опорной балке подшипниковая опора.

После передвижки секции гидродомкраты и, гидропатроны по основанию и перекрытию переключаются на слив, распор с балок и переносится на перекрытие и на основание секции, а распорная балка гидродомкратом передвигается по продольному пазу перекрытия к забою на шаг передвижки секции крепи. Цикл передвижки секции заканчивается. Передвижка направляющей балки осуществляется вместе с забойным конвейером после выемки очередной полосы угля (полезного ископаемого).

Разница давлений за цикл передвижки снижает диапазон изменчивости сил сопротивления в 20 раз, что снижает вероятность растрескивания пород непосредственной кровли по сравнению с типовой СМК (3.3-3-5):

$$P_{p.c} \cdot N_c - P_{пп} \cdot N_c = \Delta P_T; \quad (3.3)$$

$$P_{p.c} \cdot N_c - P_{н.р} \cdot N_c = \Delta P_{пр}; \quad (3.4)$$

$$\frac{\Delta P_T}{\Delta P_{пр}} = \frac{320}{16} = 20, \quad (3.5)$$

где $P_{p.c}$ – давление равного сопротивления, МПа; N_c – количество стоек в ряду, шт; $P_{пп}$ – давление принудительного подпора, МПа; $P_{н.р}$ – давление начального распора, МПа.

Режим передвижки секции крепи при переносе компенсирующего распора с основания секции на направляющую балку и с перекрытия на распорную балку устанавливается регулированием давления рабочей жидкости в гидропатронах и при полной компенсации усилия распора гидростоек перекрытие разрывает контакт с кровлей, что обеспечивает режим передвижки секции крепи с разрывом контакта с кровлей; при

компенсации усилия распора гидростоек до уровня назначенного подпора перекрытия в кровлю, осуществляемого известным способом, передвижка секции осуществляется в режиме с активным или пассивным подпором и, в случае слабых пород непосредственной кровли, уровень подпора перекрытия в кровлю может регулироваться изменением давления в гидропатронах, что обеспечит режим передвижки с регулируемым подпором.

Таким образом, предложенное схемное и конструктивное техническое решение СМК с опорной и направляющей балками обеспечивает повышение кинематической и контактной адаптивности:

- неподвижностью контакта опорной балки с породами кровли за счет использования дополнительного кинематического звена – опорной и направляющей балок;
- снижение коэффициента сил сопротивления передвижению СМК за счет использования опор скольжения;
- предотвращение разрушений пород непосредственной кровли и высыпание в межсекционное пространство.

3.2 Секция механизированной крепи с телескопическим перекрытием

Предлагается разработанная СМК с телескопическим перекрытием [43] (рисунок 3.4) содержащая основание катамаранного типа с направляющей балкой, расположенной по оси основания, перекрытие секции, ГС, компенсирующее устройство, размещаемое по оси основания, с жестким или шарнирным порталом и гидропатроном с опорой непосредственно на направляющую балку через опорно-реактивные исполнительные механизмы, домкраты передвижения, шарнирно соединенные с направляющей балкой и задней частью основания, и отличается тем, что перекрытие секции выполнено из телескопически соединенных забойной и завальной составляющих с возможностью их взаимного осевого смещения не более,

чем на шаг передвижки секции крепи, опорные консоли завальной перекрытия входят в пазы забойного перекрытия, а опорная балка, шарнирно соединенная одним концом с завальным перекрытием, размещена в продольном пазу забойного перекрытия, при этом толщина балки меньше глубины паза, забойное перекрытие при перемещении его к забою гидроцилиндром, связанным с опорной балкой, опирается на опорную балку гидропатронами через подшипниковые опоры скольжения, установленные в траверсах забойного перекрытия.

Секция гидрофицированной крепи с телескопическим перекрытием поясняется следующими рисунками:

рисунок 3.4 – общий вид секции гидрофицированной крепи

рисунок 3.5 – секция гидрофицированной крепи, вид сверху,

рисунок 3.6 – секция гидрофицированной крепи, вид спереди.

рисунок 3.7 – секция гидрофицированной крепи с выдвинутым забойным перекрытием.

рисунок 3.8 – секция гидрофицированной крепи с выдвинутым забойным перекрытием, вид сверху, где:

1 – козырек;

2 – забойное перекрытие;

3 – портал забойного перекрытия;

4 – портал перекрытия;

5 – завальное перекрытие;

6 – ограждающий щит;

7 – основание;

8 – гидростойки;

9 – гидродомкрат основания;

10 – портал основания;

11 – направляющая балка;

12 – забойный конвейер;

- 13 – опорная балка;
- 14 – гидродомкрат перекрытия;
- 15 – подшипник опорной балки;
- 16 – гидропатрон опоры перекрытия; 17- шарнира опорной балки;
- 18 – гидропатрон опоры основания;
- 19 – подшипник направляющей балки;
- 20 – опорная консоль;
- 21 - шарнир консоли.

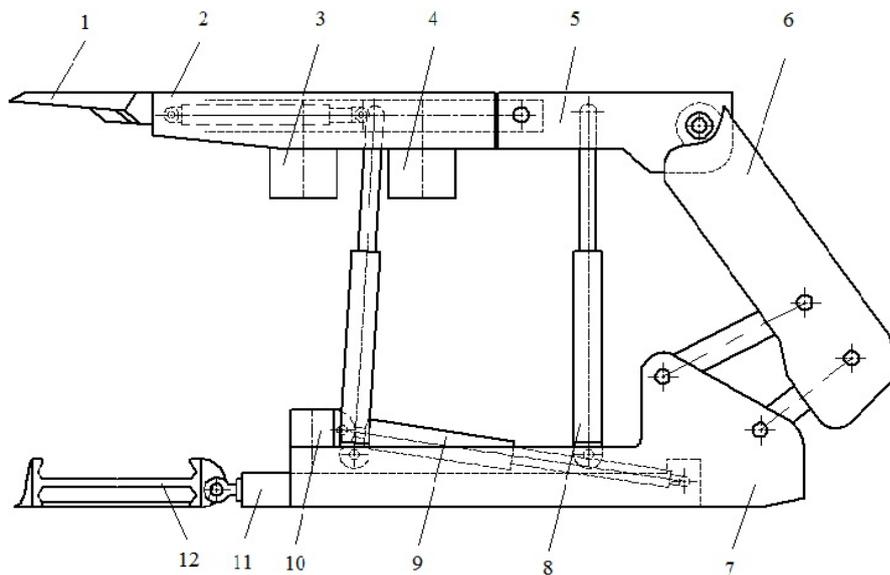


Рисунок 3.4 – Общий вид секция гидрофицированной крени

Перекрытие секции выполнено из телескопически соединенных забойной и завальной составляющих с возможностью их взаимного осевого смещения не более, чем на шаг передвижки секции крени, опорные консоли завальной перекрытия входят в пазы забойного перекрытия, а опорная балка, шарнирно соединенная одним концом с завальным перекрытием, размещена в продольном пазу забойного перекрытия, при этом толщина балки меньше глубины паза, забойное перекрытие при перемещении его к забою гидроцилиндром, связанным с опорной балкой, опирается на опорную балку гидropатронами через подшипниковые опоры скольжения, установленные в траверсах забойного перекрытия.

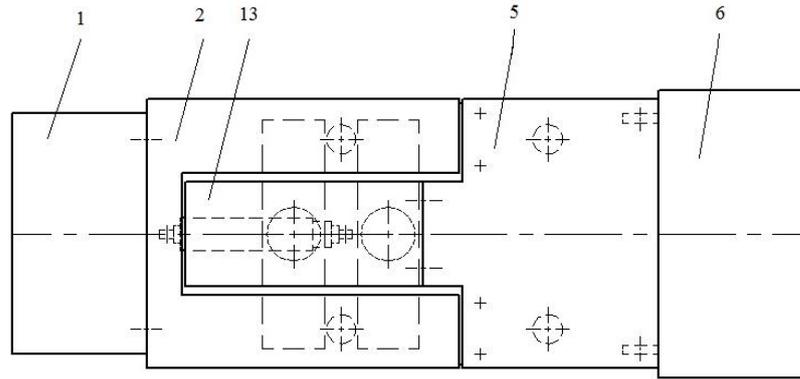


Рисунок 3.5 - Секция гидрофицированной крепи, вид сверху

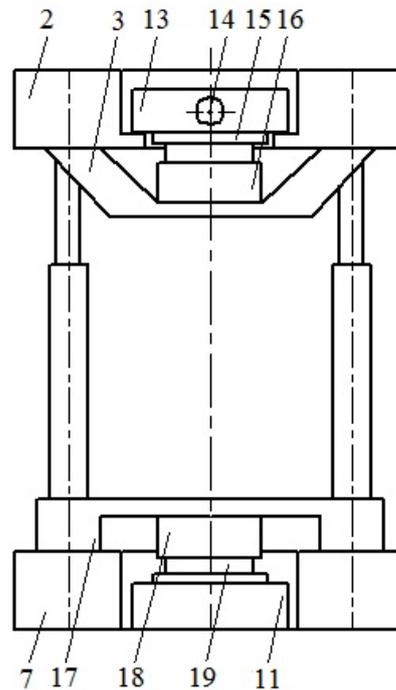


Рисунок 3.6 - Секция гидрофицированной крепи, вид спереди

Секция гидрофицированной крепи очистного механизированного комплекса включает следующие структурные элементы (рисунки 3.4-3.8): перекрытия забойное и завальное, соединённые телескопически, при этом консоли (рисунки 3.7 и 3.8), соединённые шарнирами с завальными перекрытием входят в пазы забойного перекрытия и перекрывают образующиеся окна при раздвижке перекрытий; к забойному перекрытию шарнирно крепится козырёк, а завальное перекрытие ограждающим щитом соединено с основанием секции; перекрытия и опираются на основание гидростойками; на забойном перекрытии закреплены траверсы и на

основании секции - траверса; на траверсах установлены механизмы компенсационного переноса распорных усилий с основания на направляющую балку, соединённую с забойным конвейером, и с забойного перекрытия на опорную балку, шарнирно соединённую с перекрытием. Механизмы компенсационного переноса распорных усилий состоят из гидropатронов, которые опираются через подшипниковые опоры скольжения соответственно на балки.

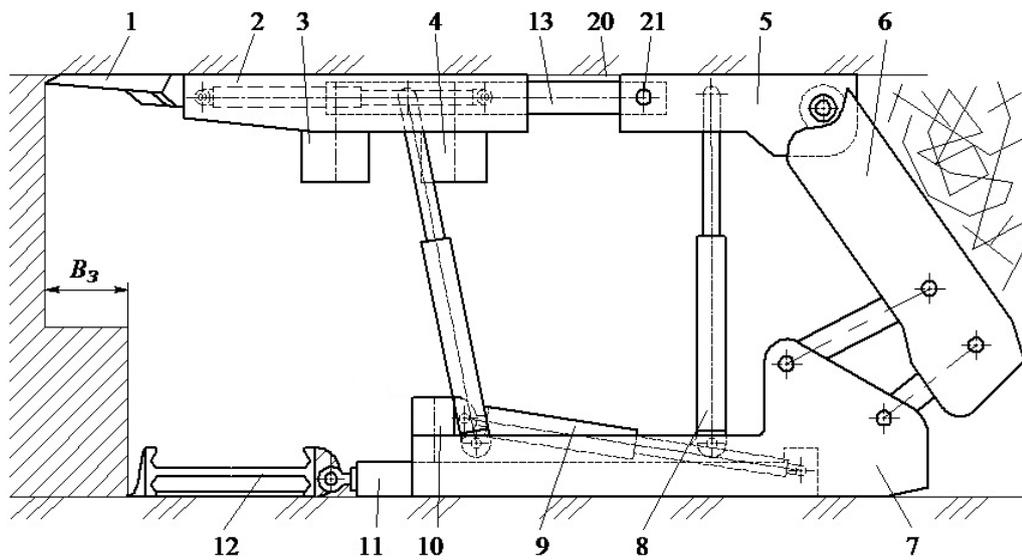


Рисунок 3.7 - Секция гидрофицированной крепи с выдвинутой забойной ступенью перекрытия

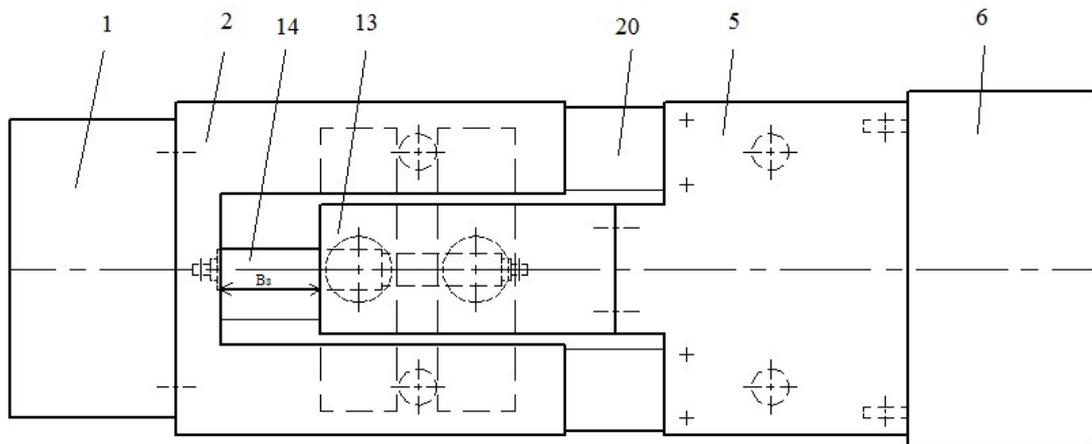


Рисунок 3.8 - Секция гидрофицированной крепи с выдвинутой забойной ступенью перекрытия (вид сверху)

Передвижка секции крепи и опорной балки и телескопическая выдвигка забойной ступени осуществляются гидродомкратом по перекрытию и гидродомкратом по основанию для чего гидродомкрат одним концом соединён с забойным перекрытием, а другим – с опорной балкой, а гидродомкрат (по основанию) одним концом с направляющей балкой, другим - с траверсой основания.

Устройство работает следующим образом. В исходном положении (рисунок 3.4) конвейер забойный, секция гидрофицированной крепи и ее основание передвинуты к забою, что соответствует «заряженной» схеме расстановки оборудования в очистном забое. Перекрытие забойное и завальное (см. также рисунок 3.5) телескопически сдвинуты. Опорная балка разгружена, перекрытия гидростойками распёрты в кровлю с опорой на основания секций крепи. Гидродомкрат, гидропатрон, траверса и подшипниковая опора скольжения компенсирующего устройства по основанию (рисунок 3.6), а также гидродомкрат, траверсы, подшипниковые опоры скольжения компенсирующего устройства по перекрытию разгружены.

С отставанием от движущегося с выемкой верхней пачки пласта комбайна усилие распора с перекрытия забойной ступени секции переносится посредством распора гидропатронов через опоры скольжения и траверсы на неподвижную опорную балку. Включается гидродомкрат передвижки по перекрытию, и забойная ступень перекрытия выдвигается на шаг передвижки секции с сохранением неподвижным контакта опорной балки с кровлей. Завальная ступень перекрытия секции находится при этом в распёртом состоянии, несет полную нагрузку, как и опорная балка. Основание секции крепи остается в исходном положении. При этом время на передвижку только забойной ступени перекрытия тратиться меньше, чем бы потребовалось на передвижку всей секции крепи в сборе, что обеспечивает

увеличение производительности ОМК по сравнению с передвижкой типовой СМК (3.6-3.7):

$$Q_{\text{пр}} = \frac{B_3 \cdot H \cdot \gamma \cdot V_{\text{п}}}{T_{\text{ц}}}; \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{т}} < Q_{\text{пр}}, \quad (3.7)$$

где B_3 – ширина захвата комбайна, м; H – мощность пласта, м; γ – плотность угля, т/м³; $V_{\text{п}}$ – скорость подачи комбайна, м/мин; $T_{\text{ц}}$ – время работы за один цикл выемки, мин;

При телескопической раздвижке завального и забойного перекрытий образовавшиеся окна (рисунки 3.7 и 8.8) остаются закрытыми со стороны кровли консолями, а опорная балка смещена в паз забойного перекрытия на шаг передвижки B_3 (см. рисунок 3.7). Завальное перекрытие секций крепи вместе с опорной балкой, ограждением и основанием перемещаются к забою одновременным сокращением гидродомкратов передвижки по основанию, с опорой через направляющую балку на конвейер, и по перекрытию с опорой на забойное перекрытие. При этом секция крепи может перемещаться с подпором, без разрыва контакта с кровлей, в последовательности, устанавливаемой паспортом очистного забоя, при этом забойная ступень перекрытия остаётся неподвижной, перекрытия телескопически складываются, распорная балка свободно перемещается в паз перекрытия забойной ступени. Завальная ступень перекрытия, ограждение и основание могут перемещаться и в другой последовательности, установленной паспортом крепления очистного забоя, например, при обратном ходе комбайна.

Для сравнения условий производительности по фактору проветривания предлагается сравнить типовую СМК с разработанной представленной на осциллограмме (рисунок 3.9). В качестве исходных данных для расчёта примем предоставленные отделом главного механика АО «Шахты «Полосухинская» условий работы и состав оборудования очистного механизированного комплекса лавы 26-325 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Состав оборудования очистного механизированного комплекса лавы 26-325

Лавы	Мощность пласта, м	Длина лавы, м	Длина столба, м	Глубина ведения работ, м	Состав механизированного комплекса		Нагрузка на забой, т/сут.
					Крепь	Комбайн	
26-325	2,2	200	2750	350-470	М138 2480/650×4	К-500Ю	2400

Необходимо сопоставить фактическую площадь сечения рабочего пространства крепи $S_{\phi}=7,3 \text{ м}^2$ с полученным расчетным путем S_p , по формуле (3.8, 3.11, 3.12):

$$S_p = \frac{10 \cdot Q_T \cdot K_d \cdot Q_{CH_4}}{60 \cdot V_{cp} \cdot \alpha \cdot K_{в.п}}; \quad (3.8)$$

Далее необходимо вычислить производительности ОМК (3.9-3.10):

$$Q_T = m \cdot 2B_3 \cdot \gamma_y \cdot V_{п}; \quad (3.9)$$

где m – мощность пласта, м ($m=2,2$ м); B_3 – ширина захвата комбайна, м ($2B_3=1,6$ м); γ_y – плотность угля, т/м ($\gamma_y=1,37$ т/м³); K_d – коэффициент естественной дегазации пласта ($K_d=0,5$); Q_{CH_4} – относительная газообильность пласта, м³/т ($Q_{CH_4}=3,5$ м³/т); V_{cp} – средняя скорость движения воздуха в очистном забое представленная на рисунке 2 ($V_{cp}=0,89$ м/с); α – допустимая концентрация метана в исходящей струе ($\alpha=1\%$); $K_{в.п.}$ – коэффициент, учитывающий движение воздуха по выработанному пространству ($K_{в.п.}=1,1$); $V_{п}$ – скорость подачи комбайна, м/мин ($V_{п} = 8$ м/мин).

$$Q_T = 2,2 \cdot 1,6 \cdot 1,37 \cdot 8 = 38,6, \text{ т/мин} \quad (3.10)$$

$$S_p = \frac{10 \cdot 38,6 \cdot 0,5 \cdot 3,5}{60 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1,1} = 11,5 \text{ м}^2 \quad (3.11)$$

$$\frac{S_p}{S_{\phi}} = \frac{11,5}{7,3} = 1,5 \quad (3.12)$$

Результаты расчета показывают, что разработанная СМК с телескопическим перекрытием обеспечивает увеличение площади сечения рабочего пространства в 1,5 раза.

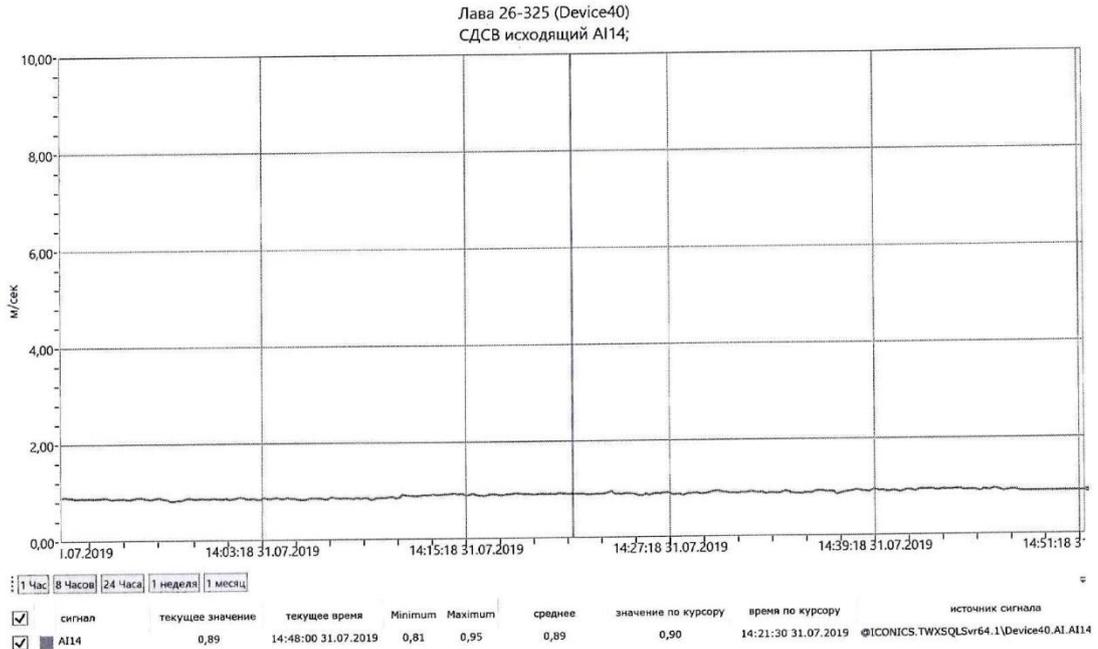


Рисунок 3.9 – Осциллограмма скорости проветривания лавы 26-325

Совершенствование разработанной структуры и параметров СМК представлены в виде сравнения режимных и технологических параметров работы типовой СМК – I, разработанной адаптивной СМК с опорной и направляющей балками – II и разработанной адаптивной СМК с телескопическим перекрытием – III (таблица 2.3) [10].

Таким образом, предложенное схемное и конструктивное техническое решение СМК с телескопическим перекрытием обеспечивает повышение кинематической и контактной адаптивности за счет:

- качественного поддержания призабойной полосы непосредственной кровли, предотвращения развития в породах кровли трещин;
- возможности регулирования ширины призабойного пространства забоя (B_3 ; $2B_3$) и, как следствие, снижение ограничений по интенсивности (производительности) по газовому фактору;
- выполнения большего количества схем групповой передвижки СМК в очистных забоях в зависимости от ГГУ.

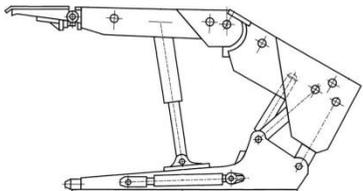
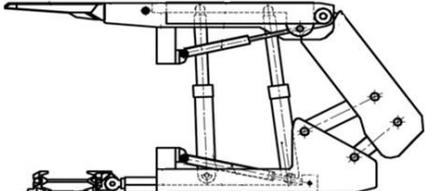
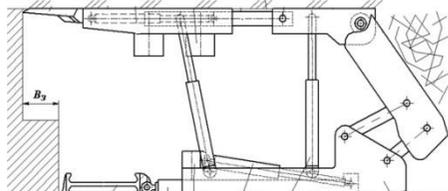
Режимные и технологические параметры	I типовая	II разработанная (СМК с опорной и направляющей балками)	III разработанная (СМК с телескопическим перекрытием)
Наличие распорного элемента при передвижке	нет	опорная балка	завальная или забойная части
Давление в поршневой полости ГС	пассивно изменяющееся от $P_{н.р}-P_{п.к}$	с ББР регулирование $P_{п.п} = 28-34$ МПа	с ББР регулирование $P_{п.п} = 28-34$ МПа
Режимы передвижки	- с разрывом - с пассивным подпором 1,0-1,5 МПа	- с разрывом - активный - с распором опорной балки 1,5- $P_{н.р}$	- с разрывом - активный - с распором на опорный элемент 1,5- $P_{н.р}$
Контакт с кровлей при передвижке	подвижный	неподвижный опорный элемент	неподвижный опорный элемент
Давление настройки ПК	$P_{п.к}=40-45$ МПа	$P_{п.к} = 45$ МПа	$P_{п.к} = 45$ МПа
Диапазон регулирование сопротивления	нет	$P_{рег.} = 36-40$ МПа	нет
Увеличение ширины призабойного пространства B_3	B_3	B_3	$B_3; 2B_3$
Увеличение схем групповой передвижке	-	-	+
Сохранность непосредственной кровли при передвижке	-	+	+
Конструктивное исполнение			

Таблица 3.2 – Сравнительная характеристика типовой и разработанных СМК

3.3 Устройство безимпульсного регулирования сопротивлением гидростойки секции механизированной крепи

Для того, чтобы подтвердить возможность осуществления самого принципа безимпульсного управления горным давлением с рекуперацией энергии горного давления в гидросистему очистного механизированного комплекса, были выполнены испытания на стенде завода ООО «Красный Октябрь» экспериментального образца устройства управления сопротивлением гидростойки, изготовленном на заводе.

Для проверки работоспособности блока безимпульсного была разработана принципиальная схема подключения БРС к клапанному блоку стойки (рисунок 3.10).

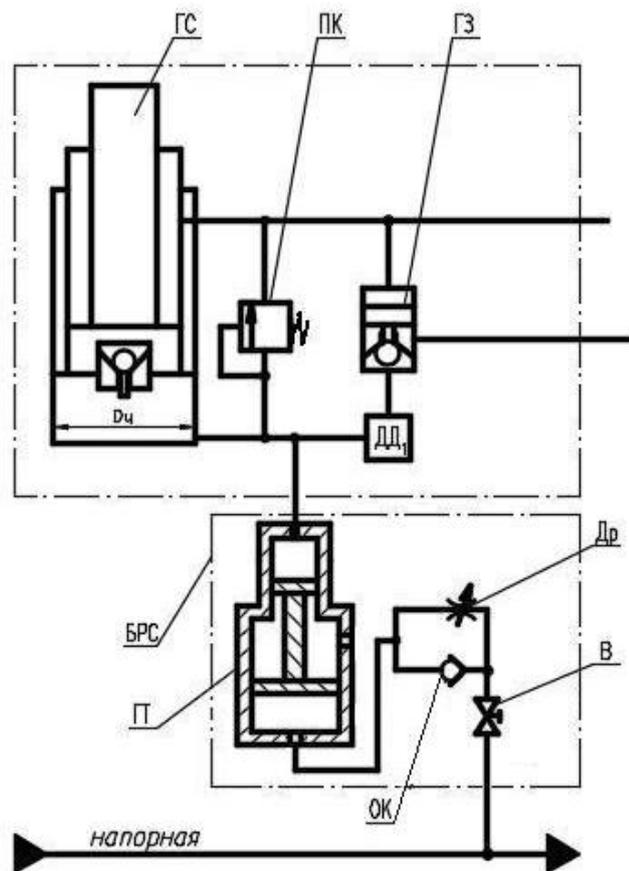


Рисунок 3.10 – Схема подключения БРС, где ПК – предохранительный клапан; ГЗ – гидрозамок; ДД – датчик давления; БРС – блок регулирования сопротивлением; ГТ – гидротрансформатор; ОК – обратный клапан; Др – дроссель; В – вентиль.

Блок БРС включает сдвоенный гидроцилиндр, представляющий собой понизитель давления с коэффициентом снижения давления, формула (3.13):

$$K_{сд} = \frac{P_n}{P_{рег}} = \frac{32}{37} = 0,86 \quad (3.13)$$

где $P_n = 32$ – давление в напорной магистрали гидросистемы механизированной крепи комплекса МКЮ-2Ш13/27, МПа.

Уровень давления регулируемого в поршневой полости гидростоек, устанавливается из условия, при котором переток жидкости через БРС нулевой, формула (3.14):

$$P_{рег} = P_{нк} - \frac{P_{нк} - P_n}{2} = 42 - \frac{42 - 32}{2} = 37 \quad (3.14)$$

где $P_{нк} = 42$ установленное давление срабатывания ПК стоек секций механизированной крепи МКЮ-2Ш13/27, МПа.

Необходимый рабочий объем поршневой полости высокого давления $V_в$ гидротрансформатора ГС МКЮ-2Ш13/27 определяется по формуле (3.15):

$$V_в = \frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4} \cdot \Delta l = \frac{3,14 \cdot 300^2}{4} \cdot 40 = 2,826 \text{ л} \quad (3.15)$$

где $D_{ц}$ – внутренний диаметр ГС МКЮ-2Ш/27, мм; Δl – максимальная осадка ГС за цикл, мм.

3.3.1 Методика выбора параметров гидротрансформатора

Гидротрансформатор (рисунок 3.11) представляет собой сдвоенный цилиндр – 1, в который установлен сдвоенный поршень – 2. В штоке выполнен направляющий паз, в который входит с возможностью скольжения штифт – 3, закрепленный в корпусе цилиндра.

С противоположной пазу стороны на штоке должна быть нанесена шкала, а в цилиндре выполнено дренажное отверстие (рисунок 4.2).

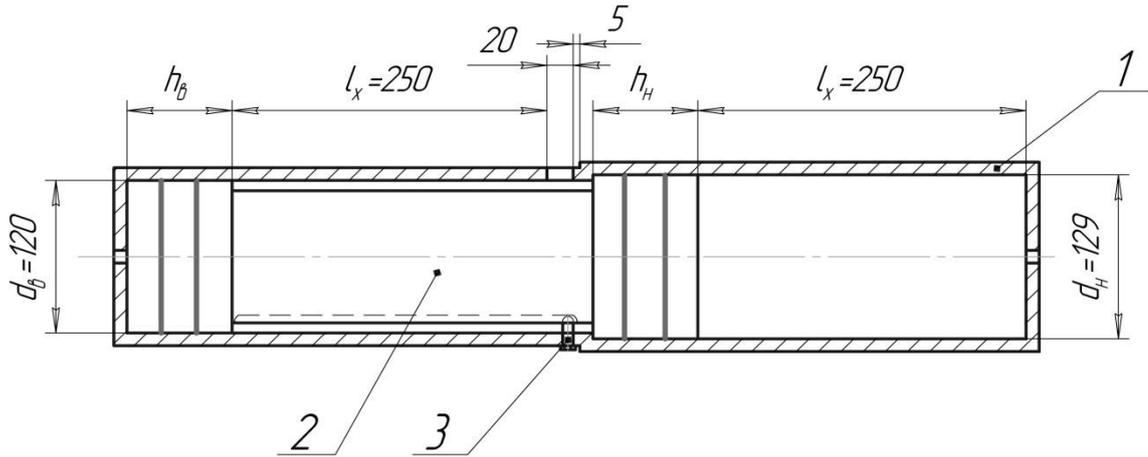


Рисунок 3.11 – Размеры внутренних полостей гидротрансформатора давления

Основными геометрическими параметрами гидротрансформатора являются объемы поршневых полостей V_B и V_H , длина рабочего хода l_x и суммарная длина внутренних полостей цилиндров.

Внутренний диаметр цилиндра высокого давления (d_B) следует принять из имеющихся в наличии цилиндров типоразмерного ряда в пределах 80-120 мм. Если принять значение $d_B = 120$ мм, то внутренний диаметр цилиндра низкого давления (d_H), формула (3.16-3.17):

$$d_H^2 = \frac{P_{pec}}{P_H} d_B^2; \quad (3.16)$$

$$d_H = \sqrt{\frac{37}{32} \cdot 120^2} = 129 \text{ мм} = 12,9 \text{ см}. \quad (3.17)$$

Минимальный рабочий ход сдвоенного поршня определяется по формуле (3.18):

$$l_{x.min} = \frac{4V_B}{\pi d_B^2}. \quad (3.18)$$

При диаметре 12 см, по формуле (3.19):

$$l_{x.min} = \frac{4 \cdot 2826}{3,14 \cdot 12^2} = 25 \text{ см}. \quad (3.19)$$

Длина цилиндра гидротрансформатора определяется по формуле (3.20):

$$l_{IT} = 2l_x + h_B + h_H + l_C + \Delta l, \quad (3.20)$$

где l_x – рабочий ход, см; h_B, h_H – высота поршней цилиндров высокого и низкого давления соответственно; $l_C = 20$ – длина смотрового окна, мм; $\Delta l = 5$ – технологический припуск, мм.

Регулируемый дроссель следует заменить набором шайб с калиброванными отверстиями $d_{\text{рег}} = 3; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0; 0,5$ мм, толщиной 2 мм (рисунок 3.12). Внешний диаметр шайб $D_{\text{ш}}$ выполнить по размеру углублений в банках.

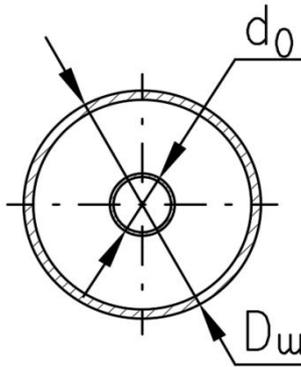


Рисунок 3.12 – Шайба с калиброванным отверстием

Обратный клапан – по параметрам расхода не ограничен, по давлению 32 МПа.

Значения параметров внутренних полостей двоярного гидроцилиндра могут быть приняты другими с учетом методики и принимаемых диаметров гидроцилиндров, высоты поршней, размеров букс и смотрового окна.

3.3.2 Методика проведения эксперимента на стенде завода ООО «Красный Октябрь»

Цель эксперимента: оценка влияния блока безимпульсного регулирования (ББР) на изменение давления в поршневой полости гидростойки (распорного усилия) до момента срабатывания предохранительного клапана в условиях нарастающей нагрузки.

Объект. Состав объекта представлен на его принципиальной схеме (рисунок 3.13). Объект включает испытательный стенд (рисунок 3.14) с

нагрузочными каретками, создающий нарастающую статическую нагрузку на испытываемую ГС, блок регулирования сопротивления и насосную станцию стенда (на схеме не представлена).

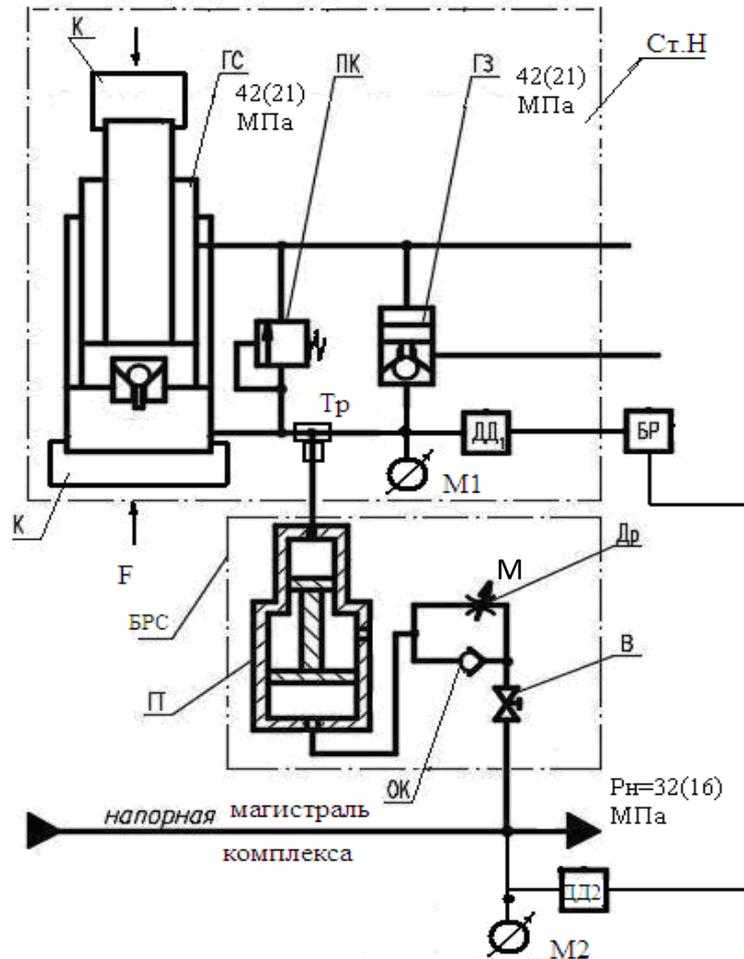


Рисунок 3.13 – Схема гидравлическая принципиальная, Ст.Н – стенд нагрузочный завода

ООО «Красный Октябрь»; К – нажимные каретки; БРС – блок регулирования сопротивления; ГТ – гидротрансформатор; ОК – обратный клапан; Др – дроссель;

В – вентиль; Бр – блок регистрации результатов измерений; Тр – тройник;

ДД₁ и ДД₂ – датчики давления; БР – блок регистрации (записи) значений давлений рабочей

жидкости; М1, М2 – манометры; ГС – стойка испытываемая; ПК – предохранительный клапан гидростойки ГС; ГЗ – гидрозамок.

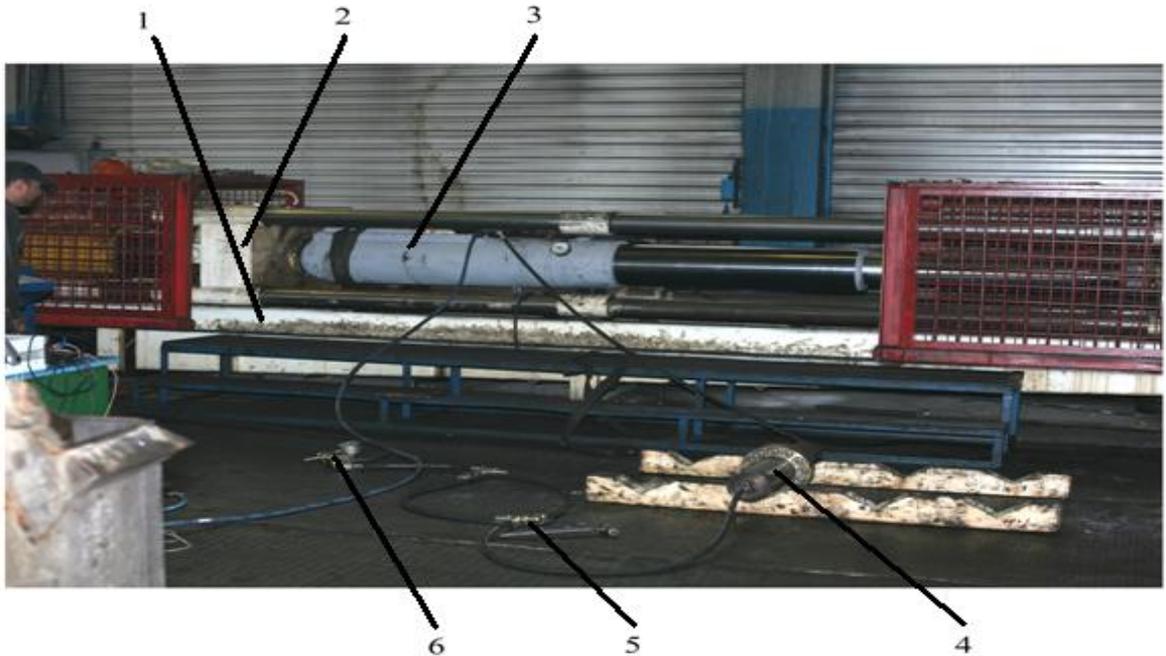


Рисунок 3.14 – Стенд нагрузочный для испытания стоек секций механизированной крепи завода ООО «Красный Октябрь», 1 - направляющие; 2 – каретка; 3 – гидростойка; 4 - гидротрансформатор; 5 – дроссель и обратный клапан; 6 - вентиль

Исходные данные приняты по технической документации секций крепи МКЮ-2Ш/27. Допускается проведение испытание при двухкратном снижении давления, значения указаны в скобках.

1. Давление срабатывания ПК $P_{пк} = 42$ (21) МПа и давление в напорной магистрали $P_n = 32$ (16) МПа приняты по данным технической документации секций крепи МКЮ-2Ш/27.

2. Номинальный уровень регулируемого давления принят, по формуле (3.21):

$$P_{рег} = P_{пк} - \frac{P_{пк} - P_n}{2} = 42 - \frac{42 - 32}{2} = 37 \text{ или } 18,5 \text{ МПа.} \quad (3.21)$$

3. Давление в напорной магистрали (подпор на сливе) принято постоянным по величине и равным $P_n=32$ (16) МПа.

4. Регулируемый дроссель заменяется калиброванными дросселями – шайбами с отверстиями диаметрам 3,5; 3,0; 2,5; 2,0 и 1,5 мм.

Проверка работоспособности гидротрансформатора.

Перед сборкой блока регулирования и его установкой вместе с гидростойкой на стенд необходимо проверить работоспособность гидротрансформатора. Порядок проверки следующий:

1. Подключить гидротрансформатор (ГТ) через трехпозиционный распределитель (рисунок 3.15).

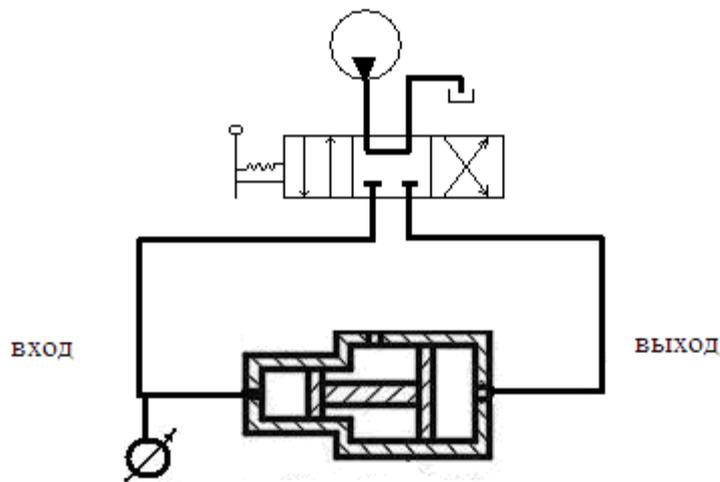


Рисунок 3.15 – Схема подключений ГТ

2. Переключая распределителем подачу рабочей жидкости поочередно на вход и выход ГТ обеспечить заполнение цилиндров малого и большого диаметра без воздуха.

3. Повышая медленно давление на вход ГТ измерить давление страгивания поршней с места на холостом ходу. При этом контролируются давление и смещение поршней до крайнего их положения по отметкам на их штоке относительно отметки смотрового окна. Результаты измерений вносятся в таблицу 3.3.

4. Подключить выход ГТ к насосной станции, а вход на слив.

5. Повышая давление на выходе ГТ записать давление страгивания блока поршней с места и их движение относительно смотрового окна до крайнего положения.

6. Необходимо убедиться, что блок поршней осуществляет полный ход, смещается без заклиниваний в одну и другую стороны.

Таблица 3.3 – Данные проверки работоспособности гидротрансформатора

№ п.п.	Параметры	Прямой ход		Обратный ход	
		Трогание с места	Конец хода	Трогание с места	Конец хода
I	Давление в поршневой полости ГТ, атм.				
	Смещение блока поршней, мм				
	Время опыта, с				
II	Давление, атм.				
	Смещение, мм				
	Время опытов, с				

Последовательность проведения эксперимента следующая.

Опыт 1 – снятие исходной (паспортной) характеристики гидростойки. Исходное положение: блок БРС с дросселем 3 мм подключен к клапанному блоку испытываемой гидростойки. Вентиль В – закрыт. Блок БРС не работает.

1. Запускаются насосные станции стенда и увеличиваются нагрузки на стойку повышением давления в магистрали нагрузочных цилиндров стенда до $P_H=32$ МПа (16 МПа). Включаются линии измерения давлений (БР) с регистрацией их значений. Данные визуальных измерений (по М1) вносятся в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Значения контролируемых параметров

№ опыта	Параметры	Начало регистрации	Значения параметров					
1	Давление, МПа: - назначенное - фактическое		32 (16)	34 (17)	36 (18)	38 (19)	40 (20)	42 (21)
	Время поддержания давления на i-ом уровне, сек							

	Ход поршня, мм: - номинальный: - фактический:		0	0	0	0	0	0
2	Давление, МПа - назначенное: - фактическое		32 (16)	34 (17)	36 (18)	38 (19)	40 (20)	42 (21)
	Время поддержания давления на i -ом уровне, сек							
	Ход поршня, мм: - номинальный: - фактический:		0	0	0	0	0	0

2. Повышается давление и регистрируется уровень давления при «страгивании» с места блока поршней.

3. Нагрузка на гидростойку последовательно увеличивается до значений: 32, 34, 36; 38; 40 и 42 (16, 17, 18, 19, 20 и 21) МПа с выдержкой на каждом уровне $t_B = 5$ секунд с непрерывной регистрацией фактических давлений в поршневой полости стойки до момента срабатывания предохранительного клапана ПК – 42 (21) МПа испытываемой гидростойки. Смещения блока поршней гидротрансформатора при этом не должно быть. То есть осуществляется регистрация блоком БР переходного процесса без участия БРС в работе клапанного блока гидростойки.

4. Снятие нагрузки со стойки и прекращение записи давления.

Опыт повторяется дважды. При не совпадении результатов опыта выявляется и устраняется причина. Затем опыт повторяется.

Допускается двукратное снижение давления в гидросистеме при проведении эксперимента. Значения приведены в скобках.

Опыт 2. Процесс формирования рабочей характеристики гидростойки с использованием блока БРС:

1. Устанавливается дроссель диаметром 3,5 мм. Вентиль В открыт. Данные визуальных измерений вносятся в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Значения контролируемых параметров

№ п.п.	Параметры	Исходное положение	Значения параметров					
1	Назначенное давление, МПа		32 (16)	34 (17)	36 (18)	38 (19)	40 (20)	42 (21)
	Давление в поршневой полости, МПа	0						
	Смещение блока поршней, мм	0						
	Назначенное время, с		5	5	5	5	5	5
	Фактическое время, с							
2	Назначенное давление, МПа		32 (16)	34 (17)	36 (18)	38 (19)	40 (20)	42 (21)
	Давление в поршневой полости, МПа	0						
	Смещение блока поршней, мм	0						
	Назначенное время, с		5	5	5	5	5	5
	Фактическое время, с							

2. Включается насосная станция. Подается жидкость под давлением в напорную магистраль. Блок поршней ГТ устанавливается в заряженное положение. Давление 32 (16) МПа.

3. Включается насосная станция стенда и нагрузка на стойку устанавливается соответствующей номинальному давлению 32 (16) МПа. Давление в линии слива из блока БРС должно быть также равным 32 (16) МПа. Смещения поршней ГТ не должно быть.

4. Включается блок регистрации значений давлений, поступающих от датчиков ДД₁ и ДД₂. Повышается нагрузка на испытываемую стойку до 34 (17) МПа с поддержанием давления на уровне не менее 10 с в соответствии с таблицей 3.5. Фактические значения давлений в поршневой полости стойки, время и ход блока поршней гидротрансформатора регистрируются в таблице 4.3.

5. Устанавливается давление 36 (18) МПа в поршневой полости ГС и поддерживается на этом уровне не менее 5 с. Регистрируются значения параметров в соответствии с п.4.

6. Последовательно устанавливается давление 38 (19), 40 (20) МПа в поршневой полости ГС. Опыт выполняется в соответствии с пунктом 4 данной методики.

7. Повышается давление в поршневой полости ГС до 42 (21) МПа – давления срабатывания предохранительного клапана, при этом необходима непрерывная регистрация значений параметров процесса блоком БР. Переходный процесс по давлению рабочей жидкости при срабатывании ПК целесообразно представить в графическом виде.

8. Снижается нагрузка стойки до нуля.

Опыт 2 повторяется два раза.

Опыт 3.

Установить калиброванный дроссель диаметром 2,5 мм.

Опыт повторяется в соответствии с п. 2 данной методики.

Опыт 4.

Установить калиброванный дроссель диаметром 2,0 мм.

Опыт повторяется в соответствии с п. 2 данной методики.

Опыт 5.

Установить калиброванный дроссель диаметром $d=3,0$ мм.

Опыт повторяется в соответствии с п. 2 данной методики.

Опыт 6.

Установить калиброванный дроссель $d=1,5$ мм. Провести опыт в соответствии с п.2.

Результаты испытаний на стенде завода ООО «Красный Октябрь» экспериментального образца устройства управления сопротивлением гидростойки, изготовленном на заводе, подтвердили возможность осуществления самого принципа безимпульсного управления горным давлением с рекуперацией энергии горного давления в гидросистему очистного механизированного комплекса, однако был выявлен ряд факторов, ограничивающих работоспособность блока, таких как:

- циклическая передача (рекуперация) гидравлической энергии в напорную магистраль;
- неточность поддержания режима работы гидростойки;
- давление в напорной магистрали влияющие на режим работы в стойке;
- незащищенная компоновка блока от внешних воздействий;
- конструкция блока, которая загромождает рабочее пространство.

3.4 Выводы по главе 3

1. Обоснована структура и параметры контактно и кинематически адаптивной СМК с опорной и направляющей балками, обеспечивающей неподвижный контакт с кровлей распорного элемента, что приводит к снижению вероятности разрушения и высыпания пород кровли в межстоечное пространство и обеспечивает сохранность непосредственной кровли при передвижке;

2. Обоснована структура и параметры контактно и кинематически адаптивной СМК с телескопическим перекрытием, обеспечивающей увеличение сечения призабойного пространства забоя, и как следствие, снижение ограничений производительности по газу, выемку пластов в забоях с тяжелыми кровлями сокращением телескопической раздвижности и увеличение схем групповой передвижке.

3. Полученные результаты исследований подтверждают целесообразность продолжения работ по совершенствованию структуры секции крепи, расширению их функциональных возможностей и режимов работы, по разработке и изготовлению опытного образца устройства безимпульсного управления сопротивлением гидростоек опусканию пород кровли с последующим испытанием этого образца в производственных условиях.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ГИДРОСТОЙКЕ СЕКЦИИ КРЕПИ

Эффективность добычи угля в КМОЗ существенно зависит от качества функционирования СМК, в частности при длительном их нагружении в режиме управления горным давлением, то есть в режиме регулируемого их сопротивления опусканию пород непосредственной кровли. Если принять к сведению тот факт, что длительность цикла выемки угля в КМОЗ составляет 20-40 минут, а длительность передвижки СМК 6-10 секунд, то в этом случае ее относительное время работы в рассматриваемом режиме составит не менее 99.6% как от длительности цикла, тем более за всё время их использования по назначению. Это подтверждает обоснованность регулярных исследований по совершенствованию режимов работы гидростоек СМК и устройств регулирования их сопротивления [8, 49, 83].

Наибольший интерес исследователей представляют длительные режимы работы гидросистемы ГС СМК при непрерывном безимпульсном регулировании их сопротивления опусканию пород непосредственной кровли специальными устройствами - блоками безимпульсного регулирования сопротивления (БРС), встроенных в клапанный блок ГС [2]. Выбор значений параметров БРС связан с необходимостью учета многих факторов, в частности переходных процессов в гидросистеме при циклических переключениях режимов работы рассматриваемых объектов, изменении внешних нагрузок на крепь и давлений рабочей жидкости в напорной магистрали гидросистемы СМК.

Наиболее тяжелый режим работы гидросистемы ГС возникает при блоковом обрушения пород кровли, которые длятся доли секунды и случаются относительно редко, хотя и в этом случае могут иметь тяжелые последствия. Установление основных закономерностей переходных процессов в гидросистеме ГС СМК с безимпульсным непрерывным регулированием их сопротивления опусканию пород непосредственной

кровли в условиях длительного нагружения является многофакторной задачей, т.к. зависит от времени, конструктивных и режимных параметров ГС, БРС и гидросистемы СМК. Решение поставленной задачи целесообразно проводить методом математического моделирования.

Целью исследования является процесс силового взаимодействия в элементах системы «кровля-ГС-блок БРС-напорная магистраль» при непрерывном регулировании сопротивления гидростоек опусканию пород непосредственной кровли при наложении импульсной пригрузки, имитирующей блоковое обрушение пород кровли.

Математическое моделирование следует проводить с использованием метода Рунге-Кутты [93], что позволяет свести многообразие горнотехнических условий и конструктивных параметров к универсальной вычислительной схеме, легко реализуемой при помощи системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica.

В связи с тем, что исследуемая система обладает высокой степенью нелинейности в связи с большим количеством логических условий, составляются математические модели для каждого элемента. Кроме того, математическая модель является гибкой, поэтому дополнительно могут быть введены, управляющие или возмущающие воздействия. Система содержит переменные коэффициенты дифференциальных уравнений, которые связаны с внешними нагрузками, изменяющимися во времени случайным образом. Выбранный способ математического моделирования позволяет учесть требуемое количество параметров с высоким уровнем точности.

Этапы формирования математической модели включают: принятие допущений; обоснование расчётной схемы; формирование блок-схемы на основе расчётной схемы; математическое описание в соответствии с принятыми допущениями.

4.1 Расчетная схема гидрофицированной крепи с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии

Для составления расчетной схемы по сравнению с известным техническим решением [80] взята разработанная принципиально гидравлическая схема ГС секции крепи с ББР установленным в штоковой полости второй ступени СМК [26], изображенная на рисунке 4.1.

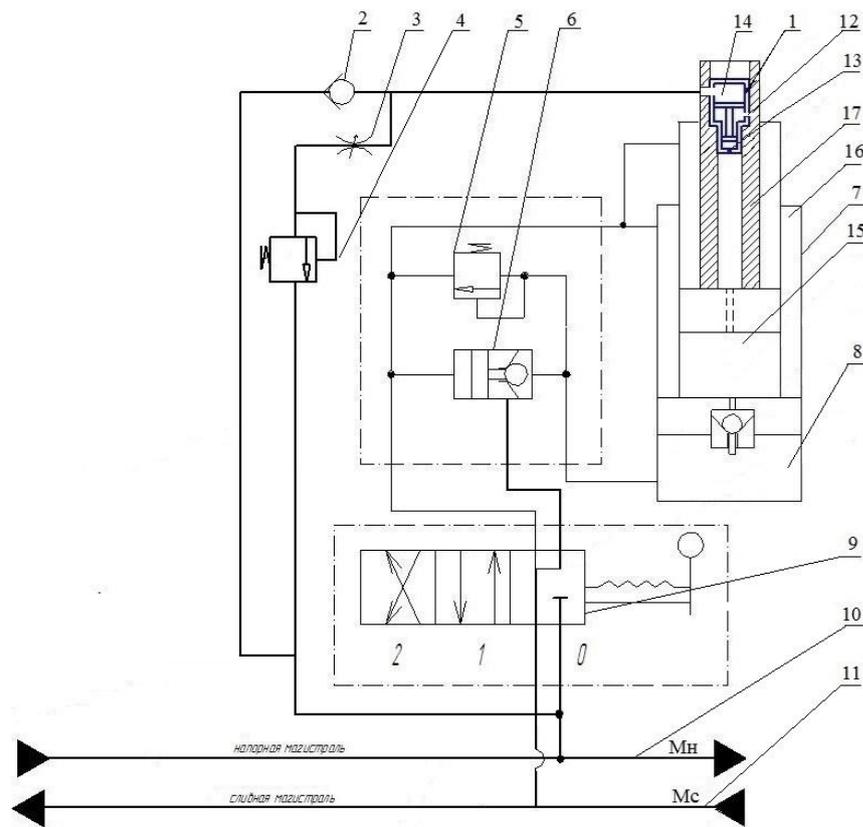


Рисунок 4.1 – Гидрофицированная секция крепи с ББР установленным в штоковой полости второй ступени СМК:

- 1 – гидротрансформатора; 2 – обратный клапан; 3 – дроссель;
 4 – подпорный клапан; 5 – предохранительный клапан; 6 – гидрозамок;
 7 – гидростойка; 8 – поршневая полость; 9 – гидроблок управления; 10 – напорная магистраль; 11 – сливная магистраль; 12 – компенсационное отверстие; 13 – малая камера; 14 – большая камера; 15 – поршневая полость второй ступени; 16 – штоковая полость; 17 – трубчатый шток

Достоинствами разработанного технического решения по сравнению с известным являются:

- жесткая установка гидротрансформатора во внутренней полости трубчатого штока второй ступени ГС;
- защищенная компоновка гидротрансформатора от внешних воздействий;
- уменьшение габаритов конструкции, которая не загромождает рабочее пространство;
- уменьшение количества последовательных структурных элементов в блоке с 8 до 4х, исключением внешних гидрокommunikаций (шланги, бобышки поршней);
- повышение КПД передачи энергии переходом на повышенное давление.

Гидрофицированная крепь с ББР, установленным в штоковой полости второй ступени СМК включает ГС 7 с подключенными к ее поршневой полости 8 ПК 5 и ГЗ 6. Гидроблок управления 9, подключен к напорной 10 и сливной магистрали 11, связанный линиями управления с поршневой полостью 8 и штоковой полостью 16 ГС 7. ГС 7 оснащена гидротрансформатором 1, состоящим из корпуса, большой 14 и малой камеры 13, жестко соединенных между собой штоком.

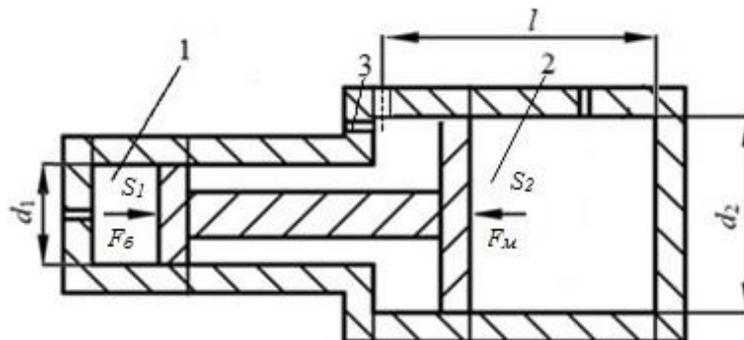


Рисунок 4.2 – Гидротрансформатор:

1 – большая камера; 2 – малая камера; 3 – компенсационное отверстие

Большая камера (рисунок 4.2) гидротрансформатора соединена с напорной магистралью двумя параллельными линиями, в одной из которых установлены последовательно расположенные регулируемый дроссель 3 и подпорный клапан 4, а в другой линии - обратный клапан 2. Площадь камеры большой поршневой полости можно выразить по формуле (4.1):

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \quad (4.1)$$

где S_2 – площадь большой камеры большого гидротрансформатора, мм²; d_2 – диаметр большой камеры большого гидротрансформатора, мм.

Малая камера гидротрансформатора соединена с поршневой полостью 8 ГС 7, а промежуточная камера гидротрансформатора соединена с атмосферой компенсационным отверстием 3. Площадь камеры малой поршневой полости можно выразить по формуле (4.2):

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \quad (4.2)$$

где S_1 – площадь малой камеры гидротрансформатора, мм²; d_1 – диаметр малой камеры гидротрансформатора, мм.

Тогда коэффициент трансформации может быть определен по формуле (4.3) из условия равенства сил $F_m = F_o$ без учета влияния сил трения:

$$K_T = \frac{S_1}{S_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (4.3)$$

Таким образом, коэффициент снижения давления K_m будет равен отношению квадратов диаметров поршней второй ступени к первой.

Гидротрансформатор жестко установлен внутри трубчатого штока в верхней его части, без возможности смещения его корпуса (рисунок 4.3).

При этом камера малого поршня 13 гидротрансформатора 1 соединена с поршневой полостью 8 последовательно расположенными отверстием в поршне второй ступени, поршневой полостью второй ступени 15 гидростойки 7, обратным клапаном поршня первой ступени, а в линии, соединяющей камеру большего поршня 14 гидротрансформатора 1 с

напорной магистралью 10. Между дросселем 3 и напорной магистралью 10 последовательно дросселю 3 установлен подпорный клапан 4.

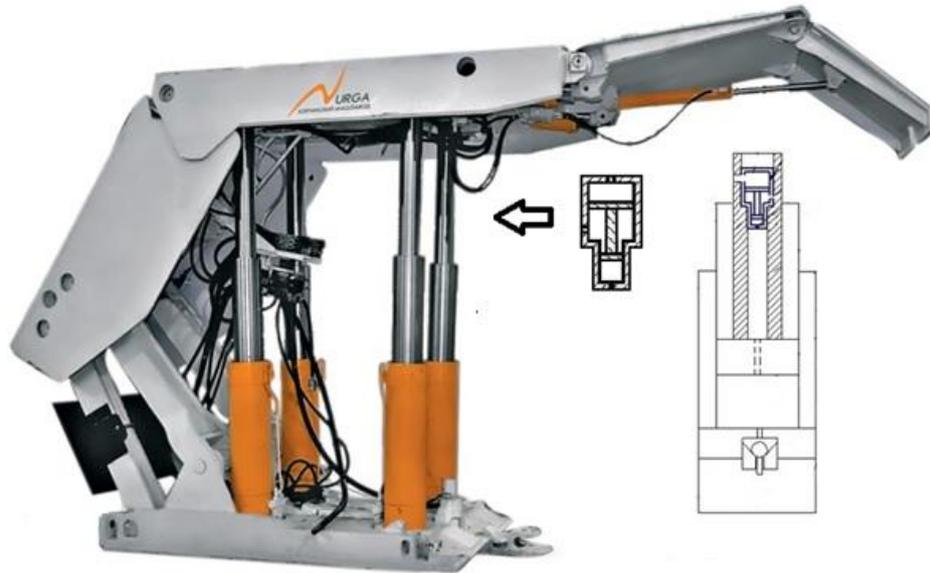


Рисунок 4.3 – Конструктивное исполнение разработанного технического устройства

Гидростойки секции крепи работают циклически и за цикл работы выполняется несколько операций, формула (4.4):

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{ср}} + t_{\text{п}} + t_{\text{р}} + t_{\text{упр}} \quad (4.4)$$

На протяжении всего цикла в промежуточной камере гидротрансформатора 1 (рисунок 4.1) соединенной компенсационным отверстием 12 с атмосферой сохраняется постоянное атмосферное давление.

Первая операция ($t_{\text{ср}}$) – это снятие распора гидростойки 7 и передвижка гидрофицированной крепи. Для передвижки крепи гидроблок управления 9 переключается в позицию 2 (передвижка). Жидкость из напорной магистрали 10 поступает по гидрелинии в штоковые полости 16 гидростойки 7, а из поршневой полости 8 гидростойки 7 жидкость вытесняется через открытый гидрозамок 6 и гидроблок управления 9 в сливную магистраль 11. Гидростойка 7 опускается. Из напорной магистрали 10 жидкость по гидрелиниям и обратному клапану 2 подается в камеру большего поршня 14 гидротрансформатора 1. Из камеры малого поршня 13 гидротрансформатора

1 отверстию в поршне второй ступени гидростойки 7 в поршневую полость второй ступени 15 жидкость вытесняется через внутреннюю полость в трубчатом штоке 17.

Вторая операция (t_{II}) – это передвижка гидрофицированной крепи, при котором давление в поршневой полости 8 малое, а давление в напорной магистрали 10 остается рабочим, поэтому жидкость из напорной магистрали 10 по гидролинии открывает подпорный клапан 4. Сдвоенный поршень гидротрансформатора 1 устанавливается в исходное («заряженное») положение, которому соответствует максимальный объем камеры малого поршня 13 через основание и перекрытие в почву и кровлю.

Третья операция (t_p) – это распор гидростойки 7 гидрофицированной крепи. Для распора гидростойки 7 гидроблок управления 9 переключается в позицию 1 (рабочее положение), жидкость из напорной магистрали 10 по гидролинии поступает через гидрозамок 6 в поршневую полость 8 гидростойки 7, в поршневую полость второй ступени 15, по отверстию полости второй ступени в поршне второй ступени, по внутренней полости штока второй ступени, и в камеру малого поршня 13. В камере большого поршня 14 гидротрансформатора 1 поддерживается равное давлению свободным перетоком жидкости из напорной магистрали 10 через обратный клапан 2. Давление в поршневой полости 8 достигает значения величины давления, соответствующей начальному распору. Давление в камере малого поршня 13 увеличивается.

Раздвижка гидростойки 7 заканчивается ее распором через основание и перекрытие в почву и кровлю. По окончании процесса распора гидроблок управления 9 переводится в позицию 0 (нейтраль). Поршневая полость 8 отключается от напорной магистрали 10. При оседании кровли давление в поршневой полости 8 гидростойки 7 возрастает, и соответственно, возрастает давление в камере малого поршня 13 и достигает нижнего диапазона регулирования.

Четвертая операция ($t_{упр}$) – это управление горным давлением. В режиме управления горным давлением сдвоенные поршни гидротрансформатора 1 находятся в нижнем положении. При опускании кровли давление в поршневой полости 8 гидростойки 7 возрастает.

Сдвоенные поршни начинают перемещаться вверх, вытесняя жидкость из камеры большего диаметра 14 через подпорный клапан 4 и дроссель 3 в напорную магистраль 10 при этом при нагрузке на гидростойку 7, больше нижней границы зоны регулирования, увеличивая податливость или уменьшая жесткость гидростойки 7. Податливость гидростойки 7 регулируется дросселем 3, а его открытие регулируется пропорционально давлению в поршневой полости 8 гидростойки 7, то давление в поршневой полости 8 может изменяться при плавном опускании кровли, от верхней границы до нижней границы диапазона регулирования, не вызывая срабатывания предохранительного клапана 5. По сравнению с существующими крепями возможен переход от динамического импульсного регулирования на непрерывное статическое регулирование, что повышает надежность работы и точность регулирования сопротивления гидростойки 7 опусканию кровли. Также исключается топтание кровли, которое возникает при периодическом срабатывании предохранительного клапана.

При резком блоковом опускании кровли и недостаточной пропускной способности дросселя 3 возможен упор сдвоенного поршня в верхнюю часть гидротрансформатора 1. Это аварийный режим работы и в данном случае сработает предохранительный клапан 5. Гидрофицированная крепь начнет работать в режиме равного сопротивления с импульсной рабочей характеристикой. Следует отметить, что быстрый переток жидкости при максимально открытом дросселе 3 в напорную магистраль 10 снижает давление в поршневой полости 8, по сравнению со схемой без гидротрансформатора и дросселя 3, при этом снижаются предельные динамические нагрузки, испытываемые гидростойкой 7. С окончания цикла

выемки гидростойки 7 секция разгружается, соотношение, при этом сдвоенные поршни занимают исходное положение. Гидротрансформатор 1 готов для нового цикла работы.

На основе рассмотренной гидравлической схемы составлена расчетная (рисунок 4.4), где V_1 и P_1 объем камеры большого поршня гидротрансформатора и давление в ней; S_1 и S_2 площади рабочих поверхностей большого и малого поршней гидротрансформатора; V_2 и P_2 объем камеры малого поршня и давление в ней; V_3 и P_3 объем штоковой полости второй ступени ГС и давление в ней; S_3 – площадь рабочей поверхности поршня второй ступени ГС; V_4 объем поршневой полости второй ступени ГС и давление P_4 в ней; S_4 -площадь рабочей поверхности поршня второй ступени ГС; V_5 - объем поршневой полости ГС; P_5 и S_5 - давление в поршневой полости и площадь рабочей поверхности поршня первой ступени ГС.

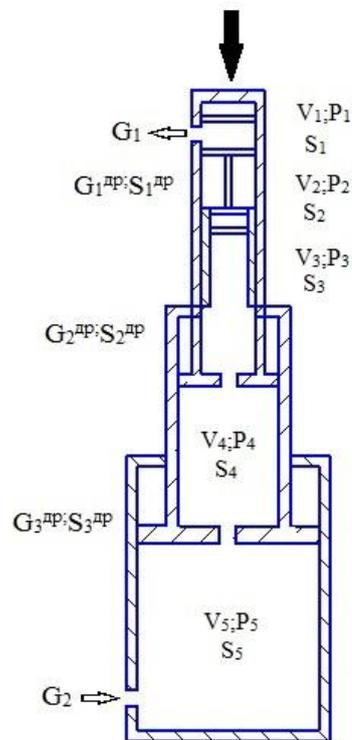


Рисунок 4.4 – Расчетная схема гидрофицированной крепи с ББР установленным в штоковой полости второй ступени СМК

4.2 Формирование блок-схема переходного процесса

На основе расчётной схемы формируется блок-схема системы (рисунок 4.5), представляющая совокупность блоков и связей, соответствующих элементам и связям реальной системы.

Каждый структурный элемент является собой подсистему, представленную дифференциальными уравнениями, описывающими этот элемент и обеспечивающий, в совокупности с другими элементами, непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления гидростоек опусканию пород кровли с рекуперацией энергии горного давления в гидросистему комплекса.

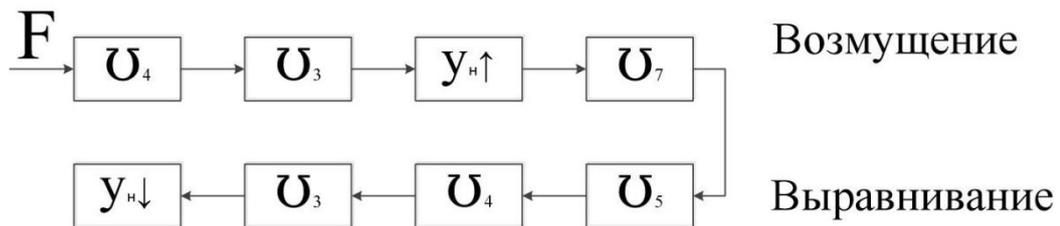


Рисунок 4.5 – Блок схема распространения влияния ударной волны за период переходного процесса

При исследовании переходного процесса, в случае импульсной пригрузки гидростоек СМК породами непосредственной кровли и почвы в КМОЗ, трудно учесть все определяющие его факторы. Поэтому для упрощения решения задачи факторы, влияние которых несущественно, опускаем, принимая следующие допущения:

- сухое трение между движущимися частями отсутствует;
- сила трения скольжения пропорциональна скорости движения, при этом коэффициент пропорциональности остается постоянным;
- значения коэффициента расхода рабочей жидкости через клапан постоянны;
- сжимаемостью жидкости в сливном трубопроводе пренебрегаем;
- упругость системы принимается постоянной.

4.3 Математическое описание системы в соответствии с принятыми допущениями

Для установления основных закономерностей переходного процесса в поршневой полости гидростойки в условиях длительного нагружения проведено математическое моделирование процесса силового взаимодействия гидростоек с блоком безимпульсного регулирования установленным в штоковой полости второй ступени секции механизированной крепи с породами непосредственной кровли в комплексно-механизированном очистном забое с использованием метода Рунге-Кутты.

Движение штока ГС под действием обрушенных пород описывается дифференциальным уравнением действующих на него сил, формула (4.5):

$$m_{ш1} \cdot y_{ш1}'' = -\mu \cdot y_{ш1}' + P_4 \cdot S_4 - F - mg, \quad (4.5)$$

где F – возмущающая сила импульсного воздействия пород кровли на гидростойку; m – масса обрушающихся пород, кН; $m_{ш1}$ – приведенная масса подвижных частей секции крепи и ГС с учетом массы жидкости в гидростойках, кг; P_4 – давление в поршневой полости второй ступени ГС, МПа; S_4 – площадь рабочей поверхности поршня второй ступени ГС, мм²; μ – коэффициент жидкостного трения.

Результаты шахтных исследований подтверждают, что изменение действующей силы на крепь при динамическом воздействии кровли происходит за очень короткий промежуток времени (0,05-0,3 с). Рассматривая наиболее тяжелый режим работы крепи, примем, что нагрузка на крепь изменяется в виде импульса по прямоугольному закону.

Согласно исследованиям лаборатории горного давления ИГД А.А. Скочинского [86, 87, 95] и ряда зарубежных авторов, максимальную нагрузку на крепь следует рассчитывать исходя из того, что расслоение и возможное разрушение кровли происходят на высоту, равную в среднем пяти мощностям вынимаемого пласта. Другие исследователи предполагают

учитывать при этом сопротивление сил трения и распора между блоками. Коэффициент трения при этом ориентировочно можно принять равным $\kappa_{\text{тр}}=0,7$.

Учитывая изложенное и полагая, что при обрушении кровли блок, действующий на крепь, одним концом опирается на обрушенные породы. Для определения максимально возможной нагрузки на секцию крепи при максимальных значениях параметров обрушения основной кровли, пренебрегая наличием непосредственной кровли, зададимся условиями АО «Шахты «Полосухинская» и используем для расчета крепь М-138/2 лавы 26-325.

Ориентируясь на паспортные данные, принимаем мощность пласта $m=1,8$ м, мощность основной кровли $H=12$ м, вторичный шаг обрушения основной кровли $L=80$ м, удельный вес песчаника $\gamma=4,5$ т/м³, ширину верхняка секции крепи $b=2,5$ м.

Нагрузка на секцию крепи без учета трения, формула (4.7):

$$F = \frac{1}{2} L \delta \gamma H = 5400 \text{ кН} \quad (4.7)$$

Усилие на одну гидростойку секции крепи М-138/2, формула (4.8):

$$F' = \frac{A}{2} = 2700 \text{ кН} \quad (4.8)$$

Усилие на одну гидростойку с учетом сил трения, формула (4.9):

$$F'_T = F' (1 - \kappa_{\text{тр}}) = 2025 \text{ кН} \quad (4.9)$$

Рабочее сопротивление одной ГС крепи М-138/2 равно 1500 кН при настройке предохранительного клапана на давление срабатывания $P=32,5$ МПа.

Таким образом, усилие на ГС секции крепи М-138/2 при динамическом сдвигении кровли может изменяться от 1500 до 2700 кН.

При составлении уравнений, описывающих переходный процесс в поршневой полости ГС при динамической нагрузке, рассматриваем гидростойку с БРС и гидротрансформатором.

Расход жидкости в гидросистеме с учетом сжимаемости жидкости в ГС запишется в виде, формула (4.10):

$$G_c = F \dot{y} \quad (4.10)$$

Изменение расхода жидкости в стойке, затрачиваемой на сжатие жидкости ГС с учетом деформации стенок гидроцилиндра, формула (4.11):

$$G = \beta V \frac{dp}{dt}, \quad (4.11)$$

где V – объем жидкости в ГС, мм^3 ; $\beta = \frac{d_c}{E_1 \delta} + \frac{1}{E_2}$; d_c – внутренний диаметр цилиндра ГС, мм; δ – толщина стенки гидроцилиндра, мм; E_1 – модуль упругости материала цилиндра; E_2 – модуль упругости жидкости.

Движение блока поршней гидротрансформатора определяется по формуле (4.12):

$$m_m \cdot \ddot{y}_m = -\mu \frac{dy_m}{dt} - P_1 \cdot S_1 + P_2 \cdot S_1 - mg, \quad (4.12)$$

где m_m – масса блока поршней гидротрансформатора, кг; m – масса обрушающихся пород, т; P_1 – давление в большой камере, МПа; P_2 – давление в малой камере гидротрансформатора, МПа; S_1 – площадь большой камеры гидротрансформатора, мм^2 ; S_2 – площадь малой камеры гидротрансформатора, мм^2 ; μ – коэффициент жидкостного трения.

Движение большого поршня определяется по формуле (4.13):

$$m_{ш2} \cdot \ddot{y}_{ш2} = -\mu \cdot \dot{y}_{ш2} + P_5 \cdot S_5 - P_4 \cdot S_4 - mg, \quad (4.13)$$

где $m_{ш2}$ – масса гидротрансформатора; m – масса обрушающихся пород; P_5 – давление в поршневой полости; P_4 – давление в поршневой полости второй ступени; S_5 – площадь в поршневой полости; S_4 – площадь в поршневой полости второй ступени; μ – коэффициент жидкостного трения.

Объём жидкости в камере над большим поршнем гидротрансформатора определяется по формуле (4.14):

$$\frac{V_1}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_1}{dt} = \dot{y}_m \cdot S_1 - G_1, \quad (4.14)$$

где S_1 – площадь рабочей поверхности большого поршня гидротрансформатора, мм^2 ; $V_1 = S_1(y_m^{max} - y_m) + V_{м1}$ – объём в камере

большого поршня, мм³; $G_1 = \varphi S_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_6)}$ - расход рабочей жидкости через дроссель, мм³/мин; $E_{ж}$ - модуль Юнга рабочей жидкости; P_1 - давление в камере большого поршня, МПа.

Объём жидкости в камере под большим поршнем гидротрансформатора определяется по формуле (4.15):

$$\frac{V_2}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_2}{dt} = -G_1^{др} - \dot{y}_M \cdot S_2, \quad (4.15)$$

где S_2 - площадь рабочей поверхности малого поршня гидротрансформатора, мм²; $V_2 = S_2(y_M^{max} - y_M) + V_{M1}$ - объём камеры малого поршня, мм³; $G_1^{др} = \varphi \cdot S_1^{др} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_2 - P_3)}$ - расход рабочей жидкости через дроссель, мм³/мин; $E_{ж}$ - модуль Юнга рабочей жидкости; P_2 - давление в камере малого поршня, МПа.

Объём жидкости в малом поршне определяется по формуле (4.16):

$$\frac{V_3}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_3}{dt} = G_1^{др} - G_2^{др}, \quad (4.16)$$

где $V_3 = \text{const}$ - объём в штоковой полости второй ступени, мм³; $E_{ж}$ - модуль Юнга рабочей жидкости; $G_1^{др} = \varphi \cdot S_1^{др} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_2 - P_3)}$ - расход рабочей жидкости через дроссель, мм³/мин; P_3 - давление в штоковой полости второй ступени, МПа; $G_2^{др} = \varphi \cdot S_2^{др} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_3 - P_4)}$ - расход рабочей жидкости через дроссель, мм³/мин.

Объём жидкости в камере большого поршня определяется по формуле (4.17):

$$\frac{V_4}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_4}{dt} = G_2^{др} + G_3^{др}, \quad (4.17)$$

где $V_4 = S_4(y_M^{max} - y_M) + V_{M4}$ - объём в поршневой полости второй ступени, мм³; $G_3^{др} = \varphi \cdot S_3^{др} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_5 - P_4)}$ - расход рабочей жидкости через дроссель,

мм³/мин; $G_2^{др} = \varphi \cdot S_2^{др} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_3 - P_4)}$ – расход рабочей жидкости через дроссель, мм³/мин; $E_{ж}$ – модуль Юнга рабочей жидкости; P_4 – давление в поршневой полости второй ступени, МПа.

Объём перемещаемой жидкости определяется по формуле (4.18):

$$\frac{V_5}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_5}{dt} = G_2 - G_3^{др}, \quad (4.18)$$

где $V_5 = S_5 \cdot (y_M^{max} - y_M) + V_{M5}$ – объём в поршневой полости, мм³; $G_3^{др} = \varphi \cdot S_3^{др} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_5 - P_4)}$ – расход рабочей жидкости через дроссель, мм³/мин;

$G_2 = \varphi \cdot S_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_6 - P_5)}$ – расход рабочей жидкости через дроссель, мм³/мин; $E_{ж}$ – модуль Юнга рабочей жидкости; P_4 – давление в поршневой полости, МПа.

Изменение объёма шланга гидролинии определяется по формуле (4.19):

$$G_1 - G_2 = \beta \cdot V_{шл} \cdot \frac{dp_{шл}}{dt}, \quad (4.19)$$

где $G_2 = \varphi \cdot S_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_6 - P_5)}$ – расход рабочей жидкости рабочей жидкости, мм³/мин; $G_1 = \varphi \cdot S_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_6)}$ – расход рабочей жидкости рабочей жидкости, мм³/мин; β – коэффициент расширения шланга в сечении; $V_{шл}$ – объём шланга, мм³; $p_{шл}$ – плотность шланга, г/мм².

Логические условия, формула (4.20):

$$G_3^{др} = \begin{cases} G_3^{др}, & \text{если } P_5 > P_4 \\ 0, & \text{если } P_5 - P_4 \leq 0 \end{cases} \quad (4.20)$$

Объединяя уравнения 4.4-4.18 получим систему уравнений, в которой для различных изучаемых случаев может быть использован соответствующий набор дифференциальных, вспомогательных уравнений и логических условий, описывающую переходной процесс в ГС с гидротрансформатора под действием силы F.

Система основных дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned}
 m_{ш1} \cdot y_{ш1}'' &= -\mu \cdot y_{ш1}' + P_4 \cdot S_4 - F - mg; \\
 m_M \cdot \ddot{y}_M &= -\mu \frac{dy_M}{dt} - P_1 \cdot S_1 + P_2 \cdot S_1 - mg; \\
 m_{ш2} \cdot y_{ш2}'' &= -\mu \cdot y_{ш2}' + P_5 \cdot S_5 - P_4 \cdot S_4 - mg; \\
 \frac{S_1(y_M^{max} - y_M) + V_{M1}}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_1}{dt} &= y_M' \cdot S_1 - \varphi \cdot S_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_6)}; \\
 \frac{S_2(y_M^{max} - y_M) + V_{M1}}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_2}{dt} &= -\varphi \cdot S_1^{DP} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_2 - P_3)} - y_M' \cdot S_2; \\
 \frac{S_3(y_M^{max} - y_M) + V_{M1}}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_3}{dt} &= \varphi \cdot S_1^{DP} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_2 - P_3)} - \varphi \cdot S_2^{DP} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_3 - P_4)}; \\
 \frac{S_4(y_M^{max} - y_M) + V_{M1}}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_4}{dt} &= \varphi \cdot S_2^{DP} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_3 - P_4)} + \varphi \cdot S_3^{DP} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_5 - P_4)}; \\
 \frac{S_5(y_M^{max} - y_M) + V_{M1}}{E_{ж}} \cdot \frac{dp_5}{dt} &= \varphi \cdot S_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_6 - P_5)} - \varphi \cdot S_3^{DP} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_5 - P_4)}; \\
 \varphi \cdot S_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_6)} - \varphi \cdot S_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_6 - P_5)} &= \beta \cdot V_{шл} \cdot \frac{dp_{шл}}{dt}.
 \end{aligned}$$

Из-за нелинейности системы уравнений (рисунок 4.4) и необходимости циклического срабатывания логических условий, описывающих движение ГС с гидротрансформатором, а также для большей наглядности и контроля вычислений, использован классический четырехэтапный метод Рунге-Кутты [93]. Решение производилось при помощи системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica (рисунок 4.6).

<p>Правые части</p> <pre> r = Compile[{{t, _Real}, {y, _Real, 1}}, Evaluate[{{ (*1 переход на 2 производную*) x1'[t], (*2 движение мультипликатора*) -mu x1'[t] - p1[t] s[d1] + p2[t] s[d2], ----- m1 (*3 переход на 2 производную*) x2'[t], (*4 движение малого штока*) -mu x2'[t] + p4[t] s[d4] - If[t < tod, 0, 1] f, ----- m2 (*5 переход на 2 производную*) x3'[t], (*6 движение большого штока*) -mu x3'[t] + p5[t] s[d5] - p4[t] s[d4], ----- m3 (*7 обмен над большим порennem мультипликатора*) eg (x1'[t] s[d1] - g1), ----- v1 (*8 обмен под малым порennem мультипликатора*) eg (-x1'[t] s[d2] - g1dr), ----- v2 (*9 внутренняя полость малого штока*) eg (g1dr - g2dr), ----- v3 }}], </pre>	<p>Реализация шага численного метода</p> <pre> (* Явный четырехэтапный (классический) метод Рунге - Кутты *) step[t_, x_] := With[{k1 = h0 f[t, x]}, With[{k2 = h0 f[t + h0/2, x + k1/2]}, With[{k3 = h0 f[t + h0/2, x + k1/2 + k2]}, With[{k4 = h0 f[t + h0, x + k1 + k2 + k3]}, x + h0/6 (k1 + 2 k2 + 2 k3 + k4)]]]; </pre> <p>Численное решение гибридной системы</p> <pre> h0 = toeh; (* Постоянный шаг *) out = 100; (* Каждый out-ый элемент выводится *) y = y0 = {x10, 0, x20, 0, x30, 0, p10, p20, p30, p40, p50, p60}; (* Начальные условия *) count = 0; AbsoluteTiming[Monitor[solution = Prepend[Reap[Do[y = step[t, y]; (*Условия на переключения штоков*) If[y[1] > x1max, y[1] = x1max; y[2] = 0; </pre>
---	---

Рисунок 4.6 – Системы компьютерной алгебры интерфейса Wolfram Mathematica

Полный программный код решения разработанной математической модели представлен в Приложении Д.

При решении системы уравнений 4.4-4.18 действующая сила F может быть задана в любом виде: как при плавном изменении нагрузки, так и при мгновенном импульсном нагружении системы.

Для расчета в качестве исходных данных приняты рабочие характеристики реального серийного оборудования, используемого для создания прототипа (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Обозначение	Величина	Единица измерения
Жидкость в напорной магистрали ОМК: -давление	$P_{н.м}$	16-32	МПа
Предохранительный клапан: - расход - давление	Q_{max}	8	л/мин
	$P_{п.к}$	30-32	МПа
Дроссель: -давление -расход -диаметр	$P_{ном}$	32	МПа
	$Q_{ном}$	25	л/мин
	$\varnothing_{др}$	0,5-1,5	мм
Обратный клапан: -давление -расход -диаметр	$P_{ном}$	32	МПа
	$Q_{ном}$	63	л/мин
	$\varnothing_{др}$	3	мм
Гидротрансформатор: - диаметр малого поршня -диаметр большого поршня -длина хода	$D_{мп}$	20	мм
	$D_{бп}$	45	мм
	$L_{х.п}$	800	мм
Гидромагистраль: -диаметр -длина	$\varnothing_{г}$	7	мм
	$L_{г}$	3000	мм
Рабочая жидкость: - коэффициент вязкого трения - коэффициент истечения через дроссель - плотность жидкости	m_{ν}	0,1	б/р
	γ	0,8	б/р
	ρ_0	1000	кг/м ³

По графикам, представленным на рисунке 4.7-4.9 видно, что изменение давления в поршневой полости при нагружении ГС с гидротрансформатором

незначительные. Перепад давлений за время в 0,1 секунду не влияет на работу ГС. Система обладает эффективной демпфирующей способностью.

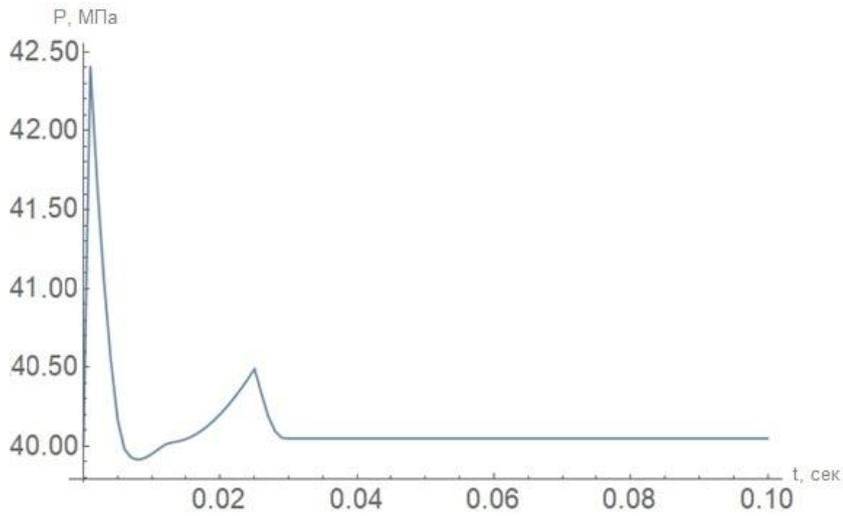


Рисунок 4.7 – Результаты математического моделирования при возмущающей силе $A(t) = 1600 \text{ кН}$

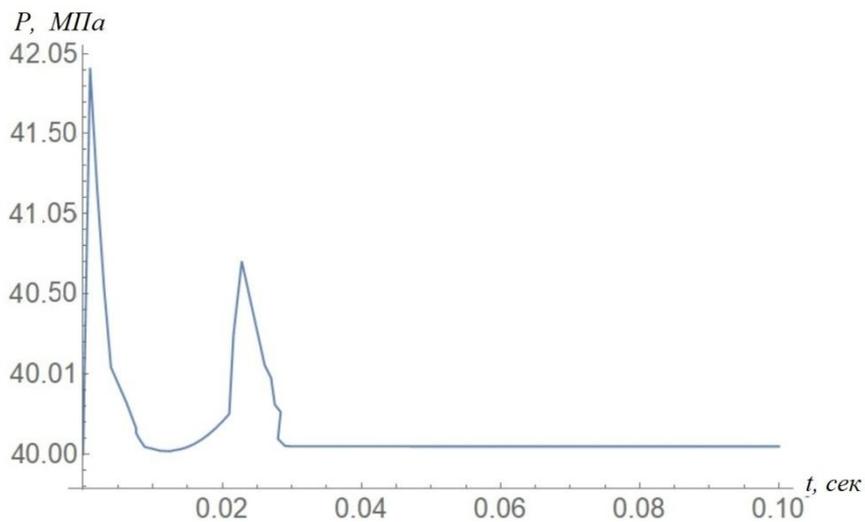


Рисунок 4.8 – Результаты математического моделирования при возмущающей силе $A(t) = 2500 \text{ кН}$

Для сравнения несущей способности процесса функционирования ББР гидростоек СМК при различных динамических воздействиях (от $A(t) = 9000 \text{ кН}$, до $A(t) = 11000 \text{ кН}$) получены результаты расчета выраженные в зависимости изменения давления в штоке второй ступени гидростойки (рисунки 4.7-4.9).

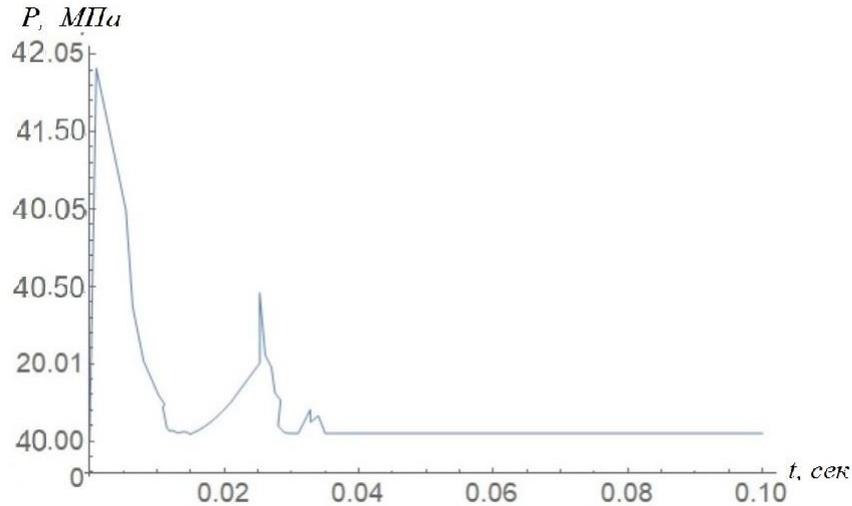


Рисунок 4.9 – Результаты математического моделирования при возмущающей силе
 $A(t) = 3200 \text{ кН}$

Главным фактором, определяющим работу гидросистемы ГС, является способность ее воспринимать возмущающее воздействие – перемещение кровли, вызывающее перемещение штока, без аварийного повышения давления в поршневой полости ГС, как на рисунке 4.10 при возмущающей силе $A(t) = 4000 \text{ кН}$.

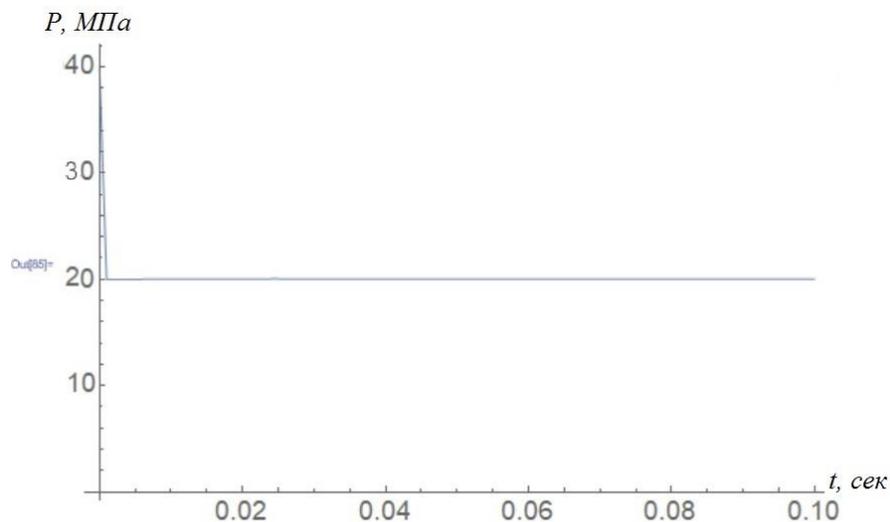


Рисунок 4.10 – Результаты математического моделирования при возмущающей силе
 $A(t) = 20000 \text{ кН}$

Результаты моделирования (рисунок 4.7-4.9) процесса вытеснения рабочей жидкости в напорную магистраль из поршневой полости

гидротрансформатора блока БРС (рисунок 5-8), встроенного в штоковую полость второй ступени ГС, подтверждают адекватность математической модели переходных процессов при передвижении элементов ГС СМК при изменении действующих сил. При этом обеспечивается существенное демпфирование силовых импульсов и давлений в элементах ГС и ее гидросистемы.

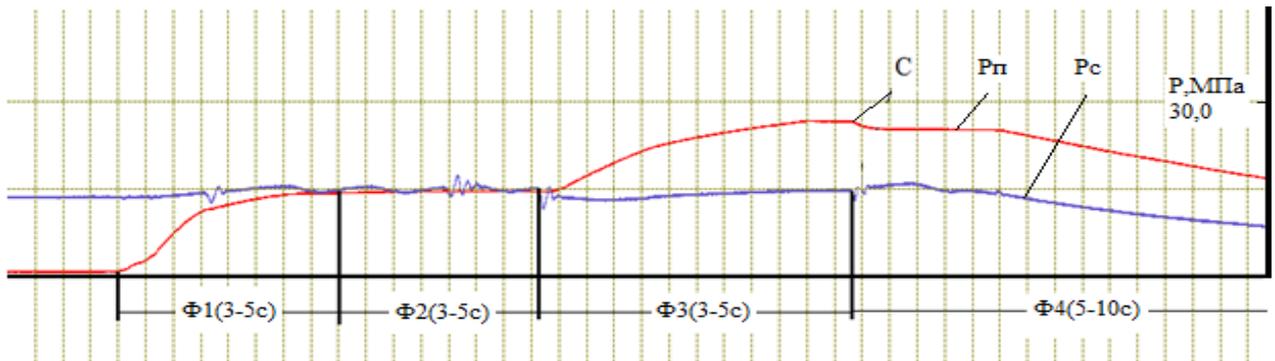


Рисунок 4.11 – Установочный режим проведения опыта на заводе
ООО «Красный октябрь»

Сравнением теоретических результатов и экспериментальных данных испытаний ГС МКЮ.2Ш с блоком БРС на нагрузочном стенде завода ООО «Красный Октябрь» [57, 81], описанными в Главе 3 (рисунок 4.11), была проверена адекватность разработанной математической модели (рисунок 8), где наблюдалось устойчивое смещение поршней гидротрансформатора с вытеснением рабочей жидкости в нагнетательную магистраль насосной станции при давлениях в полости низкого давления. Погрешности расчётных значений не превышают 10%..

4.4 Выводы по главе 4

Предложенное техническое решение ББР сопротивлением ГС СМК опусканию пород непосредственной кровли встроенного в полость штока второй ступени ГС обеспечивают:

- увеличение времени работы блока и СМК в режиме регулирования сопротивления гидростоек опусканию пород кровли с рекуперацией энергии

в напорную магистраль гидросистемы комплекса пропорционально давлению при тех же геометрических размерах блока;

- повышение КПД передачи энергии горного давления в напорную магистраль очистного комплекса;

- повышение надежности функционирования блока вследствие его защищенной компоновки от внешних воздействий во внутренней полости штока второй ступени гидростойки без внешних гидрокоммуникаций.

Достоверность теоретических результатов предложенной математической модели подтверждаются рядом факторов:

- вытеснение рабочей жидкости проходит без колебательных процессов, т.е. ББР является демпфирующим элементом;

- при импульсном набросе нагрузки время переходного процесса не менее 0,03 секунд, а перепад давлений не более 2,5 МПа, что не сказывается на работе ГС.

- сравнением теоретических и экспериментальных данных была проверена и подтверждена адекватность разработанной математической модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе приведены теоретические и экспериментальные исследования, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной задачи по обоснованию структуры и параметров адаптивной в изменяющихся горно-геологических условиях механизированной крепи очистного комплекса.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Анализ известных конструкций и режимных параметров секций механизированной крепи очистного механизированного комплекса, показал отсутствие апробированных схемных и конструктивных технических решений адаптивных секций крепи для сложных горно-геологических условий и слабых непосредственных породах кровли, состояние которых, обусловлено характером взаимодействия с механизированной крепью.

2. Установлено, что коэффициент топания кровли, характеризующий степень ослабления пород кровли, прямо пропорционален кратности силовых воздействий секции крепи на породы кровли ($K_{кр}=6,2$ – для случая использования очистного механизированного комплекса КМ-138), степени напряженности пород в контакте с перекрытием секции крепи и коэффициентами ослабления устойчивости пород, вследствие их слоистостей и трещиноватостей, конкретные значения которых, принимаются в зависимости от горно-геологических данных.

3. Теоретически и экспериментально обоснованы рациональные параметры блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек опусканию пород кровли, повышающие устойчивость пород непосредственной кровли вследствие уменьшения коэффициента кратности сил взаимодействия и коэффициента сил сопротивления их перемещению ($K_{cc}=10$), а также повышающие надежность и технологичность.

4. Разработана математическая модель процесса силового взаимодействия элементов гидросистемы с учетом конструктивных и геометрических значений их параметров обеспечивающая обоснованный выбор рациональных параметров элементов гидросистемы блока безимпульсного регулирования и секции механизированной крепи.

5. На предложенное схемное и конструктивное технические решения, контактно и кинематически адаптивных секций механизированной крепи, получен патент на полезную модель RU №169381 от 16.03.2017 г. и RU №173403 от 25.08.2017 г., обеспечивающие расширения диапазона условий эффективной эксплуатации на более сложные горно-геологические условия.

6. На предложенное схемное и конструктивное технические решения, гидрофицированной крепи с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии, получен патент на полезную модель RU №191483 от 29.04.2019 г., обеспечивающее более устойчивую работу в рациональных режимах.

7. Результаты данной работы использованы в научно исследовательском отчете в рамках хоздоговора (№ 16040 и №17027, Санкт-Петербург, 2016-2018 г.)

8. Результаты диссертационной работы использованы в производственной деятельности АО «Шахты «Полосухинская», с целью повышения устойчивости работы очистного механизированного комплекса КМ138 в рациональных режимах при изменении горно-геологических условий, которые подтверждаются актом о внедрении от 03.02.2019 г.

В дальнейшем планируется продолжение работы по повышению адаптивности секции механизированной крепи, а именно проведении экспериментальных исследования для определения коэффициента топтания, разработки новых схемных и конструктивных технических решений повышающих устойчивость работы секции крепи в рациональных режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов, Е. И.** Элементы гидропривода. Справочник / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов. - Киев: Техника. - 1977. – 320 с.
2. Авторское свидетельство СССР №1315618. Секция механизированной крепи / Б. А. Фролов, Ю. В. Матвиец; Заявл. 21.01.86. Оpubл. 07.06.87.
3. Авторское свидетельство СССР №717360. Шахтная гидравлическая стойка / А. Л. Младенцев, С.А. Санин, Н.И. Яковлев; Заявл. 23.08.76. Оpubл. 28.02.80.
4. Авторское свидетельство СССР №735786. Гидравлическая стойка шахтной крепи [Текст] / В. Н. Хорин, Э. О. Миндели, И. И. Зурабишвили; Заявл. 24.05.78. Оpubл. 25.05.80.
5. Авторское свидетельство СССР №898086. Шахтная гидравлическая стойка / Б. А. Фролов, В. И. Клишин В. Н. Хорин, Б. К Мышляев, А. М. Рагутский, С.В.Быков; Заявл. 15.02.80. Оpubл. 15.01.82.
6. Авторское свидетельство СССР №962633. Гидравлическая стойка шахтной крепи / И. И. Зурабишвили, Э. Д. Матарадзе, Л. И. Махарадзе, В. Т. Капанадзе; Заявл. 27.03.81. Оpubл. 30.09.82.
7. **Александров, Б. А.** Особенности взаимодействия механизированных крепей поддерживающего типа с кровлей / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. М. Леконцев, А. С. Фролов // Вопросы горного давления: сб. науч. тр. / Инт горн, дела СО АН СССР. – Новосибирск. – 1988. – № 46. – С. 67-70.
8. **Александров, Б. А.** Экспериментально-теоретические основы повышения качества взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами / Александров Б.А. – Кемерово. – 1987. – 448 с.
9. **Алиев, С. Б.** Повышение эффективности подземных горных работ путем комплексного управления геомеханическими и газодинамическими процессами угольных шахт / С.Б. Алиев, В.Н. Долгоносков, В.В. Мельник, Ф.К. Низаметдинов, Г.А. Пак // Уголь. – 2012. – № 2. – С. 11-14.
10. Альбом горно-шахтного оборудования. Разделы 1-6. – 1990. – 120 с.
11. **Андрейко, С. С.** Современные проблемы науки и производства в области горного дела. Учебное пособие. – Пермь: Издательство ПГТУ. – 2010. – 338 с.
12. **Антипов, И. В.** Геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забоев тонких пологих пластов: автореферат доктора технических наук: 05.15.02. – Донецк. – 1996. – 39 с.

13. **Бабырь, Н. В.** Адаптация механизированных крепей для изменяющихся по мере отработки выемочных столбов горно-геологических условий / Н.В. Бабырь // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Санкт-Петербург. – 2018. – С. 89.
14. **Бабырь, Н. В.** Повышение адаптивности механизированной секции крепи к медленно изменяемому горному давлению / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // XIV Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург. – 2016. – С. 18-21.
15. **Бабырь, Н. В.** Повышение адаптивности секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики ее гидростоек. / Н.В. Бабырь // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Том II. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Санкт-Петербург. – 2016. – С. 9-12.
16. **Бабырь, Н. В.** Повышение устойчивости работы ОМК в сложных горно-геологических условиях / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // Сборник трудов 6-ой Международно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд на будущее» ФГБОУ «Тульский государственный университет». Тула. – 2016. – С. 265-268.
17. **Баштрэм, Р. К.** Горное оборудование на 41-й международной ярмарке в Познани // Глюкауф. – 1972. – № 19. – С. 48-57.
18. **Бобер, Е. А.** Основы горного дела // Издательство Московского государственного горного университета / Егоров П.В., Косьминов Е.А., Красюк Н.Н., Кузнецов Ю.Н., Решетов С.Е. - Москва. - 2006. – 408 с.
19. **Бондаренко, В. И.** Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов / В.И. Бондаренко, А.М. Кульменко, Ю.Б. Грядущий. – Днепропетровск. – 2003. – 708 с.
20. **Брагин, В. Е.** Повышение эффективности комплексно-механизированной отработки пологих и наклонных пластов в Кузбассе. Текст. / В. Е. Брагин, С. И. Калинин, Ю. С. Лермонтов. Кемерово. –1995. – 200 с.
21. **Буялич, Г. Д.** Экспериментально-теоретическая оценка и обоснование параметров механизированных крепей для сложных горно-геологических условий пологих угольных пластов. - Кемерово, 2004. – 500 с.
22. **Воеводин, В. В.** Оценка параметров гидростоек механизированных крепей методом конечных элементов / Воеводин В. В. – Кемерово. - 2005. – 165 с.

23. **Габов, В. В.** Адаптация секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики гидропривода ее гидростоек / В.В. Габов, Д.А. Задков, Н.В. Бабырь, А.В. Стебнев, В.В. Бувевич // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 3. – С. 28-34.
24. **Габов, В. В.** Испытание блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород кровли / В.В. Габов, Н.В. Бабырь, А.В. Стебнев, С.Г. Мухортиков// Специальный выпуск ГИАБ по материалам научно-практической конференции «Подземная угледобыча XXI века». – 2018. – С. 21-27.
25. **Габов, В. В.** Методика выбора параметров блока безимпульсного регулирования сопротивления гидравлических стоек секции крепи опусканию пород кровли / В.В. Габов, Н.В. Бабырь, А.В. Стебнев// Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – № 5. – С. 6-10.
26. **Габов, В. В., Бабырь Н. В.** Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии // заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – №2019113188; заявл. 29.04.2019; опубл. 07.08.2019, Бюл. № 22.
27. **Габов, В. В., Задков Д. А., Бабырь Н. В., Бувевич В. В., Стебнев А. В.** Секция механизированной крепи с направляющей и опорной балками // заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2016142172; заявл. 26.10.2016; опубл. 16.03.2017, Бюл. № 8.
28. **Габов, В. В., Задков Д. А., Бабырь Н. В., Стебнев А. В.** Секция гидрофицированной крепи с телескопическим перекрытием // заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2017115109; заявл. 27.04.2017; опубл. 25.08.2017, Бюл. № 24.
29. Гидравлические стойки механизированной крепи. Типовая методика заводских приемо-сдаточных испытаний. - М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1982. - 10 с.
30. **Глушихин, Ф. П.** Трудноуправляемые кровли в очистных забоях / Ф. П. Глушихин. - М.: Недра. – 1974. – 193 с.
31. **Горелов, Ю. Н.** Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (метод Рунге-Кутты). – Самара. - 2006. – 48 с.
32. Горная энциклопедия. – М.: Недра. –1986. – С.322-334.
33. Горное дело: Терминологический словарь / Г.Д. Лидин, Л.Д. Воронина, Д.Р. Каплунов. – М.:Недра, 1990. – 694 с.

34. ГОСТ Р 55729-2013 Оборудование горно-шахтное. Гидростойки для механизированных крепей. Общие технические условия.
35. ГОСТ 31561-2012 Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытания.
36. ГОСТ 33164.1-2014 Оборудование горно-шахтное. Крепи механизированные. Секции крепи. Общие технические условия.
37. ГОСТ 33164.3-2014 Оборудование горно-шахтное. Крепи механизированные. Системы управления гидравлические. Требования безопасности и методы испытаний.
38. ГОСТ Р 51669-2000 Стойки призабойные гидравлические. Методы испытаний.
39. ГОСТ Р 52152-2003 Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний.
40. ГОСТ Р 54976-2012 Оборудование горно-шахтное. Термины и определения.
41. **Грабчак, Л. Г.** Горнопроходческие машины и комплексы. – М.: Недра. – 1990. – 167 с.
42. **Гребёнкин, С. С.** Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт / С.С. Гребёнкин, В.В. Косарев, С.Е. Топчий. – Донецк. - 2009. – 372 с.
43. **Гребенкин, С. С.** Технология подземной разработки и процессы горных работы очистных забоях крутых и крутонаклонных угольных пластов: Учебное пособие для вузов / С.С. Гребенкин, С.В. Янко, А.Ф. Булат. – Донецк. – 2001. – 418 с.
44. **Гребенкин, С. С.** Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт: монография / С.С. Гребенкин, В.В. Косарев, В.В. Стеблин, Б.А. Перепелица, В.Н Поповский под общей редакцией Гребенкина С.С. и Косарева В.В. // Донецк. – 2009. – 372 с.
45. **Громов, Ю. В.** Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля / Ю. В.Громов, В. П. Кругликов М.: Недра. – 1985. – 239 с.
46. **Докукин, А. В.** Механизированные крепи и их развитие / А.В. Докукин, Ю.А. Коровкин, Н.И. Яковлев. – М.: Недра. – 1984. – 288 с.
47. **Жетесов, С. С.** Пути развития и совершенствования механизированных крепей. Алма-Ата. – 1992. – 280 с.
48. **Жигалов, М. Л.** Технология и механизация подземных горных работ. – М.: Недра, 1990. – 356 с.
49. **Журило, А. А.** Горное давление в очистных забоях с труднообрушающимися кровлями / А. А. Журило. – М.: Недра. – 1980. – 124 с.

50. **Зурабишвили, И. И.** Особенности работы механизированных крепей, применяемых при взрывной отбойке руды / И. И. Зурабишвили, Э. Д. Матарадзе, А. В. Коиава // Вопросы горного давления. - Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. - №43. - С. 65-67.
51. **Ильштейн, А. М.** Исследование силовых параметров механизированных крепей типа ОМКТ в условиях Кузнецкого бассейна // Технология и механизация подземной добычи угля / Крылов В.Ф., Страхов В.М. - М.: Недра. -1971. - 145 с.
52. **Княшко, И. А.** Процессы подземных горных работ. - Киев. -1984. - 142 с.
53. **Клишин, В. И.** Стендовые испытания гидростоек механизированных крепей на ударные нагрузки // Вопросы горного давления / В. И. Клишин, Б. А. Фролов, Б. К. Мышляев, А. М. Рагутский. - Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. - №43. - 68 с.
54. **Клишин, В. И.** Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения. - Новосибирск. - 2002. - 200 с.
55. **Клишин, В. И.** Разработка способов и средств адаптации механизированных крепей к динамическим условиям нагружения. Новосибирск. - 1998. - 343 с.
56. **Клорикьян, С. Х.** Справочник. Машины и оборудование для шахт и рудников // Справочник. 6-е изд., стереотип / Старичнев В.В., Сребный М.А. - 2000. - 471 с.
57. **Кожухов, Л. Ф.** Исследование взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами при регулировании начального распора / Л.Ф. Кожухов, В.С. Баринов, Р.П. Журавлев // Адаптивность механизированных крепей. Вопросы горного давления. - Новосибирск. - 1983. - № 41. - С. 52-55.
58. **Коровкин, Ю. А.** Механизированные крепи очистных забоев // Под. Ред. Ю.Л. Худина. - М.: Недра. - 1990. - 413 с.
59. **Королев, А. И.** Анализ и оценка устойчивости режимов работы очистного механизированного комплекса/ А.И. Королев, В.В. Габов, А.В. Стебнев // Горное оборудование и электромеханика. - 2018. - № 1. - С. 37-40.
60. **Косарев, В. В.** Механизированные двухстоечные крепи института «Донгипроуглемаш» для пластов мощностью 0,85-4,5 м / И.В. Косарев, Г.В. Андреев, А.Л. Непомнящий, И.Г. Вассерман // Уголь. - 2006. - № 7. - С. 12-17.
61. **Крашкин, И. С.** Щитовые механизированные крепи - история создания и эволюция развития // Журнал «Уголь». Москва. - 2013. - С.32-36.
62. **Леконцев, Ю. М.** Взаимодействие системы крепь - породы при регулируемом начальном распоре механизированной крепи // Вопросы горного давления: сб.

- науч. тр. / Ин-т горн, дела СО АН СССР / Ю. М. Леконцев, Г. Д. Буялич. – Новосибирск. – 1983. – №.41. – С. 56-58.
63. **Леконцев, Ю. М.** Исследование режимов работы механизированных крепей в условиях трудноуправляемых кровель крепей / Леконцев Ю. М. – Кемерово. – 1977. – 279 с.
64. **Логвинов, В. Н.** Обоснование параметров и создание средств защиты гидростоек механизированных крепей от резких осадок кровли / Логвинов Виктор Николаевич. – Кемерово. – 2000. – 216 с.
65. **Малеев, Г. В.** Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: Учебник для вузов / Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев. – М.: Недра. – 1988. – 368 с.
66. **Мамонтов, С. В.** К расчету шахтных гидравлических крепей на динамические нагрузки // Горное давление и крепление. – М.: Недра. –1965. – 236 с.
67. Машины и оборудование для очистных и проходческих работ. Отраслевой каталог, часть 1. – М.: ЦИЭУ Уголь. – 1991. – 29 с.
68. Методические рекомендации по испытанию гидростоек механизированных крепей в динамическом режиме нагружения. – Л.: ВНИМИ. – 1977. – 18 с.
69. **Мышляев, Б. К.** Основные направления развития механизированных крепей для полого-наклонных пластов // Вопросы горного давления: сб. науч. тр. / Ин-т горн, дела СО АН СССР. – Новосибирск, 1989. – № 47. – 39 с.
70. **Мышляев, Б. К.** Определение сопротивления механизированных крепей поддерживающего типа. // Вопросы горного давления. № 43. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР. – 1985. – 235 с.
71. Нагрузки на очистные забои действующих угольных шахт при различных горно-геологических условиях и средствах механизации выемки. Текст. / Люберцы, ИГД им. А. А. Скочинского. – 1996. – 123 с.
72. **Никулин, К. К.** Исследование прочности и долговечности гидравлических стоек механизированных крепей / Никулин К. К. – Тула. – 1982. – 19 с.
73. **Орлов, А. А.** Крепление и управление кровлей в комплексно-механизированных очистных забоях / А. А. Орлов, С. Г. Баранов, Б. К. Мышляев. – М.: Недра, 1993. – 284 с.
74. Основы горного дела: Учебник для вузов. 2-е изд., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета. – 2006. – С. 240-241.
75. **Парамонов, В. Н.** Совершенствование конструкций механизированных крепей, очистных комбайнов за рубежом. – М.: «Уголь». – 1977. – 28 с.

76. Патент №109787 Российская федерация. Гидравлическая стойка для шахтной крепи. – Оpubл. 30.04.81.
77. Патент №2300894 Франция. Dispositif pour la protection des etancons assurant le serrage au toit d'un soutènement marchant de mines / Benne Marrel. – Public B.O.P.I. – "Listes" n.37 du 10.09.1976.
78. Патент №78238 ПНР. Hydrauliczny stojak kopalniany / Zaklady Kon-strukcyjno-Mechanizacyjne Przemyslu Weglowego, Gliwice (Polska); Franciszek Glanowski, Zygmunt Moscinski. – Opubl. 25.11.1975.
79. Патент РФ №2224111. Фронтальный очистной агрегат / Е.И. Винников, В.В. Габов, Э.А. Загривный, Н.М. Иванов, В.Ф. Тужиков; Заявл. 13.06.2002. Оpubл. 20.02.2004.
80. Патент РФ №2510460 Российская Федерация E21D23/16. Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии. / В.В. Буевич, В.В. Габов, О.В. Кабанов; Заявл. 18.02.2014. Оpubл. 23.06.2014
81. Патент РФ №2224513. Механизированная крепь сопряжения лавы со штреком / Е.И. Винников, В.В. Габов, Э.А. Загривный; Заявл. 24.06.2005. Оpubл. 26.06.2006.
82. **Пера, Ф.** Разработка механизированных крепей нового типа Текст. / Ф. Пера, К. Шимон, Й. Немет, Й. Корбуй // Сб. трудов «Механика горных пород и механизированные крепи». – Новосибирск, Институт горного дела СО АН СССР. – 1985. – С. 165 - 177.
83. **Подколзин, А. А.** Совершенствование гидросистемы секции механизированной крепи // Известия Тульского государственного университета. – 2014. – №2. – С. 49-54.
84. **Полежаев, В. П.** Выбор и расчет параметров структурных схем механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа / В.П. Полежаев, В.П. Лазуткина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – №9. – С. 1-4.
85. **Пономаренко, Ю. Ф.** Инженерная методика проектного расчета параметров гидросистемы механизированных крепей. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1981. – 22 с.
86. **Пономаренко, Ю. Ф.** Расчет и конструирование гидроприводов механизированных крепей / Ю.Ф. Пономаренко, А.А. Баландин, И.Т. Богатырев. – М.: Машиностроение. – 1961. – 327 с.

87. **Садыков, А. М.** Влияние расходной характеристики предохранительного клапана на работу гидростоек / А. М. Садыков, Э. М. Ялышев, С. В. Поляков // Угольное машиностроение / ЦНИИЭИуголь, УССР. – 1978. – № 11. – С.11-13.
88. **Садыков, А. М.** Работа гидравлических опор крепи при резких осадках кровли / А. М. Садыков, А. А. Орлов. – 1977. – № 1. – С. 41-44.
89. **Сафохин, М. С.** Горные машины и оборудование // Учебник для ВУЗов. – М.: Недра, 1990. – 237 с.
90. **Сидорчук, В. К.** Гибкие технологии подземной разработки пологих угольных пластов. – 2001. – 152 с.
91. **Тургель, Д. К.** Горные машины и оборудование подземных разработок // Учебное пособие. Екатеринбург. – 2007. – С. 215-248.
92. **Фролов, Б. А.** Адаптивность механизированных крепей // Механика горных пород и механизированные крепи. - Новосибирск: ИГД СО АН СССР. – 1985. – 201 с.
93. **Фролов, Б. А.** Методы повышения адаптивности механизированных крепей / Клишин В.И, Верин В.С. – Новосибирск: Наука СО. – 1983. – 245 с.
94. **Фрянов, В. Н.** Обоснование параметров технологии подготовки и отработки мощных пологих пластов Текст. / В. Н. Фрянов., А. В. Чубриков. Новокузнецк: СибГИУ. – 2002. – 216 с.
95. **Хандрос, А. Х.** Динамика и моделирование гидроприводов станков. – М.: Машиностроение. – 1969. – 156 с.
96. **Хорин, В. Н.** Гидрофицированная крепь очистных выработок / В.Н. Хорин, Н.П. Бушуев, С.В. Мамонтов. М.: Недра. – 1973. – 123 с.
97. **Хорин, В. Н.** Объёмный гидропривод забойного оборудования. – М.: Недра. – 1980. – 189 с.
98. **Хорин, В.Н.** Расчет и конструирование механизированных крепей. – М.: Недра. –1988. – 53 с.
99. **Череменинский, Б. Г.** Энергетический критерий выбора рационального сопротивления крепи. // Физические процессы горного производства: Всесоюз. меж вуз. сб. / Ленингр. горн, ин-т им. Г.В: Плеханова. – 1979. – № 7. – С. 81-84.
100. **Шеин, Ю. Г.** Разработка теоретических основ динамического взаимодействия механизированной крепи с породами кровли / Ю. Г. Шеин. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 2003. – 332 с.
101. **Широков, А. П.** Повышение устойчивости горных пород / А. П. Широков, В. Ф. Горбунов. - Новосибирск. – 1983. – 167 с.

102. ANSYS. Release 10.0. Documentation [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. и прог. – ANSYS, Inc. – Режим доступа: из прог. ANSYS. – Загл. с экрана. – Англ.
103. **Babyr, N.** «Enhancement of powered cleaning equipment with the view of mining and geological conditions» / N V Babyr., A I Korolev, T V Neupokoeva // IOP: Earth and Environmental Science 194 (EES). – 2018. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/194/3/032004/meta> (дата обращения: 17.08.2019). – Текст: электронный.
104. **Irresberg, H.** Results of Researidi and Development in the German Soft-coal Mining Industry // Colliery Guardian International. – 1978. – 100 p.
105. **Petr Novak.** Roof support control in longwall technology. 4th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia, 2014, pp: 34-41.
106. **Von O. Jacobi. Essen.** Verlag Gl ckauf. – 1981. – 39 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Справка о внедрении



"Шахта "Полосухинская"

Акционерное общество "Шахта "Полосухинская"

654000 Кемеровская область-Кузбасс, г. Новокузнецк, а/я 4312, факс 573-609, тел. 573-601
ИНН 4218005950 КПП 421801001 ОКПО 05804507
Р/с № 40702810900000000979
БИК 043209770
К/с № 30101810900000000770
в ООО «НОВОКИБ» г. Новокузнецк

УТВЕРЖДАЮ
Директор АО «Шахта «Полосухинская»
Гургуров С.В.
«03» февраля 2019 г.

АКТ

о внедрении (использовании) результатов кандидатской диссертационной работы *Бабурь Никиты Валерьевича «Обоснование структуры и параметров адаптивной к горно-геологическим условиям секции механизированной крепи очистного комплекса»*, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Комиссия в составе:

председатель: *Маметьев М.Ю.* – главный механик АО «Шахта «Полосухинская»,

члены комиссии: *Михряков Д.А.* – старший механик по забойному оборудованию АО «Шахта «Полосухинская», *Лучников А.В.* – старший механик по автоматике АО «Шахта «Полосухинская» составили настоящий акт, о том, что результаты диссертационной работы **«Обоснование структуры и параметров адаптивной к горно-геологическим условиям секции механизированной крепи очистного комплекса»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в производственной деятельности АО «Шахта «Полосухинская» с целью повышения устойчивости работы секций механизированной крепи М138/2 в рациональных режимах при изменении горно-геологических условий, на основании полученных в диссертационной работе закономерностей силового взаимодействия секций механизированной крепи с породами непосредственной кровли.

Обоснование технических и конструктивных решений обеспечит непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления гидростойки, чем исключит резко переменные нагрузки и замедлит процесс трещинообразования в породах непосредственной кровли, снизит ограничения производительности по газу и позволит выполнить большее количество схем групповой передвижки секций крепи в очистных забоях.

Председатель комиссии

Маметьев М.Ю.
Маметьев М.Ю.

Члены комиссии:

Михряков Д.А.
Михряков Д.А.

Лучников А.В.
Лучников А.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Патент на полезную модель №173403

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 173403

**СЕКЦИЯ ГИДРОФИЦИРОВАННОЙ КРЕПИ С
ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ ПЕРЕКРЫТИЕМ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Стебнев Александр Валерьевич (RU), Габов Виктор Васильевич (RU), Задков Денис Александрович (RU), Бабырь Никита Валерьевич (RU)*

Заявка № **2017115109**

Приоритет полезной модели **27 апреля 2017 г.**

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **25 августа 2017 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **27 апреля 2027 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Малеев



ПРИЛОЖЕНИЕ В
Патент на полезную модель №169381

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 169381

**СЕКЦИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С
 НАПРАВЛЯЮЩЕЙ И ОПОРНОЙ БАЛКАМИ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Габов Виктор Васильевич (RU), Задков Денис Александрович (RU), Буевич Владимир Владимирович (RU), Бабырь Никита Валерьевич (RU), Стебнев Александр Валерьевич (RU)*

Заявка № 2016142172

Приоритет полезной модели 26 октября 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 16 марта 2017 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 26 октября 2026 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ившин



ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Патент на полезную модель №191483



ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Код математического моделирования

Постоянные:

```

tend=1;(*продолжительность расчета*)
toch=0.00001;
tud=0.2;(*время удара*)

f=100000;(*сила воздействия на крепь*)

m1=0.5;(*масса штока гидротрансформатора *)
m2=25;(*масса малого штока*)
m3=50;(*масса большого штока*)

mu=0.1;(*коэффициент вязкого трения*)
γ=0.8;(*коэффициент истечения через дроссели*)
ρ=1000;(*плотность жидкости*)
eg=2000000;(*коэффициент упругости жидкости*)
eg=4000000;

d1=0.035;(*диаметр большого поршня гидротрансформатора *)
d2=0.025;(*диаметр малого поршня гидротрансформатора *)
d3=0.035;(*диаметр внутренней полости в малом штоке*)
d4=0.15;(*диаметр поршня малого штока*)
d5=0.22;(*диаметр поршня большого штока*)
d6=0.02;(*внутренний диаметр шланга*)

d1dr=0.01;(*первый дроссель*)
d2dr=0.03;(*второй дроссель*)
d3dr=0.03;(*третий дроссель*)

x1min=0;(*минимальное положение штока гидротрансформатора *)
x1max=0.05;(*максимальное положение штока гидротрансформатора *)
x2min=0;(*минимальное положение малого штока*)
x2max=1;(*максимальное положение малого штока*)
x3min=0;(*минимальное положение большого штока*)
x3max=1.6;(*максимальное положение большого штока*)

x10=x1max;(*начальное положение штока гидротрансформатора *)
x20=x2max;(*начальное положение малого штока*)
x30=0.5 x3max;(*начальное положение большого штока*)

xm=0.01;(*высота мертвого объёма*)

pм=10 105;(*давление в магистрали*)
p10=20 105;
p20=20 105;
p30=20 105;
p40=20 105;
p50=20 105;

```

$$p60=20 \cdot 10^5;$$

$$pmin=100000; (*\text{атмосферное давление}*)$$

$$pmax=20 \cdot 10^7; (*\text{максимально возможное давление}*)$$

$$l3=0.15; (*\text{длина внутренней полости малого штока}*)$$

$$l6=10; (*\text{длина шланга}*)$$

Вспомогательные уравнения:

$$s[d_]:= (\pi d^2)/4; (*\text{площадь}*)$$

$$v[d_ , l_]:= 1/4 \pi d^2 l; (*\text{объем}*)$$

$$\beta=1/\epsilon; (*\text{сжимаемость шланга}*)$$

$$v1=v[d1, xm]+s[d1] (x1max-x1[t]); (*\text{объем над большим поршнем гидротрансформатора}*)$$

$$v2=v[d2, xm]+s[d2]x1[t]; (*\text{объем под малым поршнем гидротрансформатора}*)$$

$$v3=v[d3, l3]; (*\text{внутренняя полость малого штока}*)$$

$$v4=v[d4, xm]+s[d4] x2[t]; (*\text{объем в большом штоке}*)$$

$$v5=v[d5, xm]+s[d5] x3[t]; (*\text{объем нагнетания}*)$$

$$v6=v[d6, l6]; (*\text{объем шланга}*)$$

$$g1dru=\gamma s[d1dr] \sqrt{\frac{2 (Abs[p2[t] - p3[t]])}{\rho_0}}; (*\text{первый дроссель}*)$$

$$g1dr=If[Re[p2[t]]>= Re[p3[t]], Evaluate[g1dru/.{p2[t]->y8, p3[t]->y9}], Evaluate[g1dru/.{p2[t]->y8, p3[t]->y9}]];$$

$$g2dru=\gamma s[d2dr] \sqrt{\frac{2 (Abs[p3[t] - p4[t]])}{\rho_0}}; (*\text{второй дроссель}*)$$

$$g2dr=If[Re[p3[t]]>= Re[p4[t]], Evaluate[g2dru/.{p3[t]->y9, p4[t]->y10}], Evaluate[g2dru/.{p3[t]->y9, p4[t]->y10}]];$$

$$g3dru=\gamma s[d3dr] \sqrt{\frac{2 (Abs[p5[t] - p4[t]])}{\rho_0}}; (*\text{третий дроссель с обратным клапаном}*)$$

$$g3dr=If[Re[p5[t]]>= Re[p4[t]], Evaluate[g3dru/.{p4[t]->y10, p5[t]->y11}], 0(*Evaluate[g3dru/.{p4[t] \square Subscript[y, 10], p5[t] \square Subscript[y, 11]}]*)];$$

$$g1u=\gamma s[d6] \sqrt{\frac{2 (Abs[p1[t] - pm])}{\rho_0}}; (*\text{через шланг в магистраль}*)$$

$$g1=If[Re[p1[t]]>= Re[pm], Evaluate[g1u/.{p1[t]->y7}], Evaluate[-g1u/.{p1[t]->y7}]];$$

$$g2u=\gamma s[d6] \sqrt{\frac{2 (Abs[p6[t] - p5[t]])}{\rho_0}}; (*\text{из шланга}*)$$

$$g2=If[Re[p6[t]]>= Re[p5[t]], Evaluate[g2u/.{p5[t]->y11, p6[t]->y12}], Evaluate[-g2u/.{p5[t]->y11, p6[t]->y12}]];$$

Дифференциальные уравнения:

$$x1^{[t]},$$

$$(*2 \text{ движение гидротрансформатора} *)$$

$$(-\mu x1'[t]-p1[t] s[d1]+p2[t] s[d2])/m1,$$

$$(*3 \text{ переход на 2 производную}*)$$

$$x2'[t],$$

```

(*4 движение малого штока*)
(-mu x2'[t]+p4[t] s[d4]-lf[t<tud,0,1] f)/m2,
(*5 переход на 2 производную*)
x3'[t],
(*6 движение большого штока*)
(-mu x3'[t]+p5[t] s[d5]-p4[t] s[d4])/m3,
(*7 объем над большим поршнем гидротрансформатора *)
(eg (x1'[t] s[d1]- g1))/v1,
(*8 объем под малым поршнем гидротрансформатора *)
(eg (-x1'[t] s[d2]-g1dr))/v2,
(*9 внутренняя полость малого штока*)
(eg (g1dr-g2dr))/v3,
(*10 объем в большом штоке*)
(eg (g2dr+g3dr))/v4,
(*11 объем нагнетания*)
(eg (g2-g3dr))/v5,
(*12 давление в шланге*)
(g1-g2)/(beta v6)
}{"/.quot□Quotient[fi[t],γ]*}
./{x1[t]->y1,x1'[t]->y2,x2[t]->y3,x2'[t]->y4,x3[t]->y5,x3'[t]->y6,p1[t]->y7,p2[t]->y8,p3[t]-
>y9,p4[t]-> y10,p5[t]-> y11,p6[t]-> y12}}];

```

Реализация численного метода:

```

h0=toch;(* метод Рунге - Кутты *)
cut=100; (* Каждый cut-ый элемент записывается *)
y=y0={x10,0,x20,0,x30,0,p10,p20,p30,p40,p50,p60}; (* Условия *)
(*Условия на перемещения штоков*)
If[y[[1]]>= x1max,y[[1]]=x1max;y[[2]]=0];
If[y[[1]]<= x1min,y[[1]]=x1min;y[[2]]=0];
If[y[[3]]>= x2max,y[[3]]=x2max;y[[4]]=0];
If[y[[3]]<= x2min,y[[3]]=x2min;y[[4]]=0];
If[y[[5]]>= x3max,y[[6]]=0;y[[5]]=x3max];
If[y[[5]]<= x3min,y[[6]]=0;y[[5]]=x3min];

```

(*Условия на давления*)

```

If[y[[6]]>pmax,y[[6]]=pmax];
If[y[[6]]<pmin,y[[6]]=pmin];
If[y[[7]]>pmax,y[[7]]=pmax];
If[y[[7]]<pmin,y[[7]]=pmin];
If[y[[8]]>pmax,y[[8]]=pmax];
If[y[[8]]<pmin,y[[8]]=pmin];
If[y[[9]]>pmax,y[[9]]=pmax];
If[y[[9]]<pmin,y[[9]]=pmin];
If[y[[10]]>pmax,y[[10]]=pmax];
If[y[[10]]<pmin,y[[10]]=pmin];
If[y[[11]]>pmax,y[[11]]=pmax];
If[y[[11]]<pmin,y[[11]]=pmin];
If[y[[12]]>pmax,y[[12]]=pmax];
If[y[[12]]<pmin,y[[12]]=pmin]
sol=Inner[{x1,dx1,x2,dx2,x3,dx3,p1,p2,p3,p4,p5,p6},Table[Interpolation@Transpose@{s
olution[[All,1]],solution[[All,2,i]]},{i,12}],List];

```