

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

На правах рукописи

Стебнев Александр Валериевич



**ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ, АДАПТИВНОЙ К УСЛОВИЯМ
ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ
ОЧИСТНОГО 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	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ОЧИСТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	11
1.1 Этапы развития механизации очистных работ в угольных шахтах.....	11
1.2 Анализ эксплуатации очистных механизированных комплексов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».....	13
1.2.1 Горно-геологические и технологические условия.....	13
1.2.2 Характеристика машин и оборудования очистных забоев.....	14
1.3 Анализ факторов, ограничивающих нагрузку на очистные забои	19
1.4 Анализ устойчивости режимов работы очистных забоев.....	25
1.5 Анализ развития адаптивных секций механизированной крепи	33
1.6 Выводы по главе 1.....	40
ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ, АДАПТИВНОЙ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ.....	42
2.1 Особенности объекта исследований.....	42
2.2 Особенности процесса развития щитовых секций крепи.....	45
2.3 Особенности режимов работы гидросистемы крепи МКЮ.2Ш-13/27.....	56
2.4 Требования к рабочей характеристике гидростойки секции механизированной крепи.....	59
2.5 Обоснование безимпульсного способа и устройства регулирования сопротивления гидростоек опусканию пород кровли.....	62
2.5.1 Обоснование способа безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек.....	62
2.5.2 Разработка экспериментального образца устройства.....	66
2.6 Взаимодействие секции механизированной крепи с породами кровли и возможность использования энергии горного давления в технологическом процессе добычи угля.....	68

2. 7 Выводы по главе 2.....	72
ГЛАВА 3 ИСПЫТАНИЕ ГИДРОСТОЙКИ С БЛОКОМ БЕЗИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	74
3.1 Методика проведения экспериментальных исследований процесса безимпульсного регулирования.....	74
3.2 Экспериментальные исследования процесса безимпульсного регулирования.....	79
3.3 Разработка и испытание опытного образца блока безимпульсного регулирования.....	86
3.3.1 Разработка опытного образца блока безимпульсного регулирования.....	86
3.3.2 Заводские испытания опытного образца блока безимпульсного регулирования.....	87
3.3.3 Шахтные испытания опытного образца блока безимпульсного регулирования	90
3.4 Выводы по главе 3.....	96
ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ, АДАПТИВНЫХ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИЙ КРЕПИ.....	97
4.1 Основные направления поиска технических решений	97
4.2 Обоснование структуры секции механизированной крепи с направляющей и опорной балками.....	101
4.3 Обоснование структуры секции механизированной крепи с телескопическим перекрытием.....	103
4.4 Обоснование структуры секции механизированной крепи с телескопическими перекрытием и основанием.....	106
4.5 Совершенствование способа передвижки секции механизированной крепи.....	112
4.6 Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии.....	117

4.7 Выводы по главе 4.....	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт внедрения.....	137
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Патент на полезную модель №169381.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ В Патент на полезную модель №173403.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Патент на полезную модель №176896.....	140
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Патент на полезную модель №189563.....	141

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Уголь является необходимым элементом для функционирования металлургической, энергетической и химической отраслей промышленности, несомненно, относится во многих странах, и в частности в России, к стратегическому сырью. Акционерное общество «СУЭК-Кузбасс» является основным поставщиком угля в России. Проведение принятой в АО «СУЭК-Кузбасс» стратегии повышения уровня концентрации горных работ, оснащение очистных забоев современными надёжными высоко энерговооружёнными очистными механизированными комплексами (ОМК) и вспомогательным оборудованием привело к существенному росту нагрузок на очистные забои при сокращении их количества. При этом рост потенциальных возможностей вводимых в эксплуатацию комплексов существенно превосходит достигаемую на практике их эффективность. Упущенные возможности в наращивании объемов и эффективности добычи угля по этой причине остаются весьма значимыми для предприятий.

Производительность одних и тех же комплексов существенно различается в зависимости от горно-геологических условий (ГГУ) их эксплуатации. Следовательно, сложившееся положение заключается и в самих комплексах, в недостаточной их адаптивности и адаптивности их механизированной крепи к изменяющимся в широком диапазоне ГГУ по мере отработки выемочных столбов.

Существенная роль, в плане общей адаптации ОКМ к условиям эксплуатации, принадлежит его крепи, которая по назначению должна обеспечивать необходимые условия для эффективной и безопасной работы очистного забоя.

Таким образом, обоснование структуры и параметров энергоэффективной, адаптивной к условиям эксплуатации секции механизированной крепи очистного комплекса, является актуальной научно-практической задачей.

Степень разработанности темы исследования.

Заметный вклад в развитие теории и практики использования

механизированной крепи для очистных забоев внесли отраслевые и бассейновые научно-исследовательские и проектные институты России: ИГД им. А.А. Скочинского, Гипроуглемаш, ИГД СО РАН, ПНИУИ и другие, известные ученые: И.В. Антипов, Г.Д. Буялич, А.В. Докукин, В.И. Клишин, Ю.А. Коровкин, И.С. Крашкин, Б.К. Мышляев, Н.Л. Разумняк, Б.А. Фролов, В.Н. Хорин, Г.И. Ягодкин, О. Якоби и многие др.

Несмотря на значительный объём теоретических и экспериментальных исследований и накопленный производственный опыт до настоящего времени не разработаны способы, технические решения и методики выбора параметров энергоэффективных, адаптивных к изменяющимся условиям эксплуатации секций механизированной крепи для комплексно-механизированных очистных забоев (КМОЗ), обеспечивающих в режиме управления горным давлением снижение вероятности разрушения пород непосредственной кровли и их высыпания в межсекционное пространство.

Целью работы является обоснование структуры и параметров энергоэффективных, кинематически и контактно адаптивных секций механизированной крепи ОМК с безимпульсным регулированием горного давления для реализации схемных и конструктивных технических решений, обеспечивающих использование энергии горного давления, уменьшение диапазона изменчивости сил сопротивления гидростоек опусканию пород кровли в режиме управления горным давлением и при выполнении циклически повторяющихся вспомогательных операций.

Идея работы заключается в повышении устойчивости процесса силового многоциклового взаимодействия секции механизированной крепи (СМК) с кровлей, которое достигается совершенствованием их структуры и рабочей характеристики уменьшением диапазона изменчивости сил сопротивления опусканию пород непосредственной кровли и приданием им свойств энергетической, силовой, кинематической и контактной адаптивности к изменяющимся условиям эксплуатации по мере отработки выемочного столба при безимпульсном методе регулирования сопротивления гидростоек с передачей

части энергии горного давления вытеснением рабочей жидкости из их поршневой полости в гидросистему комплекса.

Задачи исследований:

1. Провести анализ особенностей процесса развития очистных механизированных комплексов и их щитовых секций крепи.

2. Обосновать схемные и конструктивные технические решения блока безимпульсного регулирования сопротивления (БРС) гидростоек СМК опусканию пород кровли в очистном забое.

3. Разработать структуру и обосновать параметры энергоэффективных, адаптивных к ГГУ СМК, обеспечивающих уменьшение диапазона изменчивости сил их сопротивления опусканию пород кровли при выполнении ими последовательных операций циклов в КМОЗ.

4. Провести экспериментальные исследования процесса функционирования опытного образца блока БРС на нагрузочном стенде ООО «Завод Красный Октябрь» и в шахтных условиях.

5. Установить зависимость количества энергии, отводимой в гидросистему ОМК в процессе управления горным давлением в КМОЗ при использовании блока БРС, от значений параметров СМК, ОМК и интенсивности процесса выемки.

Научная новизна работы:

1. Выявлены тенденции развития щитовых СМК, обусловленные увеличением количества их вспомогательных структурных элементов и функций при сохранении количества основных функций.

2. Доказана возможность и определены условия преобразования, передачи и использования энергии горного давления в КМОЗ угольных шахт.

3. Установлена зависимость количества энергии горного давления, преобразуемой и передаваемой гидростойками СМК в гидросистему комплекса, от параметров механизированной крепи и интенсивности процесса выемки угля.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Установлена зависимость количества энергии горного давления, передаваемой в гидросистему крепи, от параметров крепи и режима работы

КМОЗ.

2. Разработаны, изготовлены и испытаны совместно с гидростойкой МКЮ.2Ш-13/27 экспериментальный и опытный образцы блоков БРС на стенде завода «Красный Октябрь» и в очистном забое шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс».

3. Опытный образец блока БРС принят к использованию в проекте модернизации секции крепи МКЮ.2Ш-13/27 для условий шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс».

Методология и методы исследования. В исследованиях использован комплексный метод, включающий анализ результатов теоретических исследований и опыта эксплуатации СМК, синтез схемных и конструктивных технических решений, экспериментальные исследования силового взаимодействия СМК с породами кровли в производственных условиях.

Соответствие паспорту специальности. Тема исследований соответствует области исследований паспорта специальности 05.05.06 – «Горные машины» по пунктам: п.1 «Изучение закономерностей внешних и внутренних рабочих процессов в горных машинах, комплексах и агрегатах с учетом внешней среды», п.3 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы машин и оборудования и их элементов» и п.4 «Обоснование и выбор конструктивных и схемных решений машин и оборудования во взаимосвязи с горнотехническими условиями, эргономическими и экологическими требованиями».

Положения, выносимые на защиту:

1. Установлена закономерность процесса развития СМК, заключающаяся в том, что при неизменном количестве основных структурных элементов и функций проявляются устойчивые тенденции в развитии вспомогательных структурных ее элементов и функций, направленных на улучшение контактной, кинематической и силовой адаптивностей к условиям эксплуатации:

– количество элементов и функций ручного управления устойчиво снижалось и в настоящее время сохраняется только как элементы настройки и резервирования;

– количество вспомогательных структурных элементов и функций, с каждым этапом развития СМК, устойчиво увеличивается и направлено на улучшение качества выполнения ими основных функций;

– отмечается устойчивый рост количества вспомогательных функций и операций цикла, частоты и скорости их выполнения, что неизбежно ограничивает непосредственное участие операторов в управлении процессами.

2. Повышение устойчивости работы ОМК в рациональных режимах при отработке выемочных участков достигается уменьшением диапазона изменчивости сил циклического взаимодействия гидростоек СМК с породами непосредственной кровли и, следовательно, снижением интенсивности процесса трещинообразования и вероятности вывалов породы в межсекционное пространство, что обеспечивается безимпульсным регулированием сопротивления гидростоек опусканию пород кровли в процессе управления горным давлением и передвижкой СМК при неподвижных силовых контактах её распорных элементов с кровлей.

3. Количество энергии, отводимой в гидросистему ОМК в процессе конвергенции боковых пород в КМОЗ, прямо пропорционально давлению в гидростойке СМК, длине лавы, количеству гидравлических стоек в секции крепи, фактической нагрузке на забой и календарному времени его работы, и обратно пропорционально шагу расстановки секций по длине лавы и объёму добычи за цикл.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается: корректностью постановки задач исследований; подтверждается непротиворечивостью её результатов фундаментальным законам и результатам испытаний гидростоек МКЮ.2Ш-13/27, оснащенных блоками БРС, на нагрузочном стенде ООО «Завод Красный Октябрь» и в промышленных условиях на шахте «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс».

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на Международной научно-технической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME–2017, 2018», Санкт-Петербургский горный университет

(г. Санкт-Петербург); на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2017, 2018 гг.); на Международной научно-практической конференции «Подземная добыча XXI век» (г. Ленинск-Кузнецкий, 2018 г.); на научно-технических советах электромеханического факультета Санкт-Петербургского горного университета (г. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования, в проведении анализа объекта исследований и выборе метода исследований, в формулировании основных положений диссертационной работы, выносимых на защиту, в обосновании параметров и в разработке схемных и конструктивных технических решения СМК и опытного образца блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек опусканию пород непосредственной кровли с рекуперацией энергии в гидросистему комплекса, в подготовке и проведении заводских и шахтных испытаний опытного образца ББР совместно с гидростойками МКЮ.2Ш-13/27.

Публикации по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 5-ти 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 (далее – Перечень ВАК), в 2-х статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и в систему цитирования Scopus. Получены 4 патента на полезную модель.

Структура и содержание. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 114 наименований и 5 приложений. Диссертация изложена на 141 странице машинописного текста, содержит 75 рисунков и 10 таблиц.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ОЧИСТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

1.1 Этапы развития механизации очистных работ в угольных шахтах

Средства механизации очистных горных работ прошли пять этапов развития [105]:

- машины и оборудование для обеспечения буровзрывной технологии очистных работ (1910-1950 гг.), в некоторых особых условиях применяется и в настоящее время;

- машины и оборудование для обеспечения буровзрывной широкозахватной технологии очистных работ с использованием врубовой машины (1930-1950 гг.);

- машины и оборудование для обеспечения широкозахватной технологии очистных работ с использованием широкозахватных комбайнов (1950-1965 гг.);

- машины и оборудование для обеспечения узкозахватной комбайновой технологии очистных работ (1965-1980 гг.);

- комплексная механизация очистных работ: комбайновая, струговая, конвейероструговая.

Этап развития широкозахватной буровзрывной технологии выемки угля в длинных забоях связан с созданием средств механизации бурения шпуров и транспортирования угля, разработкой технологии горных работ с отработкой пластов длинными забоями.

В этот период были созданы достаточно совершенные ручные сверла типа ЭБМ, бурильные молотки РМ (1930 г.), сверла ЭБР-2, РМ-4 и ЭР-3. Однако с 1940 г. эффективность буровзрывной технологии начала снижаться.

Все более широкое применение находили врубовые машины, обеспечивающие преимущества широкозахватной буровзрывной, на предварительно проведенную механическим способом щель, технологии перед чисто буровзрывной технологией.

Начало производства врубовых машин и переход на технологию очистных работ с буровзрывной отбойкой горной массы на врубовую щель стало важным этапом развития угольной промышленности во всем мире. Этот период

характеризуется решением многих задач. В частности, была найдена удачная компоновка врубовых машин с уравновешенной в направлениях скоростей резания и подачи режущей цепью, созданы конструкции штанговых и буровых исполнительных органов. Эти решения предопределили дальнейшее направление развития и стали основой для создания очистных комбайнов.

Технология, в которой стали впервые применяться мощная врубовая машина, разрушающая угольный забой, и разборный переносной забойный конвейер, принята за начало отсчёта развития средств механизации очистных работ.

Анализ развития механизации очистных работ с 1930 г. по настоящее время показал, что имеют место внутренние законы их развития, которые определяют длительность эффективного функционирования, пределы по производительности труда и нагрузке на забой, а также длительность этапа снижения темпа роста и соответствующее снижение производительности труда. То есть в каждом периоде можно выделить характерные этапы бурного роста, замедления и снижения эффективности.

Если длительность первых двух периодов была 20-25 лет, то последний период продолжается более 40 лет. Фазы снижения эффективности первых двух периодов были короче времени её роста, а для современного периода бурный рост продолжался около 15 лет (1965-1980), а замедление и снижение эффективности более 30 лет.

К 1980-90 гг. были созданы и применялись мощные и надежные механизированные крепи, забойные скребковые конвейеры, очистные узкозахватные комбайны, струговые и комбайновые очистные комплексы. Однако существенного роста эффективности не наблюдалось.

Наступил период эволюционного развития техники при неизменной технологии и уменьшающихся запасах угольных пластов с благоприятными ГГУ.

В благоприятных ГГУ современная техника позволяет получить довольно высокие и стабильные результаты. Однако при осложнении ГГУ интенсивность и устойчивость технологического процесса значительно падают. Основная причина

заключается в том, что структура этих горных машин жесткая и слабо адаптивна к изменению ГГУ. Адаптивность ОМК к сложным ГГУ касается наличия геологических нарушений, трудно управляемых или неустойчивых пород кровли. Адаптивность ОМК к сложным ГГУ может рассматриваться в плане адаптивности как механизированных крепей к изменяющимся свойствам боковых пород, адаптивности комплексов к изменению технологических параметров очистных забоев, так и адаптивности выемочных машин к изменению прочностных свойств пласта.

Развитие техники от одного этапа к последующим, несмотря на спады, характеризуется преемственностью. Все наработки, удачные отдельные решения и принципы находят еще лучшее воплощение, интегрированное общей идеей.

В каждом последующем этапе развития техники и технологии очистных работ существенно изменяется способ крепления призабойного пространства, который является основой технологического процесса и определяет предельные его возможности.

1.2 Анализ эксплуатации очистных механизированных комплексов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»

1.2.1 Горно-геологические и технологические условия

В структуре АО «СУЭК-Кузбасс» 8 шахт: «Имени С.М. Кирова», «Комсомолец», «7 Ноября-новая», «Имени А.Д. Рубана», «Полысаевская», «Талдинская-Западная-1», «Талдинская-Западная2» и «Имени В.Д. Ялевского». Все шахты расположены в Прокопьевском районе Кемеровской области. В таблице 1.1 приведена краткая характеристика условий ведения горных работ по шахтам АО «СУЭК-Кузбасс» по состоянию на 2019 г. На шахте «7 Ноября-новая» ведутся пока только подготовительные работы. Горные работы ведутся на глубинах 180-470 м. В работе 9 очистных забоев, все забои оборудованы очистными механизированными комплексами. Мощность вынимаемых пластов от 1,7 до 5,75 м. Угол падения пластов 0-20 градусов. Газообильность выемочных участков 5-122 м³/мин. Длина очистного забоя 220-400 м.

Таблица 1.1 – Характеристика условий ведения очистных работ

Шахта	Лава/ пласт	Мощность пласта, м	Длина лавы, м	Длина столба, м	Глубина ведения работ, м	Состав механизированных комплексов			Нагрузка на забой, т/сут
						Крепь	Комбайн	Конвейер	
им. С.М. Кирова	24-62 Болдыревский	2,62	300	2470	350-470	FRS-GLINIK- 12/26	Eickhoff SL-300	JOY AFC- 38×800/1500	9847
	25-97 Поленовский	2,37	350	2220	300-436	JOY RS- 2400/2×650	JOY 7LS-20	JOY AFC- 38×800/1500	8723
им. А.Д. Рубана	814 Полысаевский-2	4,7	300	2850	280-320	JOY RS- 4700/650 OMT	Eickhoff SL-900	DBT PF 4/1132	11780
	12-04 Надбайкаимский	2,51	220	1250	200-310	МКЮ 2Ш-13/27	Eickhoff SL-300	DBT PF 4/1132	6537
Полысаевская	17-53 Бреевский	1,78	360	2600	430-470	FRS-GLINIK- 12/25	Eickhoff SL-300	DBT PF 4/1032	8709
Комсомолец	18-47 Толмачевский	2,85	300	2250	369-460	GLINIK-15/32 TAGOR-15/32	Eickhoff SL-300	DBT PF 4/1032	7752
им. В.Д. Ялевского	50-05 Пласт 50	3,80	400	2630	340-310	DBT 2550/5500 DBT 2400/5000 DBT 2200/4800	Eickhoff SL-900	DBT PF 6/1142	25000
	52-14 Пласт 52	4,23	400	2300	253-365	DBT 2550/5500 DBT 2400/5000 DBT 2200/4800	Eickhoff SL-900	DBT PF 6/1142	16083
Талдинская- Западная-1	66-09 Пласт 66	4,40	280	1450	200-320	DBT 2200/4800	JOY 7LS6C	DBT PF 6/1142	10369
Талдинская- Западная-2	70-10 Пласт 70	5,75	300	2300	180-360	PRS-JOY-25/55	Eickhoff SL-500	DBT PF 41132	9364

ГГУ соответствуют условиям высокотехнологичных угольных пластов, в которых может быть достигнута высокая эффективность очистных работ. Шахты АО «СУЭК-Кузбасс» в результате перехода на высокопроизводительные комплексы по основным показателям подземной добычи угля достигли наилучших показателей [97], являются лидерами среди шахт России и находятся в одном ряду с шахтами передовых угледобывающих стран. Однако фактическая производительность комплексов существенно ниже технически обусловленной.

Работа большинства шахт осуществляется одним очистным забоем. На ряде шахт АО «СУЭК-Кузбасс» ведется отработка сближенных пластов угля, которая характеризуется наличием зон повышенного горного давления (ПГД), сформированных надработкой или подработкой сближенных пластов [24].

1.2.2 Характеристика машин и оборудования очистных забоев

Выемочные машины, эксплуатируемые на шахтах, представлены комбайнами зарубежного производства. В 7-ми забоях работают комбайны немецкой фирмы Eickhoff (SL-300 и SL-900), в 2-х – фирмы Joy (7LS20 и 7LS6C). Все эксплуатируемые комбайны выполнены по одной конструктивной схеме: симметричная блочно-модульная компоновка с двумя шнековыми исполнительными органами с автономными приводами резания с поперечным расположением главных двигателей на поворотных редукторах; два двигателя подачи с электрической системой подачи с реечной системой. Мощность электродвигателей исполнительного органа комбайна от 285 до 825 кВт с общей энерговооруженностью до 2104 кВт. Ширина захвата исполнительных органов до 1,0 м, скорость подачи комбайна до 32 м/мин.

Следует отметить, что рассмотренные комбайны обладают высоким удельным ресурсом 10...12 тыс.т/кВт, уровнем контроля и диагностики, надежностью работы.

Эксплуатируемые лавные скребковые конвейеры все импортного производства. В двух забоях работают конвейеры фирмы JOY AFC-38×800/1500, в семи забоях работают конвейеры немецкой фирмы DBT PF4 и PF6. Усилия на

разрыв замкового соединения цепей зарубежных скребковых конвейеров составляет от 1500 до 4000 кН, а скорость движения цепи – от 1,0 до 2,05 м/с. Ресурс работы конвейеров составляет от 3,0 до 12,0 млн.т.

Как видно из таблицы 1.1 состав механизированных комплексов характеризуется набором оборудования разных производителей в большинстве очистных забоев. Только в одном очистном забое применяются отечественная механизированная крепь 4-го поколения типа МКЮ.2Ш-13/27, в остальных забоях крепи импортного производства. В трех забоях применяются крепи польского производства: FRS-GLINIK-12/25, TAGOR 15/32 совместно с GLINIK-15/32 и FRS-GLINIK-12/26. В остальных забоях применяются высокотехнологичные крепи английского и немецкого производства: JOY RS-2400/2×650, JOY RS-22/47, JOY RS-25/55, DBT 2200/4800, DBT 2400/5000, DBT 2550/5500. Есть комплектации из двух, трех и четырех разных типов секций крепи в одном очистном забое: в лаве 52-14 шахты «им. В.Д. Ялевского» в составе комплекса – 102 секции DBT 2200/4800, 19 секций DBT 2400/5000, 71 секция DBT 2550/5500 и 40 секций GLINIK-25/55; в лаве 50-05 той же шахты – 95 секций DBT 2550/5500, 43 секции DBT 2200/4800 и 100 секций DBT 2400/5000; в лаве 18-47 шахты «Комсомолец» – 68 секций GLINIK-15/32 и 111 секций TAGOR-15/32.

В таблице 1.2 представлены технические характеристики механизированных крепей, применяемых на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». Все эксплуатируемые механизированные крепи относятся к агрегатным, поддерживающе-оградительным, однорядным, двухстоечным, структурная формула крепей: $ПО \times A \times 3сх \times 1,75 [2+0] \times 4зв.$

Шаг установки секций – 1,75 м, шаг передвижки от 0,8 до 1,0 м, сопротивление секций крепи составляет от 4775 до 9340 кН. Удельное сопротивление на 1 м^2 поддерживаемой площади кровли изменяется от 848 до 1131 кН/м^2 , что является достаточным для глубины отработки до 500 м в условиях Кузбасса.

Таблица 1.2 – Технические характеристики механизированных крепей

Технические характеристики	Тип механизированной крепи											
	МКЮ.2 Ш- 13/27	Tagor- 15/32- Poz	DBT 2200/ 4800	DBT 2400/ 5000	DBT 2550/ 5500	FRS Glinik 15-32	FRS Glinik 12-25	FRS Glinik 12-26	FRS Glinik 25-55	Joy RS- 2400/ 2*650	Joy RS 4700/ 650 OMT	Joy RS- 25/ 55
Высота секции (min- max), мм	1300- 2700	1500- 3200	2200- 4800	2400- 5000	2550- 5500	1500- 3200	1200- 2500	1200- 2600	2500- 5500	1200- 2400	2200- 4700	2500- 5500
Допустимые углы падения пластов для работы по простира- нию / падению, град.	±15 ±10	±12 ±15	±15	±15	±15	±15	±15 ±30	±10 ±15	±15 ±10	±15	±25 ±10	±15
Шаг установки, м	1,75											
Шаг передвижки, м	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	0,8-1,0	0,8	0,9	0,9	0,8- 1,0
Соппротивление секции, кН	9340	8550	6493	8538	8312	5027	6582	5655	4775	5900	6500	6420
Рабочее давление, МПа	42	42	41	46	45	40	46	46	40	40	40	42
Усилие передвижки секции, кН	643	643	658	658	658	643	726	726	726	565	565	565
Удельное сопротив- ление на 1 м ² поддерживаемой площади, кН/м ²	960	1025	856	1069	1081	1043	848	1118	1131	864	830	960
Коэффициент раздвижности	2,08	2,13	2,18	2,08	2,16	2,13	2,08	2,17	2,20	2,00	2,14	2,20
Масса, кг	23500	24500	29800	31100	31325	25800	23495	24038	28640	23328	27700	31210

Усилие передвижки секций изменяется от 565 до 726 кН. Коэффициент раздвижности гидростоек всех секций более 2,0. Рабочее давление в гидросистеме от 40 до 46 МПа.

Крепь российского производства в целом по параметрам и характеристикам не уступают зарубежным крепям, но уступают им по качеству изготовления, уровню систем управления и надежности [99].

Стоимость крепей JOY и DBT существенно выше, чем крепи российского производства. Связано это с качественным изготовлением и высокой надежностью американских и германских крепей. Их гарантированный ресурс составляет 49,5 и 53,7 млн. т, а российских всего 24,75 млн. т [59]. Сравнение отечественных и польских крепей показывает, что как по цене, так и по ресурсу они примерно одинаковы. Как отмечают специалисты, средний ресурс польских крепей равен или немного больше, а американских в 1,5-2,0 раза выше отечественных [63]. Сравнение крепей по показателю удельных затрат на добычу угля, который рассчитывается как отношение цены крепи к её гарантированному ресурсу до капитального ремонта, показывает, что удельные затраты на добычу 1 т угля при использовании крепей JOY и DBT близки к удельным затратам Российских крепей МКЮ. При этом отечественные крепи регламентируются ресурсом не менее 30 тыс. циклов [32, 33]. Таким образом, механизированные крепи отечественного производства развиваются в направлении увеличения их прочности и качества изготовления, которые гарантировали бы ресурс 30 тысяч циклов выемки, что в совокупности с меньшей в 2-3 раза стоимостью делает их вполне конкурентоспособными на российском рынке по сравнению с импортными [16, 64].

Основными показателями эффективности эксплуатации очистного оборудования являются: нагрузка на очистной забой, производительность труда, ресурс и безаварийная работа горно-шахтного оборудования (ГШО).

От безаварийной работы ГШО напрямую зависит фактическая нагрузка на очистной забой. Для объективной оценки необходимо рассмотреть причины простоев добычных участков по шахтам и дать оценку, используемому

оборудованию.

1.3 Анализ факторов, ограничивающих нагрузку на очистные забои

Результаты анализа простоев в АО «СУЭК-Кузбасс» за последние 5 лет (рисунок 1.1) подтверждают, что время наибольших простоев по причине отказов горно-шахтного оборудования (ГШО) отмечено на шахте «Имени В.Д. Ялевского» – 724 часа за 2016 год и шахте «Имени С.М. Кирова» – 708 часа за 2015 год. На шахте «Полысаевская» отмечены простои с максимумом – 699 часа за 2017 год, а на шахте «Талдинская-Западная-2» – 644 часа за 2016 год. Но в целом есть тенденция в сторону уменьшения времени простоев. Простои по шахтам «Имени А.Д. Рубана», «Комсомолец» наименьшие и не превышают 320 часа в год.

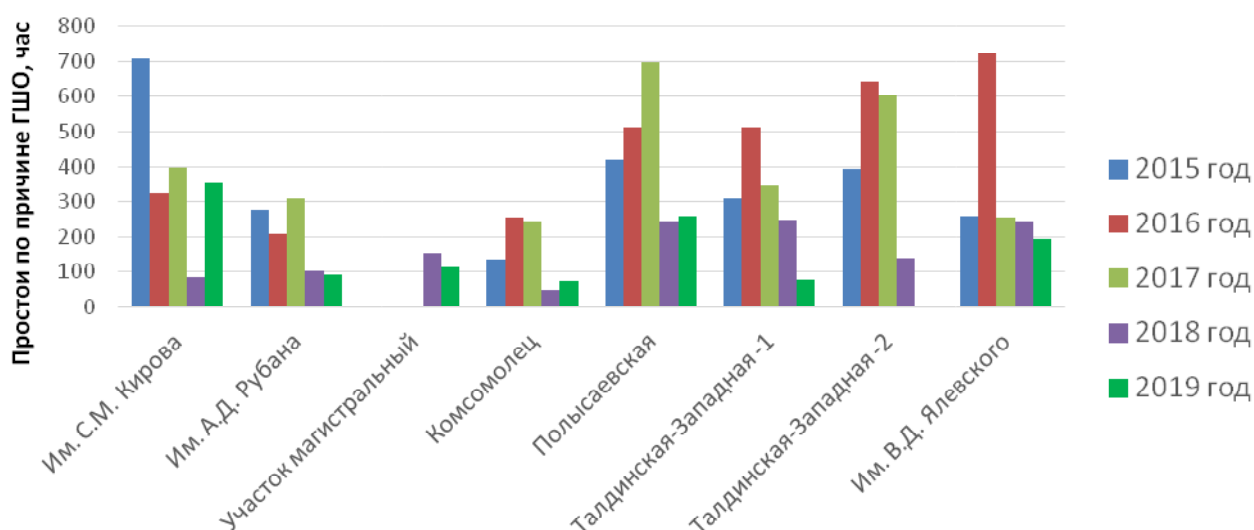


Рисунок 1.1 – Простои шахт АО «СУЭК-Кузбасс» в часах по причине ГШО (2015-2019 гг.)

На рисунке 1.2 представлена диаграмма распределения простоев ГШО по всему комплексу электромеханического оборудования шахт АО «СУЭК-Кузбасс» за 2019 год. Как видно из диаграммы общее время простоев составляет 1252 часов. Из них 25 % (321 ч) приходится на простои из-за отказов очистного комбайна, 27 % (343 ч) – лавного конвейера, 3 % (33 ч) – механизированной крепи, 21 % (254 ч) – участкового транспорта, 12 % (154 ч) – магистрального транспорта, 3 % (34 ч) – стационарное оборудование, 9 % (112 ч) – электрическое оборудование.

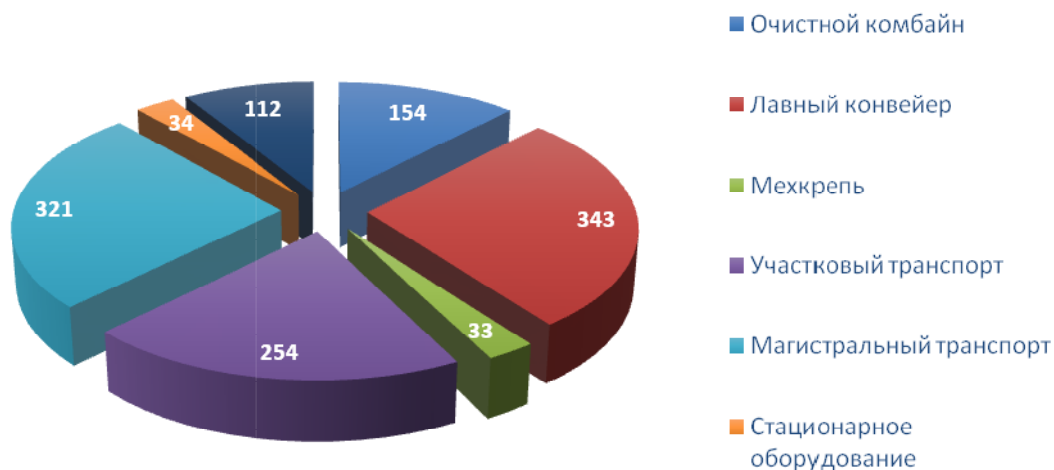


Рисунок 1.2 – Простои по причине отказов ГШО на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2019 год в часах

На рисунке 1.3 представлены простои по причине отказов ГШО по шахтам АО «СУЭК-Кузбасс» за 2019. Наименьшие простои за 2019 год отмечены на шахте «Имени В.Д. Ялевского», пласт 52 – 39 час/г, шахте «Комсомолец» – 72 час/г, шахте «Талдинская-Западная-1» – 78 час/г. Наибольшие простои по шахтам: «Польсаевская» и «Имени С.М. Кирова» составили соответственно 261 и 355 час/г.

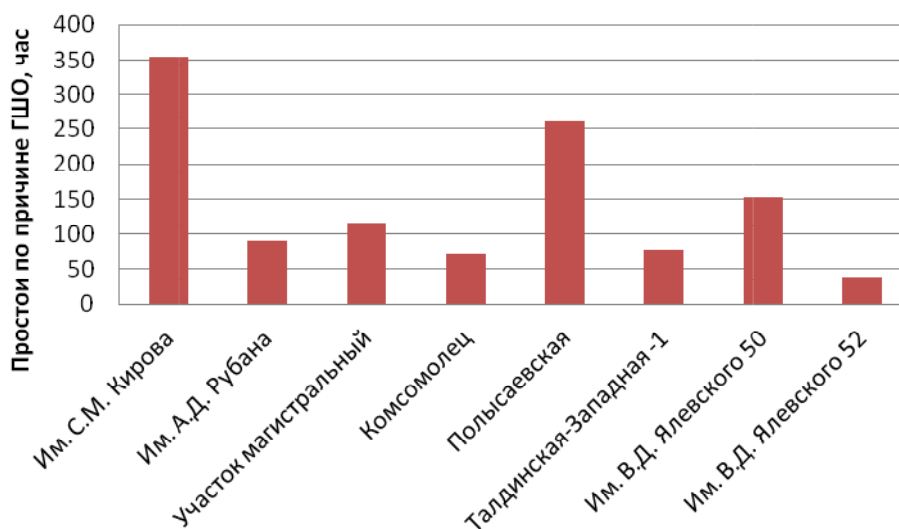


Рисунок 1.3 – Простои по причине отказов ГШО по шахтам за 2019 год в часах

В результате анализа работы механизированных комплексов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» (таблица 1.3) установлено, что основными причинами простоев

очистных забоев являются не отказы средств механизации очистных работ, а влияние горно-геологических условий, устранение нарушений правил безопасности по предписаниям органов надзора и прочие производственно-технические причины [90].

Таблица 1.3 – Общие простои по АО «СУЭК-Кузбасс» за 2019 г.

Причины	Простои	
	в часах	в %
Горная геология	5242	32
Нарушение газового режима	156	1
Нарушение ПБ	2527	15
Отказы комбайна	154	1
Отказы лавного конвейера	343	2
Отказы механизированной крепи	33	0,1
Отказы участкового транспорта	254	2
Отказы магистрального транспорта	321	2
Отказы прочего оборудования	146	0,9
Прочие производственно-технические	7300	44

Как видно из таблицы 1.3 общее время простоев по причинам, связанным с отказами ГШО не превышает 8 %. 32 % простоев очистных забоев связаны с горно-геологическими факторами такими, как неустойчивая кровля (закладка верхней части лавы, вывалы кровли, работы на сопряжениях лавы с подготовительными выработками), удароопасность пластов, дегазация и др. 15 % простоев приходится на устранение нарушений правил безопасности. До 44 % связано с прочими производственно-техническими факторами.

Такие факторы, как проход геологических нарушений, горные удары и большое выделение метана, неустойчивая и весьма неустойчивая кровля, куполо и вывалообразование, большой приток и выброс воды, наличие зон ПГД, ложная почва, интенсивное трещинообразование в кровли, кусковатое обрушение сопровождаются длительными перерывами в работе ОМК, большим объемом вспомогательных работ, существенным снижением добычи.

Простои приводят к потере добычи и неустойчивой работе

механизированных комплексов. Так общие потери в добычи за 2019 г. составили 6746839 т, из них по причине ГШО – 471940 т.

Анализ работы очистного механизированного комплекса на шахте «Имени С.М. Кирова» (рисунок 1.4) показал, что аварийные простои в большей степени связаны с неисправностью лавного конвейера и доходят до 80 часов в месяц. Простои, связанные с комбайном, не превышают 24 часов в месяц. При этом простои по причине механизированной крепи – только в марте и составляют 30 часов в месяц.

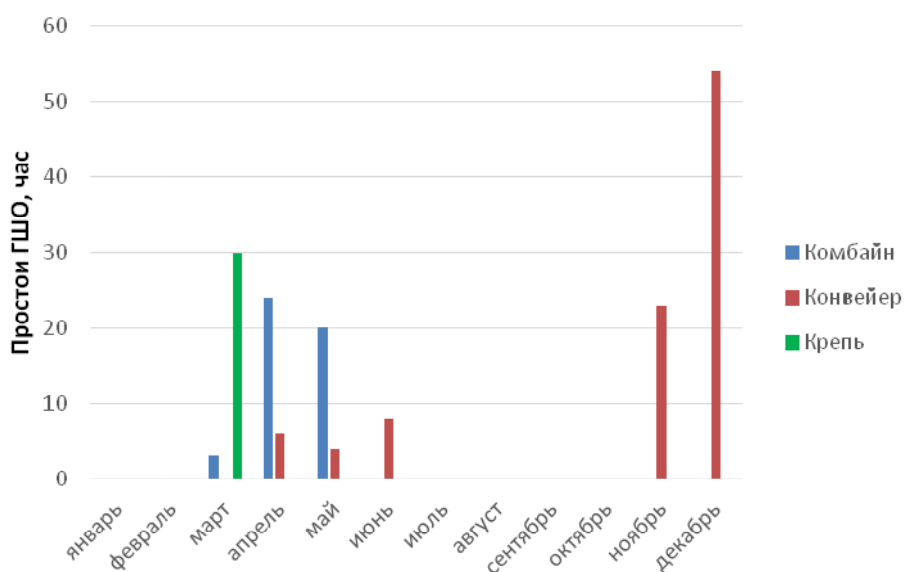


Рисунок 1.4 – Простои шахты «Имени С.М. Кирова»

Работа комплекса на шахте «Имени А.Д. Рубана», лава 12-04, пласт Надбайкаимский (рисунок 1.5) характеризуется в целом безаварийностью за исключением двух месяцев: май и октябрь. Простои в этот период составили соответственно 10 часов по причине неисправности конвейера и 16 часов – очистного комбайна.

Аварийные простои комплекса на шахте «Имени А.Д. Рубана», участок магистральный, лава 814, пласт Полысаевский-2 (рисунок 1.6) характеризуются простоями комбайна и конвейера в первом и четвертом квартале. Максимальные простои комбайна и конвейера составляют 16 и 31 час в месяц соответственно.

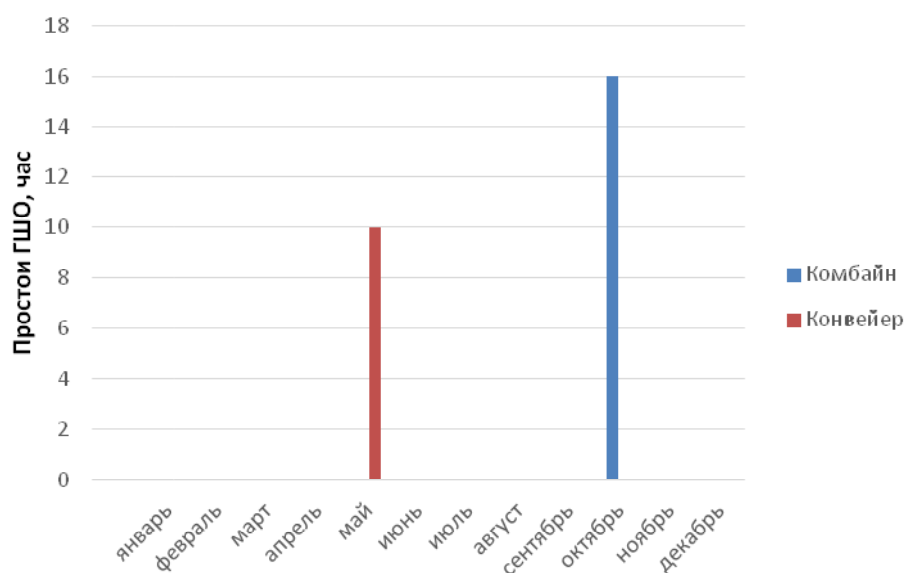


Рисунок 1.5 – Простои шахты «Имени А.Д. Рубана», пласт Надбайкаимский

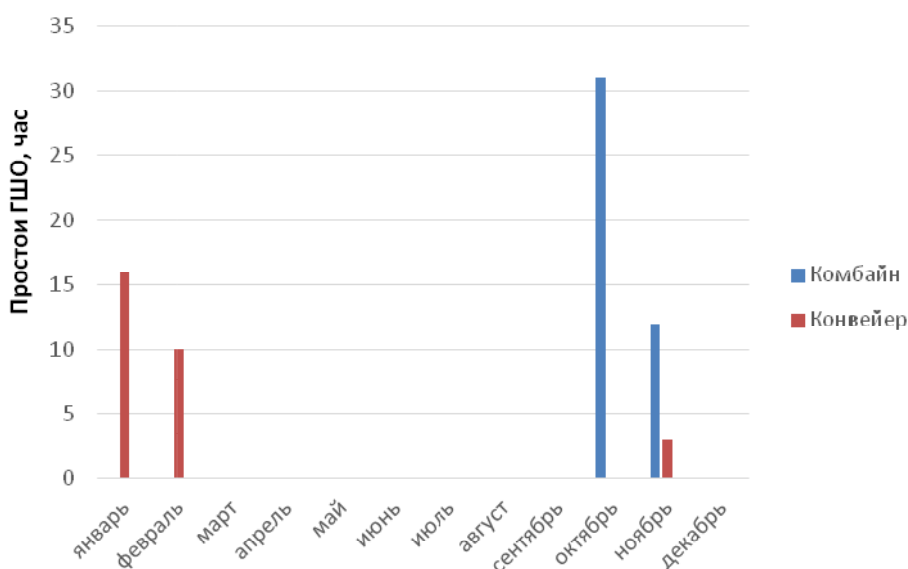


Рисунок 1.6 – Простои шахты «Имени А.Д. Рубана», участок магистральный, пласт Полысаевский-2

Работа механизированного комплекса на шахте «Комсомолец» (рисунок 1.7) характеризуется простоями конвейера в последних двух месяцах года по 15 и 16 часов.

В целом по другим забоям (рисунок 1.8-1.9) прослеживается не большая частота простоев горно-шахтного оборудования, как правило, аварийные простои не превышают 16 часов в месяц. Исключение составляют шахта «Талдинская-Западная-1» – 45 часов по причине отказов конвейера (рисунок 1.10).

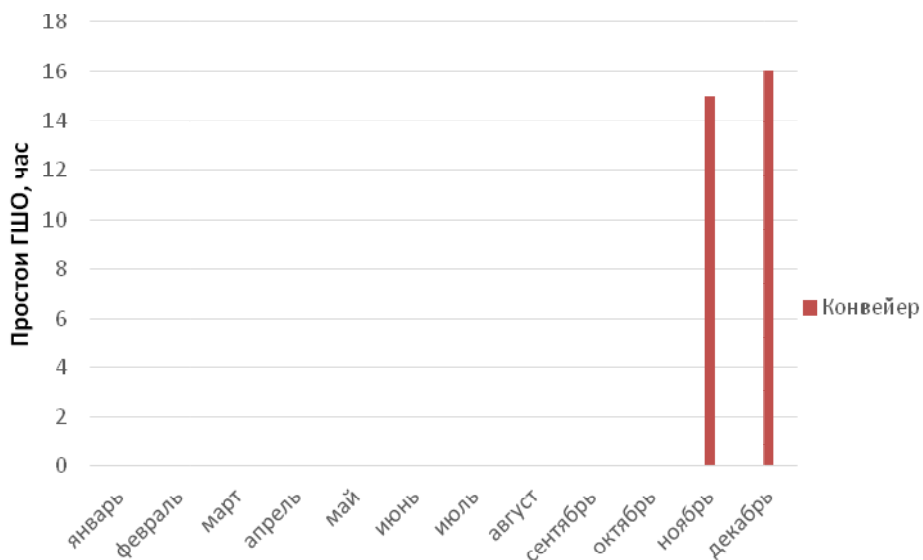


Рисунок 1.7 – Простои шахты «Комсомолец»

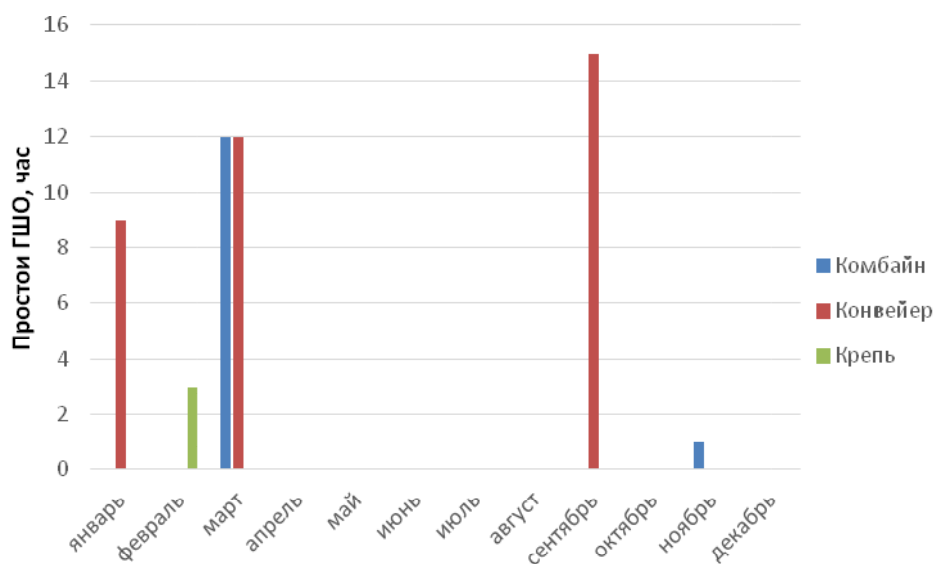


Рисунок 1.8 – Простои шахты «Полысаевская»

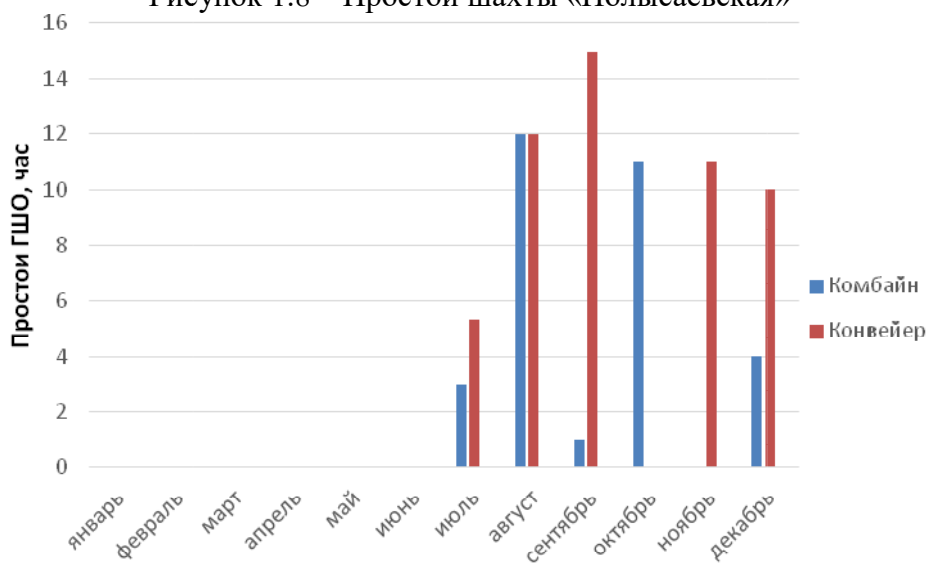


Рисунок 1.9 – Простои шахты «Имени В.Д. Ялевского», пласт 50

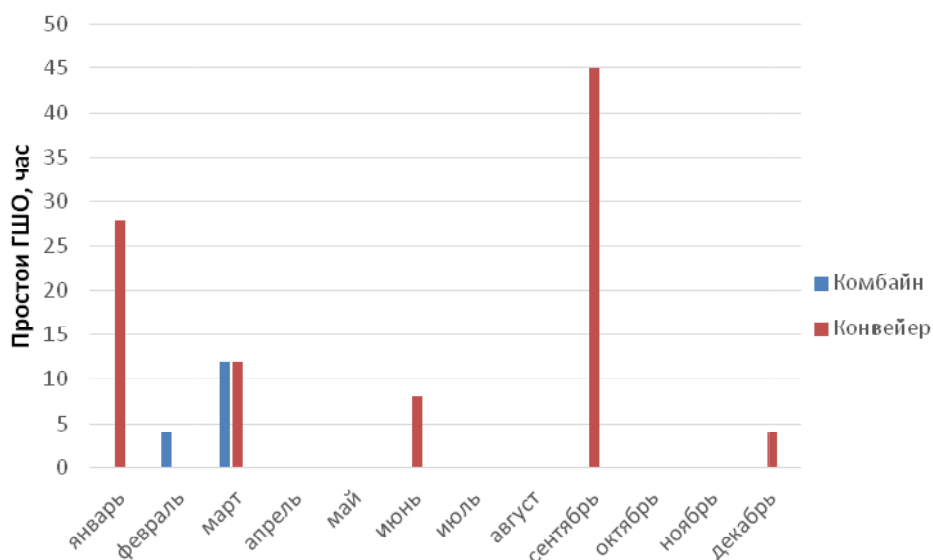


Рисунок 1.10 – Простои шахты «Галдинская-Западная-1»

Безаварийная работа очистного забоя отмечена на шахте «Имени В.Д. Ялевского», пласт 52. Отсутствие простоев в рассматриваемых критериях характеризуется наличием простоев связанных с магистральным транспортом, со стационарным и электромеханическим оборудованием.

1.4 Анализ устойчивости режимов работы очистных забоев

Для оценки степени устойчивости режимов работы машин и оборудования очистного забоя рассмотрена фактическая нагрузка на очистные забои по месяцам за 4 года по шахтам АО «СУЭК-Кузбасс».

На рисунке 1.11 и 1.12 представлены графики производительности ОМК по отработке выемочных участков шахты «Имени С.М. Кирова». В период стабильной работы нагрузка на забой по пласту Болдыревский составляет более 250 тыс. т. в месяц, большая динамика процесса добычи и производительность изменяется от 100 до 450 тыс. т. в месяц. По пласту Поленовский прослеживается стабильная работа при 250 тыс. т. в месяц с динамикой в 2018-2019 г.

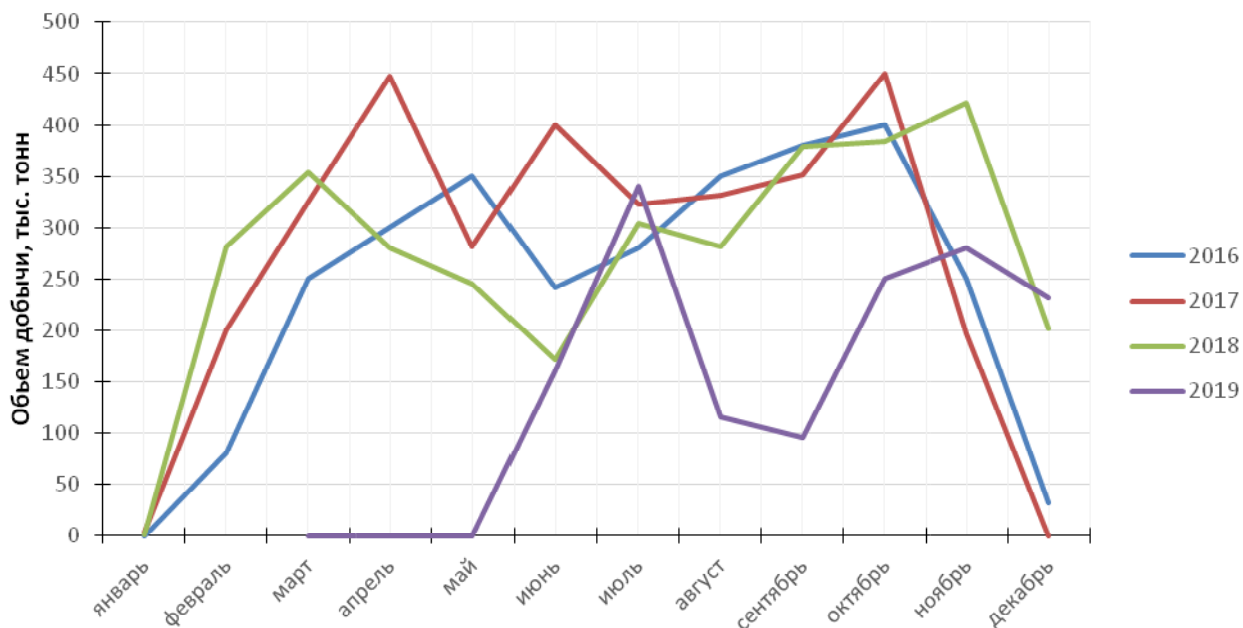


Рисунок 1.11 – Шахта «Имени С.М. Кирова», пласт Болдыревский, механизированная крепь JOY RS 2400/650 / FRS-Clinik 12/26 (2016-2019 гг.)

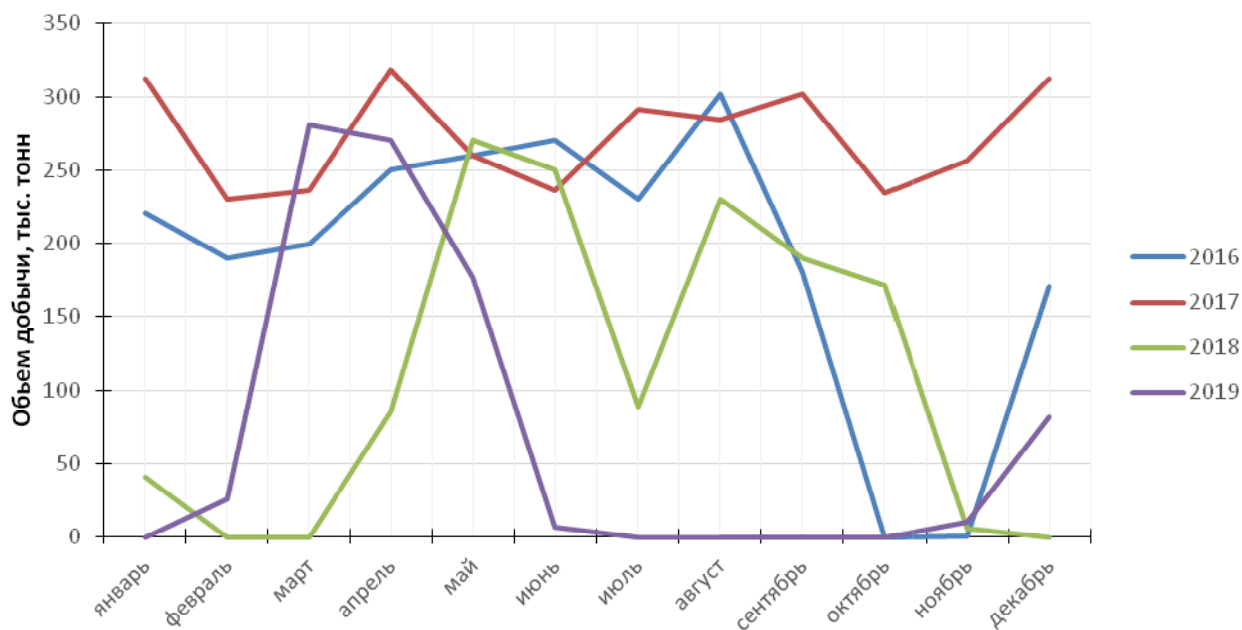


Рисунок 1.12 – Шахта «Имени С.М. Кирова», пласт Поленовский, механизированная крепь JOY RS 2400/650 (2016-2019 гг.)

На рисунке 1.13 и 1.14 представлены графики работы очистных механизированных комплексов по пластам шахты «Имени А.Д. Рубана». В период стабильной работы нагрузка на забой по пласту Надбайкаимский более 250 тыс. т. в месяц, по пласту Польшаевский-2 наблюдается большая динамика процесса добычи и производительность достигает рекордной отметки 1000 тыс. т. в месяц.

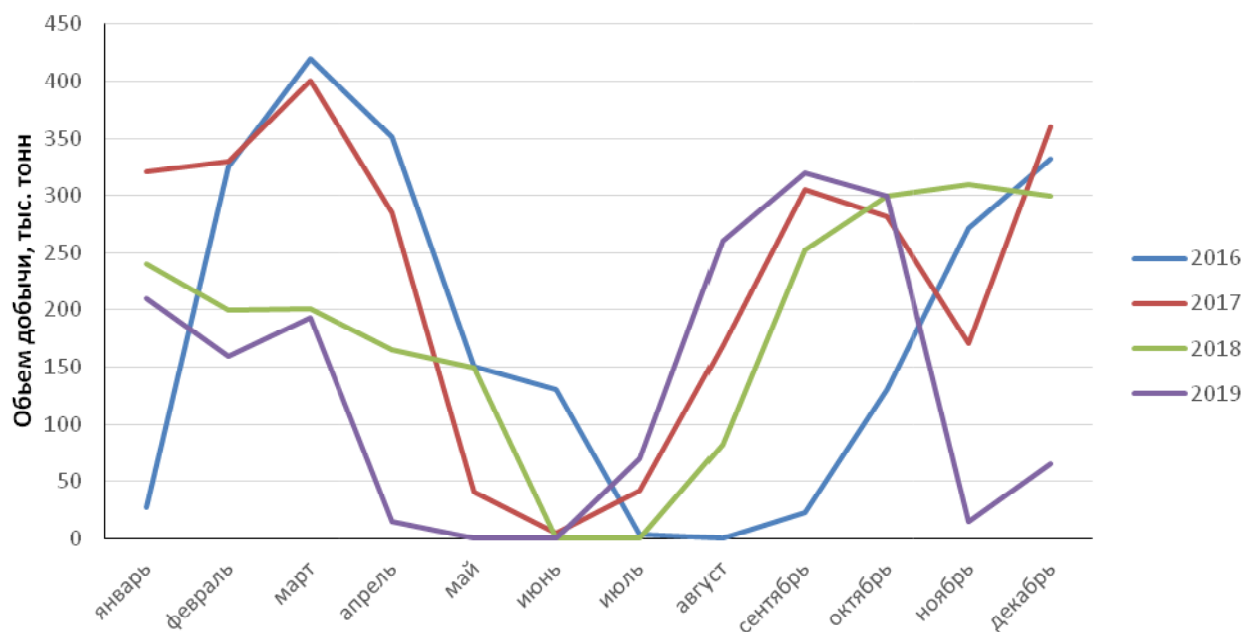


Рисунок 1.13 – Шахта «Имени А.Д. Рубана», пласт Надбайкаимский, механизированная крепь DBT 2550/5500; МКЮ.2Ш-13/27; DBT 2200 /4800 (2016-2019 гг.)

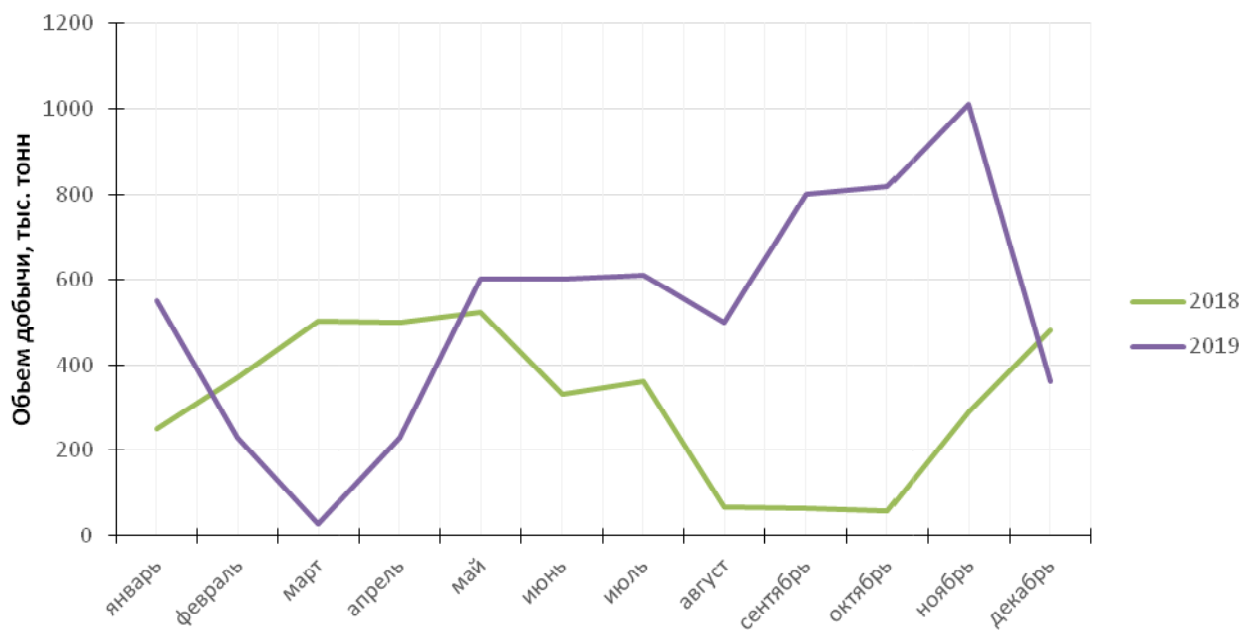


Рисунок 1.14 – Шахта «Имени А.Д. Рубана», участок магистральный, пласт Полысаевский-2, механизированная крепь Тагор-24/50 (2018-2019 гг.)

На рисунке 1.15 представлены графики производительности ОМК при отработке выемочных участков шахты «Комсомолец». Характер изменения производительности отличается динамичностью процесса, неустойчивой работой механизированного комплекса. В периоды стабильной работы нагрузки на рассматриваемые забои достигали 250-300 тыс. т. в месяц.

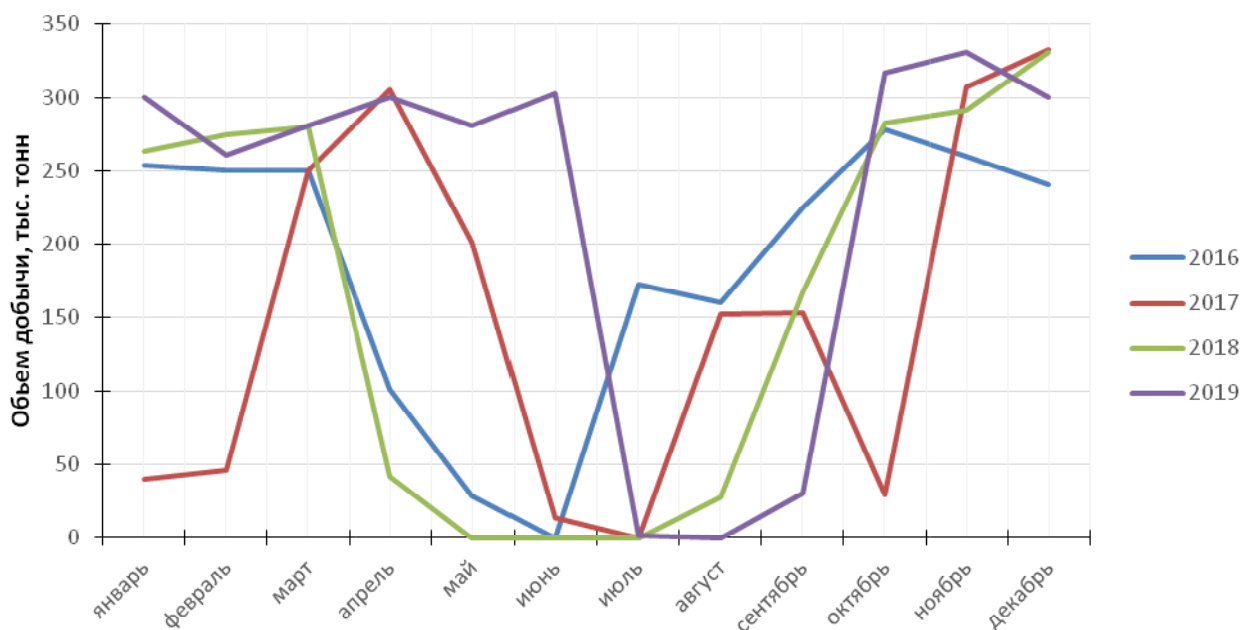


Рисунок 1.15 – Шахта «Комсомолец»,
механизированной крепью FRS Glinik-15/32 (2016-2019 гг.)

На рисунке 1.16 представлены графики нагрузок на очистные забои при отработке выемочных участков шахты «Полысаевская». Характер изменения производительности отличается динамичностью процесса, неустойчивой работой механизированного комплекса. В периоды стабильной работы нагрузки на забои достигали 150-250 тыс. т. в месяц.

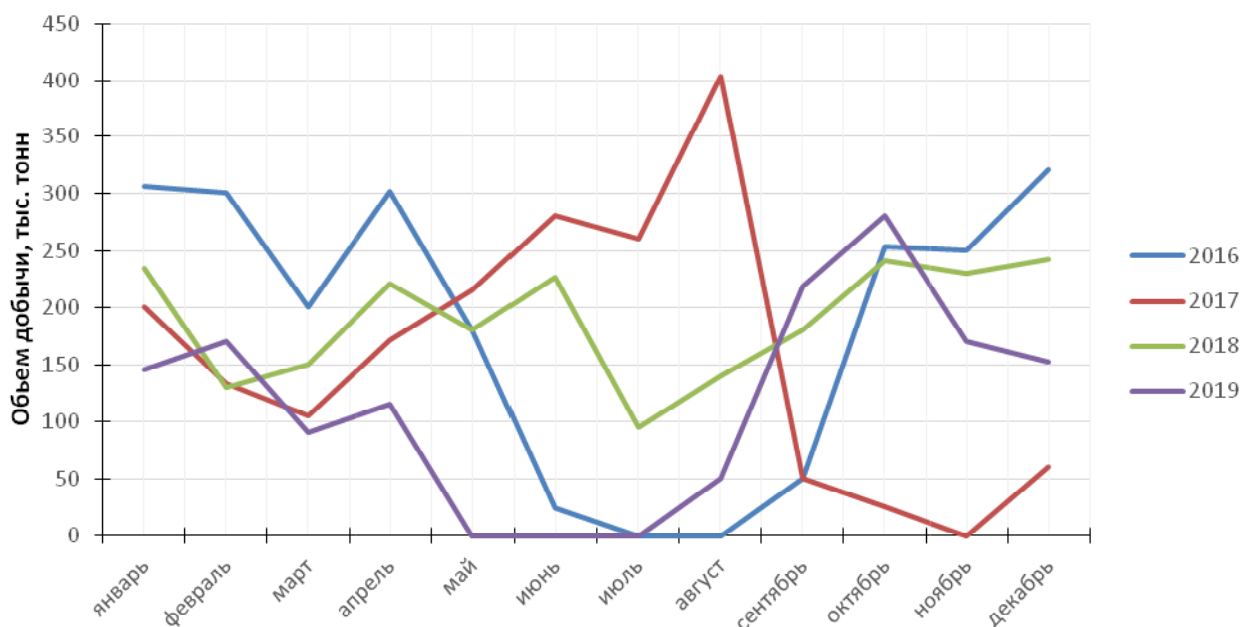


Рисунок 1.16 – Шахта «Полысаевская»,
механизированной крепью FRS Glinik-12-25 (2016-2019 гг.)

Аналогичный случайный характер режимов работы свойственен и другим очистным забоям шахт АО «СУЭК-Кузбасс». Графики производительности отражают довольно высокую динамику нагрузок, то есть существенное отклонение от рациональных режимов работы ОМК.

На рисунке 1.17 приведены графики суммарной нагрузки на очистные забои шахт Ленинск-Кузнецкого района за 2016-2019г.г.

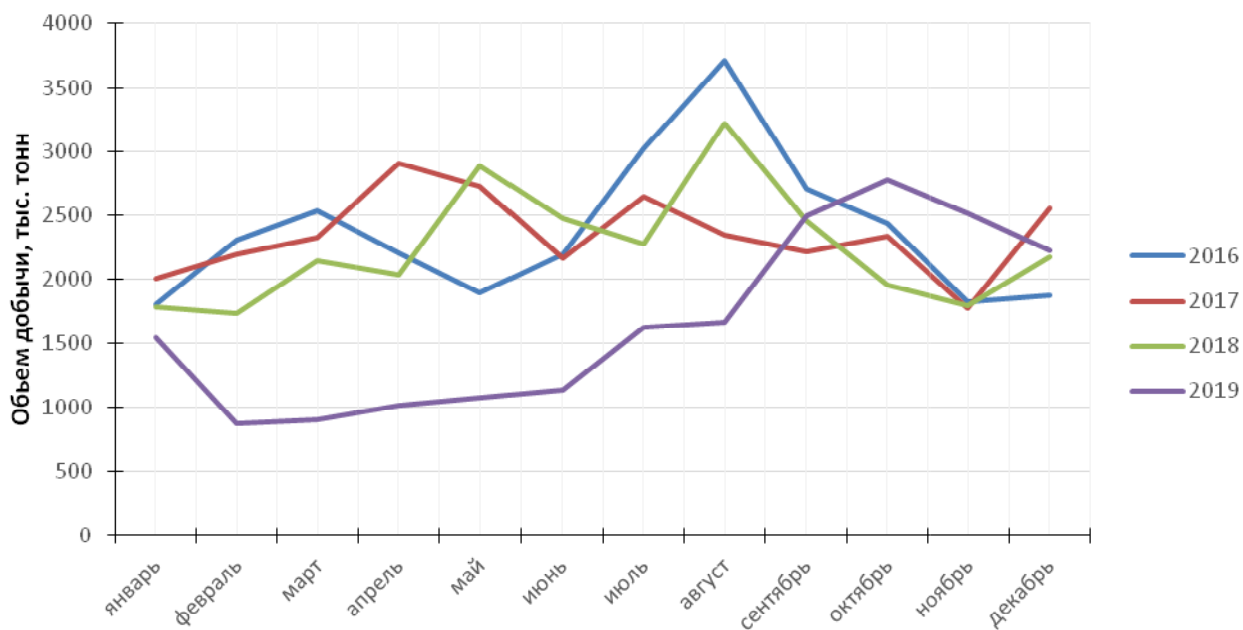


Рисунок 1.17 – Суммарная нагрузка на очистные забои шахт Ленинск-Кузнецкого района (2016-2019 гг.)

Проведенный анализ плотности распределения нагрузок на забой по годам и по разным шахтам (рисунок 1.18) показал, что характер влияния и факторы схожи [114]. Как видно по значениям плотности распределения нагрузок на очистные забои рассматриваемых шахт, под влиянием случайных факторов, четко прослеживается нормальный закон распределения значений производительности. Это подтверждает, что природа ограничивающих факторов и степень их влияния на процесс добычи в КМОЗ на разных шахтах близкие. И рассмотренное выше ограниченное количество факторов (причины простоев) по ГГУ, аварийных простоев в результате отказов оборудования и т.д. не объясняют такую картину. Эти отклонения так же определяют и значительные потери в добыче из-за упущенных возможностей, которые определяются работой комплекса в

рациональных режимах.

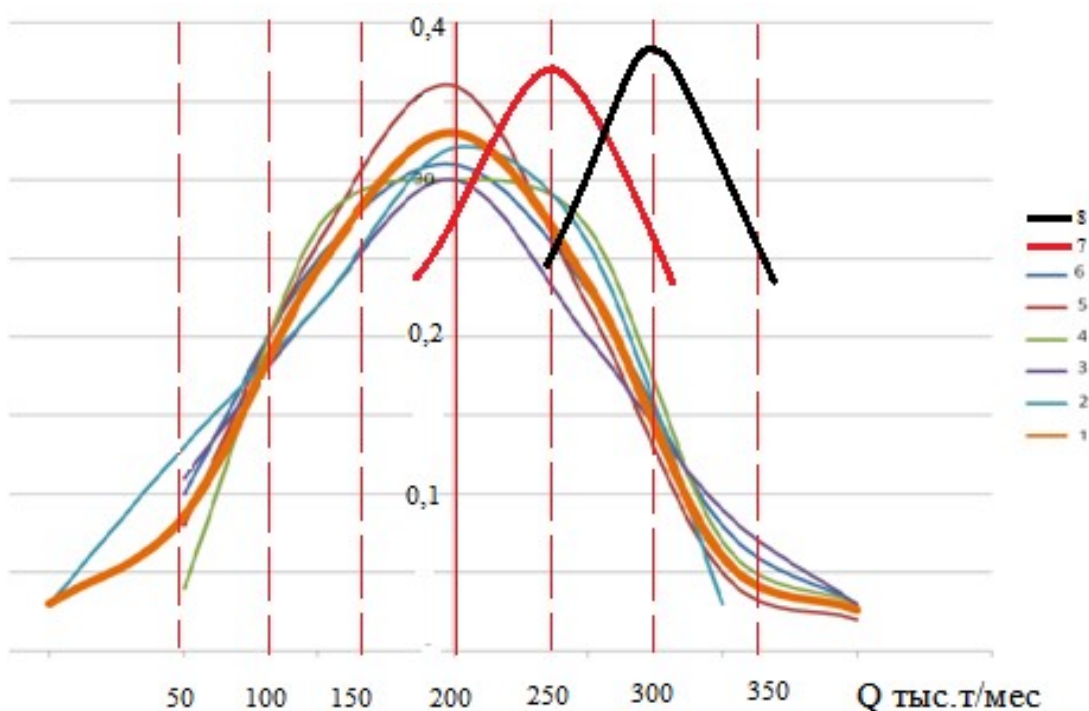


Рисунок 1.18 – Плотности распределения вероятности нагрузок на забой по шахтам: 1 – ш. «Имени С.М. Кирова»; 2 – ш. «Комсомолец»; 3 – ш. «Талдинская-Западная-1»; 4 – ш. «Имени А.Д. Рубана»; 5 – ш. «Талдинская-Западная-2»; 6 – среднее значение за 2009-2015 гг.; 7 и 8 – среднее значение за 2016-2019 гг. ш. «Имени С.М. Кирова», лавы по пластам Поленовский и Болдыревский

При этом, рассматриваемые графики построены по осредненным за месяц значениям. Следовательно, реальная динамика и упущенные возможности в них занижены по сравнению с фактическими. Плотности распределения вероятностей значений относительной нагрузки на КМОЗ по пяти шахтам ОА «СУЭК-Кузбасс» (рисунок 1.18) близкие, можно говорить о их совпадении с малыми различиями в моде (0,30-0,36), в сечении, соответствующем вероятности 0,15, расхождение в пределах погрешности, что говорит об одинаковой значимости основных влияющих факторов на процесс добычи. Явно прослеживается нормальный закон распределения.

Исходя из анализа рисунка 1.18 (кр.1-6) можно заключить, что по влиянию внешних факторов процесс работы ОМК многофакторный, вероятностный. Применение более совершенных и надёжных комплексов приводит к росту нагрузок на забой с 200 до 250 и далее до 300 тыс. т./мес. При этом повышается

вероятность повышения нагрузок с 0,33 до 0,37 и далее до 0,38 и уменьшается диапазон изменений нагрузок на забой.

Рассмотренные выше причины аварийных простоев в результате отказов оборудования, сложных ГГУ и др. не объясняют однозначно уровень неустойчивости режима работы ОМК.

Более объективная картина динамики процесса добычи угля в комплексно-механизированном очистном забое представлена на рисунке 1.19. Фактическая скорость подачи комбайна изменяется в широком диапазоне и с большей частотой перерывов малой длительности. Причины изменчивости скорости подачи, частоты и времени перерывов малой длительности в специальной литературе мало представлены и слабо изучены.

Текущее значение производительности комбайна Q_i равно произведению производительности пласта $Q_o = BH\gamma$ на действительную скорость подачи V_ϕ в данный момент времени. Здесь Q_o – величина постоянная, характеризует пласт (мощность пласта H , плотность угля γ и B – ширина захвата). Поэтому рациональный режим работы ОМК, его потенциальные возможности, однозначно характеризуются технически обоснованной расчетной скоростью подачи ($V_{п.р}$) комбайна, а фактический режим в конкретных условиях – фактической скоростью подачи ($V_{п.ф}$).

Процесс добычи угля в КМОЗ угольных шахт многофакторный, со случайным характером формирования значений его параметров, неустойчивый. В общем случае нагрузка, мощность, потребляемая из сети (рисунок 1.19), производительность комбайна и среднесуточная добыча характеризуются высокой степенью неравномерности и могут быть представлены средними значениями и соответствующими коэффициентами, характеризующими степень их устойчивости.

Значительный резерв в увеличении нагрузки на забой заключается в повышении коэффициента устойчивости процесса добычи угля в рациональном режиме по скорости подачи очистного комбайна, формула (1.1):

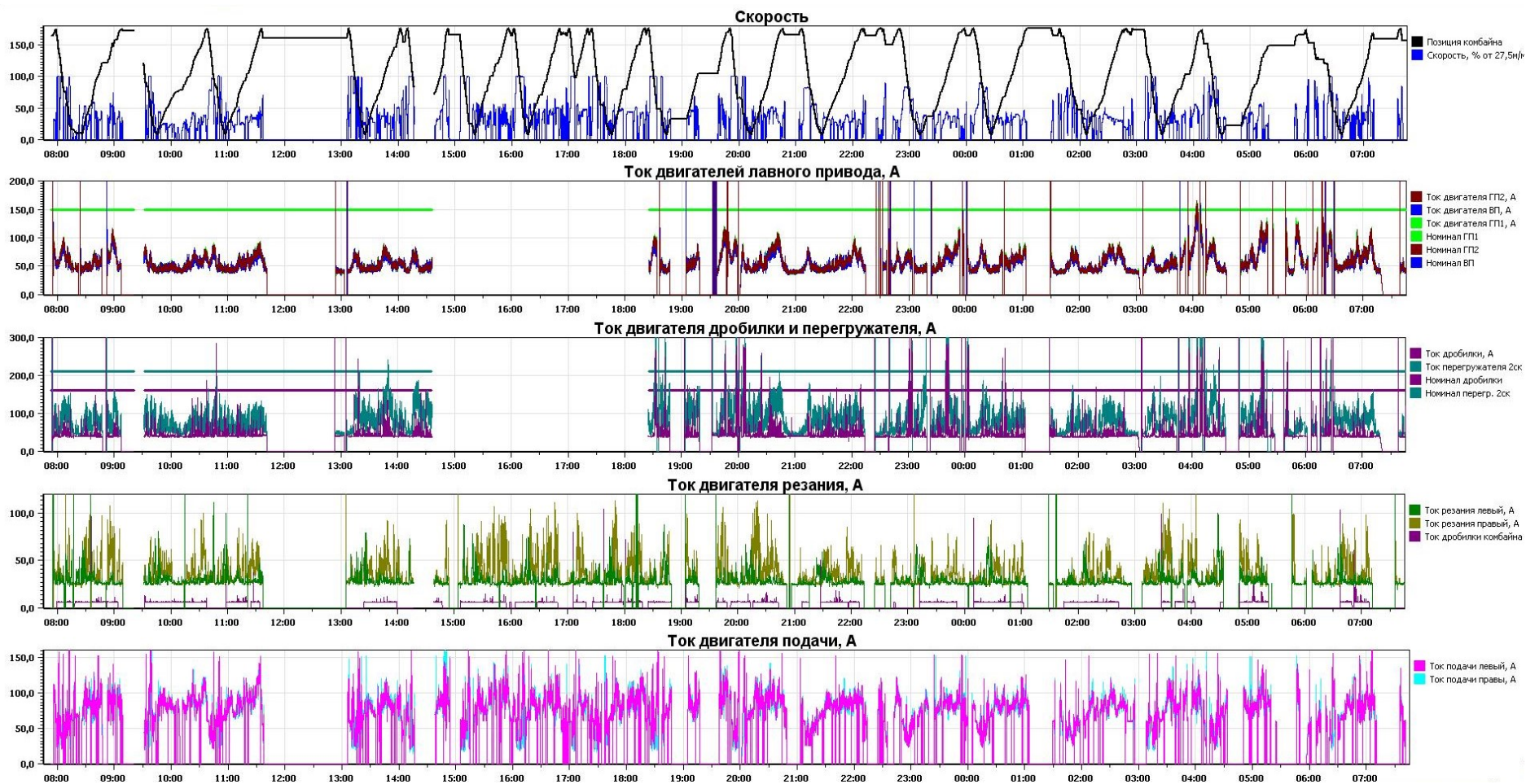


Рисунок 1.19 – Изменение скорости движения комбайна в лаве и нагрузок на приводы машин в КМОЗ

$$K_{y.v} = \frac{V_{п.ф}}{V_{п.р}} \quad (1.1)$$

и коэффициента устойчивости по времени перерывов при работе по выемке, формула (1.2):

$$K_{y.t} = \frac{\sum t_{ni}}{(T_{см} - T_{всп})} \quad (1.2)$$

где $\sum t_{ni}$ – сумма времени кратковременных перерывов в работе комбайна (без отключения привода), ч; $T_{см}$ – продолжительность смены, ч; $T_{всп}$ – сумма времени вспомогательных операций, выполняемых при отключении двигателей, ч.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- основными осложняющими факторами на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» являются высокая газоносность, опасность возникновения газодинамических явлений и горных ударов, наличие геологических нарушений и неустойчивой кровли, расслоение и трещиноватость пород кровли, образование вывалов, что нарушает стабильную работу очистных комплексов по причине их слабой к ним адаптивности;

- потенциал эксплуатируемой техники для очистных работ в КМОЗ используются меньше чем на 50 % от возможного;

- рассматриваемые графики построены по осредненным за месяц значениям. Следовательно, реальная динамика процесса добычи и упущенные возможности по сравнению с технически возможными занижены. Необходимы дальнейшие исследования факторов, влияющих на скорость подачи комбайнов и на формирование процесса добычи и его устойчивость;

- одним из основных направлений повышения устойчивости работы очистных комплексов в рациональных режимах являются повышение их адаптивности и, в первую очередь СМК [40, 89], к изменяющимся ГГУ.

1.5 Анализ развития адаптивных секций механизированной крепи

Изменение ГГУ в КМОЗ в широком диапазоне при отработке выемочных столбов существенно влияет на эффективность и безопасность горных работ.

Механизированные крепи предназначены для обеспечения условий эффективной и безопасной добычи угля в КМОЗ. В связи с этим формулируются требования к секциям МК: к их технологичности, прочности, управляемости, адаптивности. Учитывая широкий диапазон изменчивости внешних условий: горно-геологических, технологических, невозможность оперативной замены МК в очистном забое, естественно возникали задачи адаптировать СМК к этим условиям и к их изменениям. Это касалось вопросов силовых взаимодействий секций крепи с кровлей, прочности элементов секций крепи, их технологических параметров и возможностей, местного и дистанционного управления. По вопросам, касающимся конкретно разработки и исследованиям адаптивности секций механизированных крепей ОМК, публикаций в технической литературе значительно меньше [1-7, 10, 11, 13, 14, 20, 43, 47-51, 57-58, 61, 67, 81, 82, 96, 101, 102].

В решении конкретных задач в области горной техники понятие адаптивности существенно сужается по сравнению с приведенным в большом энциклопедическом политехническом словаре [65]. В реальных условиях процесс функционирования КМОЗ относится к сложным объектам, содержит детерминированные и случайные составляющие. Причем геометрические параметры этой системы изменяются в пространстве и во времени [96].

Вопросам адаптивности СМК посвящена работа Клишина В.И. [50], в которой отмечено, что средством адаптации секций механизированной крепи к изменяемому ГГУ является систем автоматического управления крепью (САУК). Основная цель применения САУК – снижение производственного риска и риска «человеческого фактора».

Авторы Рогов Е.И., Грицко Г.И. и Вылегжанин В.Н. предложили комплексный критерий адаптации к условиям залегания пласта [82].

Большой вклад в развитие понятий адаптации, применительно секций механизированных крепей, внесли Фролов Б.А., Клишин В.И., Верин В.С. В своей работе [101] авторы выделяют условно 3 вида адаптивности: динамическую, контактную и кинематическую.

Динамическая адаптивность механизированной крепи преимущественно зависит от её гидравлических стоек. Динамическую адаптивность СМК при взаимодействии с кровлей предложено выражать через отношение критической скорости деформации гидростоек СМК к её фактическому значению. Предел критических скоростей деформации системы крепь – породы, определяется пропускной способностью и быстродействием предохранительных устройств гидравлических стоек и в тоже время зависит от прочностных их характеристик.

Наибольшую угрозу для всех типов крепей представляет динамическая нагрузка, создаваемая массивом горных пород. Огромное влияние на безопасность горных работ, крепи кровли и всей системы в целом, оказывает предохранительный клапан. Роль предохранительного клапана и характеристики его работы для обеспечения эксплуатационной безопасности гидросистемы гидравлической стойки и всей СМК имеют важное значение. Гидравлическая система и система защиты гидростоек от перегрузки являются ключевыми компонентами.

Современные конструкции предохранительных клапанов позволяют открывать и закрывать поток за очень короткое время, сохраняя при этом очень высокий расход. Предохранительный клапан, как правило, встроен в гидравлическую систему гидростойки. В настоящее время широко используемая гидравлическая система управления стойкой механизированной крепи оснащена одним блоком управления с одним обратным клапаном (рисунок 1.20) [107]. Этот клапан закрывает отток жидкости из поршневой полости первой ступени гидравлической стойки.

В такой гидравлической системе вторая ступень гидростойки не защищена. Гидравлическая жидкость может свободно вытекать из неё. В случае внешней или внутренней утечки эта жидкость может вытекать через дренажную трубу или канал без получения необходимого давления.

Можно сделать вывод, что эта система не защищает и не обеспечивает возможность регулирования давления в поршневой и штоковой полостях.

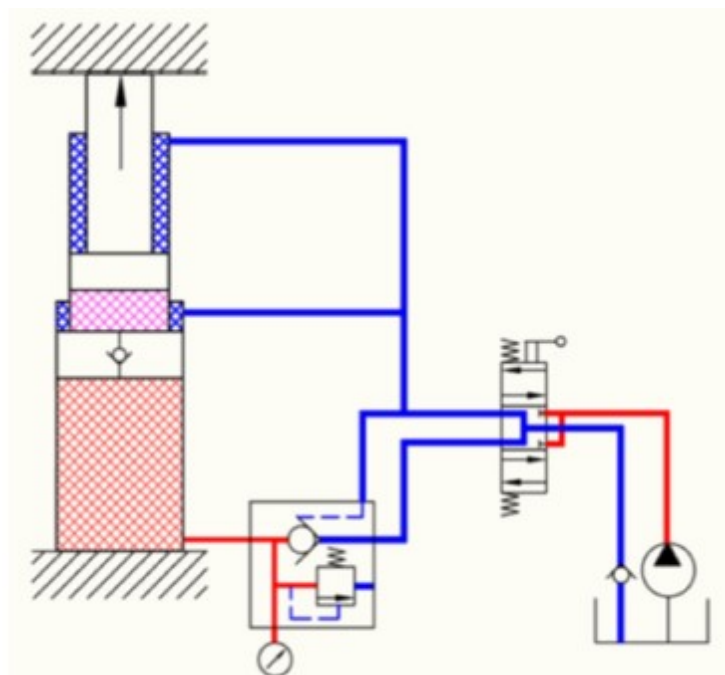


Рисунок 1.20 – Система защиты от динамических ударных нагрузок

В работе [107] авторы предлагают систему защиты, оснащенную клапанным блоком, который имеет два обратных клапана (рисунок 1.21). Принцип её работы заключается в том, что выход жидкости из поршневой и штоковой полостей закрывается с помощью двух независимых обратных клапанов. В то же время использование этих клапанов не ограничивает функциональность гидравлической стойки и всей СМК. Гидравлическая стойка, оснащенная таким клапанным блоком, выполняет ту же функцию в СМК, что и стойка, оснащенная стандартной гидравлической системой (рисунок 1.20).

Несомненным преимуществом системы, показанной на рисунок 1.21 является то, что она поддерживает высокое давление в штоковой полости. В случае внутренней утечки в гидростойке, например, из-за давлений горной массы, давление жидкости в поршневой полости увеличивается, заставляя ее течь через поршневое уплотнение с отверстием в пространство над поршнем, из которого она не может вытекать в магистраль. Второй обратный клапан поддерживает высокое давление жидкости в обеих камерах гидростойки.

Переливной клапан согласован с пространством над поршнем и должен быть установлен на давление, не превышающее рабочее давление в линии, соединяющей клапан с блоком и с гидростойкой.

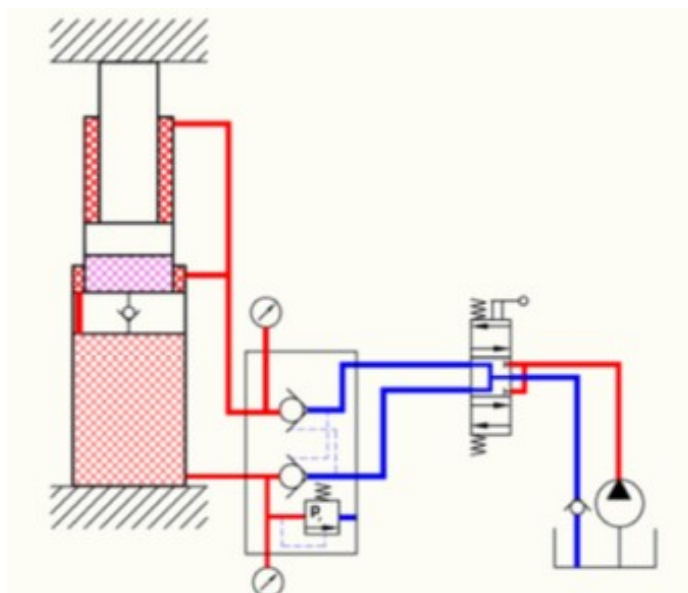


Рисунок 1.21 – Система защиты от динамических ударных нагрузок с использованием блока с двойным обратным клапаном

Из-за того, что отток жидкости из надпоршневого пространства перекрывается обратным клапаном, дальнейший поток жидкости через гидрораспределитель в сливную магистраль невозможен. Поэтому давление в надпоршневом пространстве увеличивается, позволяя давлению в подпоршневой полости увеличиваться до значения рабочего давления, ограниченного установкой переливного клапана.

Ранее предпринимались множество попыток снизить вредное воздействие резкой осадки кровли. Во ВНИМИ предлагали подключить к поршневой полости гидравлической стойки гидроаккумулятор шарового баллонного типа [101]. В ИГД А.А. Скочинского были проведены исследования по защитным устройствам мембранного типа [101]. Предохранительную мембрану устанавливали между поршневой полостью и герметично соединенным с ней дополнительным сосудом. Однако, согласно ряду исследований, пиковое давление в гидростойке с такими предохранительными устройствами возникает еще до его срабатывания, и оно не спасает гидравлическую стойку от разрушения.

Известен ряд зарубежных работ, которые в своей основе имели аварийный предохранительный клапан с большим расходом, но при этом в силу инерционности срабатывания предохранительных устройств у всех них имел

место быть «заброс» давления в поршневой полости ГС.

Однако, вследствие инерционности применяемых аварийных устройств защиты данная проблема не может быть полностью решена. Кроме того, динамическая адаптивность секции механизированной крепи не входит в задачи исследований.

Контактная адаптивность характеризует взаимодействие секции механизированной крепи с породами непосредственной кровли. Её принято оценивать коэффициентом контактной адаптивности [101], который показывает возможность СМК не допускать разрушений и вывалов из непосредственной кровли в призабойное пространство. Контактная адаптивность секции механизированной крепи характеризует площадь её контакта с поддерживаемой кровлей. К устройствам контактной адаптивности следует отнести устройства, позволяющие обеспечить более плотное прилегание перекрытия секции к породам кровли. Такие устройства подробно описаны в ряде работ [1-7, 62, 81, 103]. Их можно разделить на четыре отдельные группы: различные виды и типы козырьков; пневмобаллонные крепи; мягкие оболочки; безразгрузочные крепи.

Известны различные варианты пневмобаллонной крепи [1, 2, 4, 5, 7]. Например, изобретение [1] предназначено для лучшей приспособляемости крепи к неровной поверхности почвы и кровли (рисунок 1.22). Это возможно благодаря тому, что нижняя и верхняя опоры крепи между собой соединены сильфоном. При начальном распоре верхняя и нижняя опоры располагаются относительно друг друга под углом, определяющим величину неровности почвы и кровли пласта. Ввиду отсутствия жесткой связи угол может быть любым.

Пневматические крепи из мягких оболочек – еще один из типов таких устройств, которые увеличивают эффективную площадь контакта секции крепи с вмещающими породами. Известны разработки Рахутина В.С. и Федоренко Э.А. [81] по использованию различных вариантов мягких оболочек подушкообразной формы, изготавливаемых из резинокорда способом вулканизации. Однако все эти наработки не нашли применения в реальном

производстве.

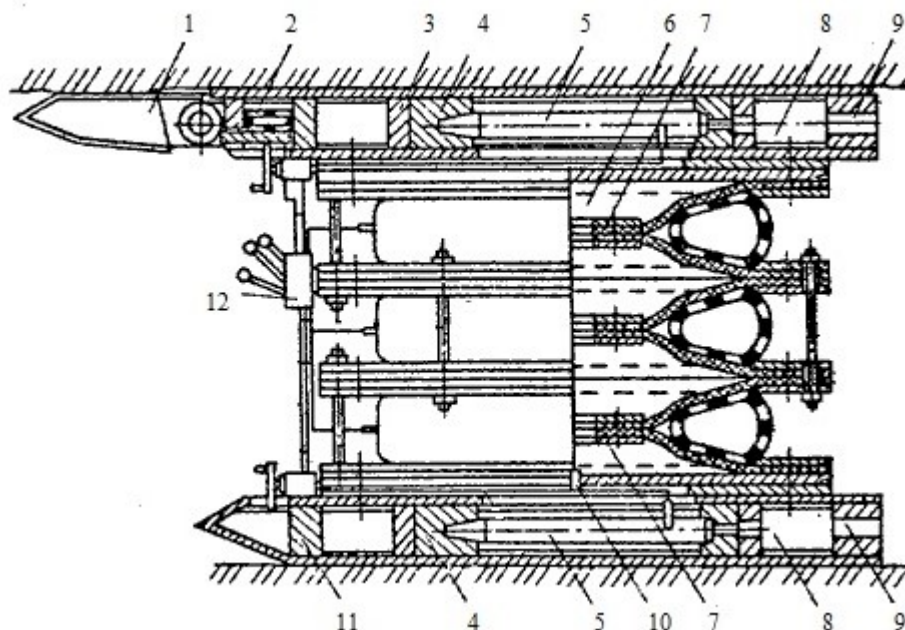


Рисунок 1.22 – Пневмобаллонная крепь: 1 – козырек; 2 – баллон пневматический; 3 – перекрытие; 4 – обойма поворотная; 5 – движитель пневматический; 6 – сильфон; 7 – кольцо; 8 – каналы; 9 – камеры; 10 – патрубок; 11 – основание; 12 – блок управления

Кинематическая адаптивность СМК заключается в оптимальном положении её кинематических элементов посредством управляемости при опускании пород кровли.

Под управляемостью механизированных крепей следует понимать в первую очередь их свойство к управлению движением каждого звена, входящего в крепь в заданной системе отсчета. При этом движение рассматривается под действием управляющих и внешних возмущающих сил в двух состояниях каждой секции крепи: секция расперта для поддержания рабочего пространства и управления кровлей; с секции частично или полностью снят распор и осуществляется её передвижка к забою.

Условия передвижения современных крепей характеризуется несимметричностью распределения сил трения по поддерживающим и ограждающим частям секции крепи, а также по основаниям относительно базы комплекса (конвейера). Это создает условия не только для сохранения полученных при нагружении смещений звеньев, но и для их увеличения.

Опыт эксплуатации механизированных комплексов показывает, что управление гидрофицированными крепями – довольно трудоёмкий процесс,

связанный с большим числом дополнительных операций по внесению поправок в положение звеньев.

Кинематическая адаптивность направлена на достижение рационального положения СМК в пространстве очистного забоя и может быть разделена на две части [101]:

1. Структурный синтез крепи на этапе её проектирования для конкретных ГГУ, с заданными параметрами случайного (стохастического) процесса. Необходимо получение такой траектории движения звеньев крепи, когда ошибки положения её в контурах пласта и столба будут минимальны.

2. Оценка возможности применения механизированной крепи данной структуры в рассматриваемых условиях. Это заключается в определении критерия качества функционирования системы и ее подсистем в конкретных ГГУ и ГГУ с последующим сравнением.

Вопросы кинематической адаптации рассмотрены в технической литературе [26, 47, 53, 54, 108, 110].

В работе [47] предложена механизированная крепь, адаптивная к внешним нагрузкам, что достигается регистрацией равнодействующей горного давления и корректировкой положения силовых элементов крепи в соответствие с ним. Отклонения стойки в зависимости от действия нагрузки на крепь через перекрытие (сил горного давления). В момент появления рассогласования изменяется положение точки приложения нагрузки по кровле.

Таким образом, необходимо отметить существенный объём работ в области адаптации секций механизированной крепи.

1.6 Выводы по главе 1

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Основное влияние на объем и неравномерность добычи угля на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» оказывают изменяющиеся по мере отработки выемочных столбов ГГУ;

2. Недостаточная адаптивность применяемых современных высоко энер-

говооружённых ОМК к изменяющимся в широком диапазоне по мере отработки запасов ГГУ и ГТУ приводит к тому, что потенциал эксплуатируемой техники для очистных работ в КМОЗ используются меньше чем на 50% от возможного;

3. Существенная роль, в плане общей адаптации ОМК к условиям эксплуатации, принадлежит именно механизированной крепи, её рабочей характеристике и энергоэффективности.

Цель и задачи исследования

Целью исследований является обоснование структуры и параметров энергоэффективных, кинематически и контактно адаптивных секций механизированной крепи ОМК с безимпульсным регулированием горного давления для реализации схемных и конструктивных технических решений, обеспечивающих использование энергии горного давления, уменьшение диапазона изменчивости сил сопротивления гидростоек опусканию пород кровли в режиме управления горным давлением и при выполнении циклически повторяющихся вспомогательных операций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить особенности развития щитовых секции механизированной крепи и их режимов работы.

2. Обосновать схемные и конструктивные технические решения блока БРС гидростоек СМК опусканию пород кровли в очистном забое.

3. Разработать структуру и обосновать параметры энергоэффективных, адаптивных к ГГУ СМК, обеспечивающих уменьшение диапазона изменчивости сил их сопротивления опусканию пород кровли при выполнении ими последовательных операций циклов в КМОЗ.

4. Провести экспериментальные исследования процесса функционирования опытного образца блока БРС на нагрузочном стенде ООО «Завод Красный Октябрь» и в шахтных условиях.

5. Установить зависимость количества энергии, отводимой в гидросистему ОМК в процессе управления горным давлением в КМОЗ при использовании блока БРС, от значений параметров СМК, ОМК и интенсивности процесса выемки.

ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ, АДАПТИВНОЙ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

2.1 Особенности объекта исследований

Объект исследования (ОИ) – это процесс циклического взаимодействия СМК с непосредственной кровлей в КМОЗ угольных шахт. Гидрофицированная механизированная крепь (МК) предназначена для управления горным давлением, поддержания кровли, ограждения призабойного пространства в КМОЗ от просыпей породы из кровли и со стороны завальной, то есть для поддержания призабойного пространства в состоянии, обеспечивающим безопасный и эффективный рабочий процесс в КМОЗ [36].

На характер циклического взаимодействия гидростоек СМК с породами непосредственной кровли очистной выработки оказывают влияние внешние и внутренние факторы (рисунок 2.1).

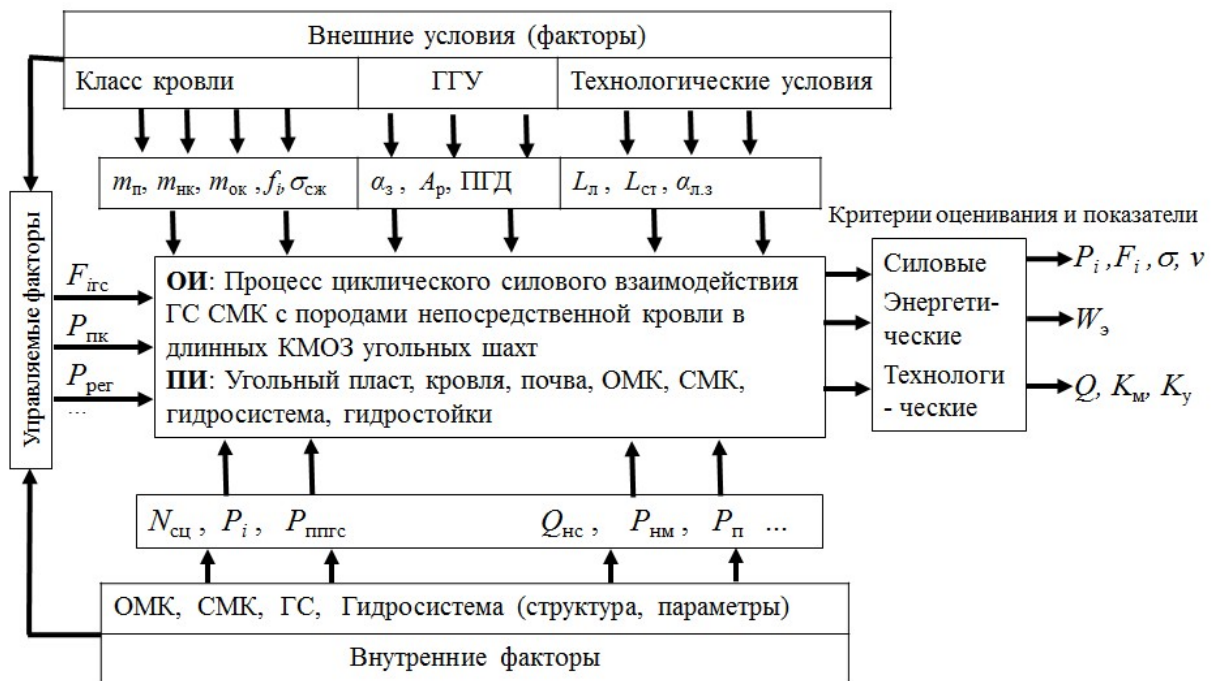


Рисунок 2.1 – Объект исследования

К внешним факторам относят ГГУ, структуру и прочностные свойства вмещающих пород, технологические условия. Свойства горных пород

обусловлены их составом и строением [8, 12, 15, 17, 18, 25, 42, 88]. Проявление горного давления и устойчивость очистных выработок в значительной степени зависит от плотностных, водно-физических, прочностных и деформационных свойств пород. Значения параметров, характеризующих эти факторы, изменяются как системно, по средним значениям, как тенденции, так и случайно [19], в конкретных проявлениях. На их значения невозможно активно влиять. Поэтому исследуемый процесс относится к весьма сложным, многофакторным, а по совокупности случайных и детерминированных составляющих – к комплексным.

Внешние условия (факторы) можно разделить на группы:

1. Класс кровли, почвы, параметрами которой являются мощность пласта, мощность непосредственной кровли, мощность основной кровли, коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова, предел прочности при сжатии, трещиноватость и слоистость вмещающих пород, а также газодинамические явления. К наиболее опасным газодинамическим явлениям относятся внезапные выбросы угля и газа, породы и газа, внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением. Однако эти исключительные по особенностям явления, имеющие важное значение, заслуживают особого внимания, специальных методов исследования и в данной работе не рассматриваются.

2. ГГУ залегания угольных пластов, которые характеризуются углом падения пласта (забоя), сопротивляемостью пласта (угля) резанию, зонами ПГД [44], зонами геологических нарушений и т.д.

Чем полнее и точнее полученные исходные данные, тем более вероятнее эффективная работа комплекса в данных условиях.

3. Технологические условия выемки. К технологическим условиям относятся параметры системы разработки [98]: длина лавы, способ управления кровлей, параметры штреков, применяемой техники и регулируемых потоков систем транспортирования угля, оборудования и людей.

Большое влияние на исследуемый процесс оказывают внутренние факторы (рисунок 2.1), к которым следует отнести структуру и режимы работы машин и

оборудования ОМК, входящих в комплекс: секций механизированной крепи, выемочной машины, конвейеров, систем и оборудования (электрических, гидравлических, орошения, управления, сигнализации и связи) [9, 38, 39, 112, 86, 111].

Изменяющиеся внешние условия, нестабильные режимы работы машин, влияние человеческого фактора, множество взаимодействующих систем, перемещающийся КМОЗ по мере ведения очистных работ вносят в технологический процесс существенно значимую случайную составляющую.

Таким образом, ОИ – процесс циклического силового взаимодействия гидростоек секций крепи с медленно опускающимися породами непосредственной кровли в КМОЗ является: по характеру взаимодействия – циклический; по количеству входных факторов – многофакторный; по изменчивости параметров, характеризующих процесс взаимодействия в изменяющихся ГГУ – комплексный, содержащий существенно значимые детерминированную и случайную составляющие.

Поэтому для получения достоверных результатов исследований в соответствии с формулированной целью применен комплексный метод исследований, который включает анализ и обобщение результатов известных теоретических исследований, анализ производственного опыта применения очистных механизированных комплексов, теоретические и экспериментальные заводские и шахтные исследования, а также синтез новых схемных и конструктивных технических решений.

Актуальным направлением развития и совершенствования ОМК для пластов средней мощности является повышение устойчивости режимов работы СМК приданием им функций энергоэффективности, а также адаптивности к изменяющемуся горному давлению и к конвергенции боковых пород, которые будут способствовать снижению статического и динамического «топтаний» пород непосредственной кровли в результате силовых воздействий секций механизированной крепи при выполнении ими операций цикла по мере подвигания очистного забоя.

Для обоснования параметров энергоэффективных, адаптивных к переменным условиям секций крепи и режима их работы необходимо провести исследование процесса циклических силовых взаимодействий секций крепи и пород непосредственной кровли в КМОЗ и найти пути снижения негативных эффектов «топтанья» кровли, разрушения и высыпания пород непосредственной кровли в призабойное пространство. Как отмечал в своем исследовании [13] Антипов И.В. под статическим «топтанием» кровли понимается состояние, когда: «...система «крепь – породный массив» не приходит в состояние равновесия даже при отсутствии внешних воздействий, каким является перемещение крепи». Под энергоэффективной крепью понимается крепь, в которой снижено потребление энергии из сети и которая обеспечивает рекуперацию части энергии горного давления в гидросистему ОМК.

При передвижке крепи наблюдается динамическое «топтанье кровли», которое обусловлено снятием распора с секций крепи при их перемещении к забою. Это оказывает отрицательное воздействие на нижний слой пород непосредственной кровли».

Целью исследования является выявление закономерностей силовых взаимодействий гидростоек секций механизированной крепи с непосредственной кровлей, необходимых для обоснования принимаемых схемных и конструктивных технических решений, обеспечивающих передачу части энергии смещения пород кровли в гидросистему механизированного комплекса, уменьшение диапазона изменчивости статических и динамических сил их взаимодействия в каждом цикле операций и, следовательно, снижения интенсивности процесса разрушения и вывалов пород непосредственной кровли в межсекционное пространство.

2.2 Особенности процесса развития щитовых секций крепи

Основные проблемы подземной добычи полезных ископаемых всегда были связаны в большей степени с обеспечением условий для безопасного осуществления процессов выемки и транспортировки полезного ископаемого, а не

с собственно его выемкой. Развитие технологии подземной добычи угля, увеличение осваиваемого объема пространства в горном массиве сопровождалось изменением структуры и параметров средств механизации горных работ. Закономерности изменений секций механизированной крепи целесообразно рассматривать с учетом этапов развития средств механизации очистных работ в угледобывающей отрасли, в которой наиболее четко они прослеживаются [105].

Из множества известных типов СМК для пологих пластов, средней мощности только щитовые крепи получили широкое распространение и продолжают совершенствоваться. Поэтому рассмотрим особенности развития именно щитовых СМК.

За исходные значения, характеризующие состояние крепи очистных забоев, приняты значения параметров деревянной индивидуальной, собираемой по месту установки, крепи по схеме «две стойки под распил» (таблица 2.1, поз. 1). Как легко представить – это рамная крепь из трех структурных элементов, для обустройства которой необходимо выполнить $N_{o.ц} = 16$ операций: доставка двух стоек и распила (3), измерение высоты по месту установки стоек (2), опилование стоек (2), установка двух стоек с распилом (3), поддержание кровли и управления горным давлением (2), разгрузка (подрубка) стоек (2). Деревянная индивидуальная одноразовая сборная крепь (ДИОС) (таблица 2.1) выполняет поддержание кровли. Остальные операции с крепью выполняют горнорабочие очистного забоя. На каждый структурный элемент крепи приходится $K_{y.э} = 5,3$ операции, коэффициент механизации операции $K_m = 0,06$. Аналогичным способом получены все значения для секций крепи и по другим позициям (таблица 2.1). Трудоемкость процессов крепления и управления кровлей составляла 70–80 % от всего объема работ в очистном забое. Такое положение принято в анализе за исходную (нулевую) позицию по типу и состоянию секций крепи [56].

К первому этапу развития средств крепления и управления кровлей в очистных забоях следует отнести создание и применение металлических и гидравлических стоек в очистном забое (таблица 2.1, позиции 2 и 3). Удельная нагрузка (по операциям) на структурный элемент составила $K_{y.э} = 4,0$, по

Таблица 2.1 – Этапы эволюции секций механизированной крепи

Годы	Этап	Тип: стойки, секции	Наименование, особенности	Кол. структурных элементов			Количество операций, выполняемых:			К _{у.э}	К _м
				Всего N _э	Основн N _{о.э}	Вспомог. N _{вэ}	За цикл N _{о.ц}	Секцией N _{о.с}	ГРОЗ N _{о.г}		
-	0	ДИОС	Деревянная, индивидуальная, сборная, одноразовая, две стойки под распил	3	3	0	16	1	15	5,3	0,06
-	1	МИС	Металлическая, индивидуальная, сборная: две стойки под металлический верхняк	3	3	0	12	2	10	4,0	0,15
-		ГИС	Гидравлическая, индивидуальная, сборная: две стойки под металлический верхняк	3	3	0	12	2	10	4,0	0,17
1935	2	Сц.ЩГЖ1	Секция щитовая «Журавлева» с двумя стойками	5	3	2	8	3	5	1,6	0,37
1940		Сц.ЩГЖ2	Секция щитовая «Журавлева» с двумя стойками и двумя гидродомкратами	5	3	2	7	3	4	1,4	0,42
1948		Сц.Щ48	Секция щитовая «Щекинская 48»	7	4	3	8	4	4	1,1	0,50
1956	3	Сц. «Мосбасс»	Секция щитовая механизированная с гидродомкратом	5	4	1	7	4	3	1,4	0,57
1957		Сц.Щ57	Секция щитовая с гидростойкой и с базой (конвейером)	4	3	1	5	3	2	1,2	0,60
1958-1965		ОМКТ, АК М87, Щ58,	Семейство секций с гидростойками и домкратами передвижки	4-6	3-4	1-2	5	3	2	1,0	0,60
2000-2018	4	Joi RS, DBT, Tagor, МКЮ. 2Щ-13/27	Современные щитовые секции крепи с гидростойками, гидродомкратами и гидропатронами	7-9	3	4-6	6-7	6-7	-	0,9	1,00
н.в.	5		Секции щитовые, адаптивные	8-11	4	4-7	7-10	7-10	-	0,9	1,00
Тенденция				возраст.		возраст.		возраст.			

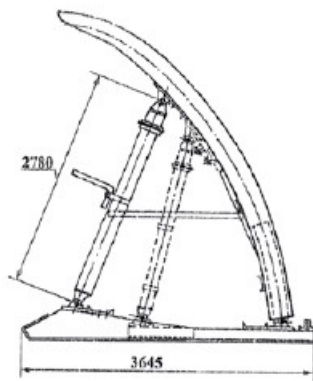
н.в. – настоящее время

сравнению с исходной 5,3, а коэффициент $K_m = 0,15$ и $0,17$, то есть увеличился вдвое по сравнению с исходной позицией. Это привело к снижению трудозатрат на доставку крепежного материала и к существенному снижению расхода лесоматериалов. На 40 % уменьшилось количество операций по возведению крепи в очистном забое, что существенно повысило эффективность процессов крепления и управления кровлей. В частности, это связано с принудительным распором металлических и гидравлических стоек и функцией управления горным давлением. Стала очевидной возможность и необходимость создания секций крепи в сборе, как отдельной самостоятельной машины для выполнения всех основных функций по креплению кровли и управлению горным давлением и всех вспомогательных операций [85]. Поэтому создание и апробирование в реальных условиях стоек групп МИС и ГИС (таблица 2.2) приняты за первый этап развития крепи для очистных забоев [40, 68].

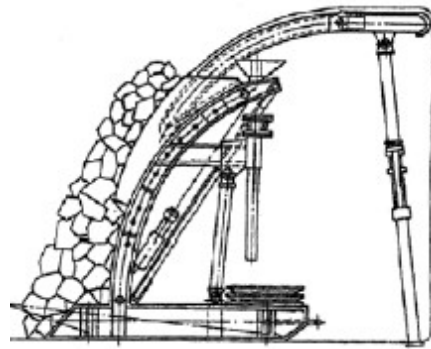
Второй этап развития крепи начался с разрозненных попыток создания секции как единой конструкции в сборе. Многие изобретатели, конструкторы, ученые оставили след в истории развития средств крепления и управления кровлей в очистных забоях своими патентами, проектами, статьями и конструкторскими разработками. Но первая разработка секции крепи, известная как «Галерея Журавлева» (рисунок 2.2, а), была разработана, изготовлена и испытана лауреатом Сталинской премии И.А. Журавлевым в далеких 1935-1936 годах на угольных рудниках г. Сулюкты в Киргизии (Средняя Азия). Затем, спустя 10 лет была разработана и испытана секция щитовой крепи Щ48 (рисунок 2.2, б).

Результаты этих работ подтвердили техническую возможность создания секции механизированной крепи, как структурной единицы средств механизации очистного забоя, чему способствовала разработка и внедрение узкозахватных комбайнов. Идея овладела специалистами. Этот период поиска новых технических решений СМК [41] и реализации узкозахватной технологии с безразборным цельнопередвижным конвейером по своей значимости отнесен ко второму этапу развития СМК.

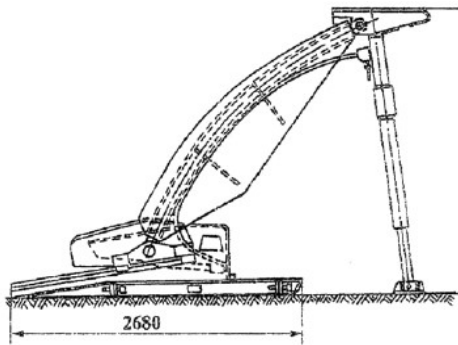
а)



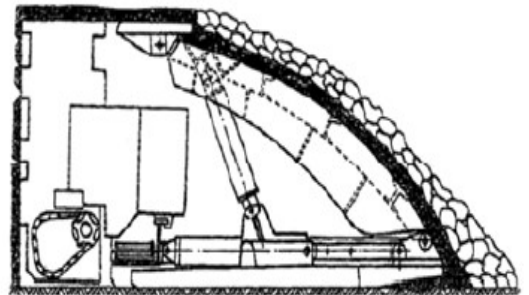
б)



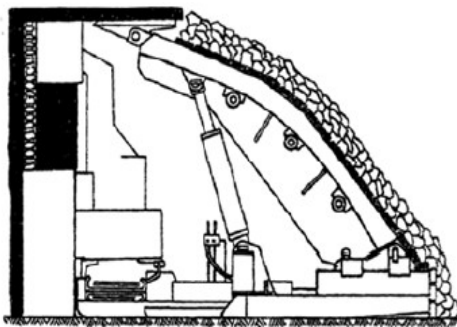
в)



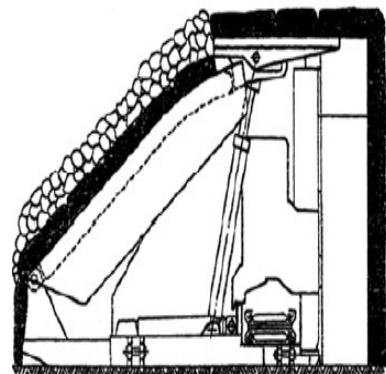
г)



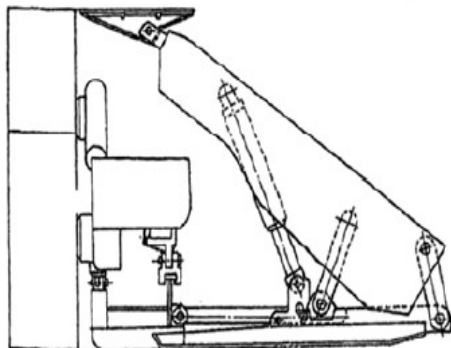
д)



е)



ж)



з)

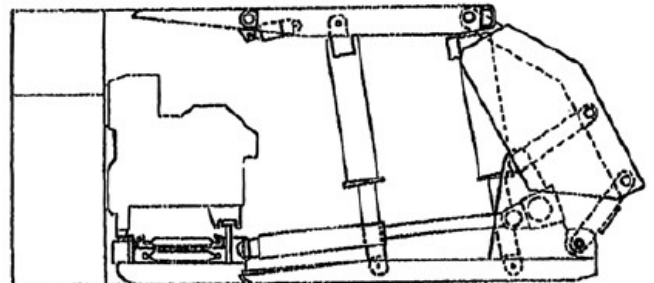


Рисунок 2.2 – Эволюционное развитие щитовых секций механизированной крепи:
 а – секция крепи И.А. Журавлева; б – секция крепи Щ48; в – секции крепи «Мосбасс»;
 г – секции крепи Щ57; д – секции крепи ОМК; е – секции крепи АК;
 ж – секции крепи Щ58к; з – секции крепи МК

Наступил третий этап развития. К разработке и созданию гидрофицированных СМК подключились коллективы исследователей, конструкторов и производителей. Были разработаны и испытаны щитовые, механизированные, гидравлические секции крепи: «Мосбасс» (рисунок 2.4, в), Щ57 (рисунок 2.4, г), ОМК (рисунок 2.4, д), АК (рисунок 2.4, е), Щ58 (рисунок 2.4, ж), затем секции ОМКТ, АК, Щ58, М87, М81, М97. Эти наработки были приняты за основу при создании первого семейства работоспособных комплексов: КМ87, КМ81, КМ97, ОМКТ, ОКП, МК (рисунок 2.4, з) и «Донбасс» [56, 68, 75]. Их стали называть комплексами первого поколения.

С момента создания в начале 70-х годов XX века и успешного применения первых механизированных крепей и комплексов, этот вид техники продолжал динамично развиваться в странах с развитой угледобывающей отраслью (Россия, ПНР, Великобритания, США, ФРГ): разрабатывались новые технические решения, компоновки СМК, создавались новые конструкции выемочных машин и забойных конвейеров, применялись более совершенные конструкционные материалы. Развитие СМК, как видно из таблицы 2.2, можно разделить по времени и принятым критериям на четыре этапа:

- первый этап 1960-1970 гг. характерен разработкой в основном поддерживающих, рамных, кустовых, комплектных и агрегатированных СМК;
- второй этап 1970-1975 гг. характерен разработкой как поддерживающих, рамных, кустовых, комплектных и агрегатированных СМК, так и частично поддерживающе-оградительных, и оградительно-поддерживающих СМК;
- третий этап характерен повышенным интересом к разработке поддерживающе-оградительных и оградительно-поддерживающих щитовых СМК, но продолжались работы и по совершенствованию и развитию традиционных направлений: поддерживающих, рамных, кустовых, комплектных и агрегатированных СМК;
- четвертый этап характерен разработкой преимущественно поддерживающе-оградительных щитовых СМК. Больше внимание стало уделяться развитию систем управления, контроля и диагностики технического состояния всех машин, входящих в комплекс с выводом информации непосредственно на пульт управления и на пульт диспетчера шахты [9, 37, 45, 60].

Таблица 2.2 – Этапы развития механизированных крепей в развитых угледобывающих странах

Этап	ФРГ	Польша	Великобритания	США	Россия
I	1960-1968 комплектные, поддерживающие, рамные	1958-1974 агрегатированные, поддерживающие, щитовые и оградительно поддерживающие	1951-1960 агрегатированные, поддерживающие, и кустовые	До 1960 инд. крепь. С 1960 по 1966 механизированные рамные	С 1959 по 1970
II	1968-1972 агрегатированные, поддерживающие, кустовые	1974-1978	1960-1975 агрегатированные	1966-1975 агрегатированные, поддерживающие, рамные и кустовые с большим сопротивлением	1970-1975 поддерживающие и оградительно- поддерживающие
III	1972-1976 Оградительно- поддерживающие, щитовые	1978	1975-1985 поддерживающие, рамные и кустовые щитовые	С 1975 Оградительно- поддерживающие и затем Поддерживающе- оградительные	1975-1980
IV	С 1976 поддерживающе- оградительные и щитовые	поддерживающе- оградительные и щитовые	С 1985 поддерживающе- оградительные и щитовые	С 1975 поддерживающе- оградительные и щитовые	1975-1980 поддерживающе- оградительные и щитовые

В качестве контролируемых параметров (таблица 2.1) приняты:

$N_{o,ц}$ – количество операций за цикл выемки, выполняемых с секцией (всего);

$N_{o,г}$ – количество операций с СМК, выполняемых ГРОЗ, за цикл;

$N_{o,с}$ – количество операций, выполняемых приводами секции за цикл;

N_3 – количество структурных элементов в секции крепи;

$N_{o,3}$ – количество основных структурных элементов в секции крепи;

$N_{в,3}$ – количество вспомогательных структурных элементов в СМК.

Основные структурные особенности СМК отражаются и в ее структурной формуле, например (2.1):

$$A \cdot PO \cdot Z_{cx} \cdot (2NB + 2NH) \cdot \Psi \cdot 4_{зв}, \quad (2.1)$$

где А – агрегатная, ПО – поддерживающе-оградительная, З(Н) – заряженная (не заряженная) схема расстановки в лаве СМК в исходном положении, 2НВ – установлены две стойки в забойном ряду с наклоном вперед (НВ), 2(НН) – установлены две стойки в завальном ряду с наклоном назад (НН), Щ – щитовая (тип секции), 4_{зв} – четырёхзвенный тип связи оградительного щита с перекрытием и с основанием. Конструктивные схемы СМК и их основные параметры приведены в таблице 2.1.

В качестве показателей технического уровня СМК используются: коэффициент оценки степени механизации операций за цикл, равный отношению количества операций, выполненных приводами секции к количеству операций, выполненных с СМК за цикл, формула (2.2):

$$K_m = \frac{N_{o.c}}{N_{o.ц}}; \quad (2.2)$$

коэффициент удельной функциональной нагрузки структурных элементов в СМК, равный отношению количества операций, выполненных с СМК за цикл к количеству структурных элементов в СМК и внешнего базового элемента ($N_э + 1$), формула (2.3):

$$K_{yэ} = \frac{N_{o.ц}}{N_э + 1}. \quad (2.3)$$

Пояснения по позициям (п. 1–11) в таблице 2.1:

– **п. 1.** Положение, соответствующее процессу в очистном забое при использовании деревянной (Д), индивидуальной (И), одноразовой (О), сборной (С) крепи (ДИОС). ДИОС приняты в анализе за исходную (нулевую) позицию, так как ему соответствует наибольшее количество операций, и практически все операции выполняются горным рабочим очистного забоя (ГРОЗ). Коэффициент удельной нагруженности структурного элемента крепи составил $K_{yэ}=5,3$, а коэффициент механизации операций близок к нулю ($K_m=0,06$);

– **п. 2 и п. 3.** Отражают значения параметров и коэффициентов, соответствующие металлическим и гидравлическим, индивидуальным, сборным стойкам крепи (МИС и ГИС);

– п. 4, п. 5 и п. 6. Отражают значения параметров и значения коэффициентов, соответствующих экспериментальным секциям крепи ЩГЖ1, ЩГЖ2, Щ48;

– п. 7, п. 8 и п. 9. Отражают значения параметров и значения коэффициентов, соответствующие экспериментальным секциям крепи Щ57, «Мосбасс», Щ58;

– п. 10. Отражает значения параметров и коэффициентов, соответствующих современным СМК.

В таблице 2.1 приняты следующие обозначения:

$K_{у.э}$ – коэффициент удельной функциональной нагрузки структурных элементов секций;

K_m – коэффициент оценки уровня механизации операций в СМК.

МИС и ГИС – металлические и гидравлические индивидуальные стойки (поз. 2 и 3 таблица 2.1). Соответствуют первому этапу развития крепи очистного забоя.

СЩГЖ1, СЩГЖ2 – секции крепи щитовая «галерея Журавлева», СЩ48 – секция крепи щитовая «Щекинская 48». Соответствуют второму этапу развития крепи очистных забоев, поз. 4, 5 и 6 таблица 2.1.

ОМКТ, М87, Щ58, «Мосбасс» – секции крепи. Третий этап развития.

Четвёртый этап развития СМК КМОЗ отражает влияние современных СМК на процессы в КМОЗ угольных шахт.

По данным таблицы 2.1 построены графики (рисунки 2.3-2.5) изменения параметров секций механизированных крепей, которые характеризуют тенденции их развития. По изменению параметров следует отметить:

– устойчивое снижение количества операций $N_{о.г}$, выполняемых ГРОЗ с секциями крепи, от 15 на нулевом этапе развития до нуля на 4-м этапе развития (кривая 1, рисунок 2.3);

– количество структурных элементов секций крепи ($N_э$) с развитием этапов монотонно возрастает с 3-х до 8-ми (кривая 2, рисунок 2.3);

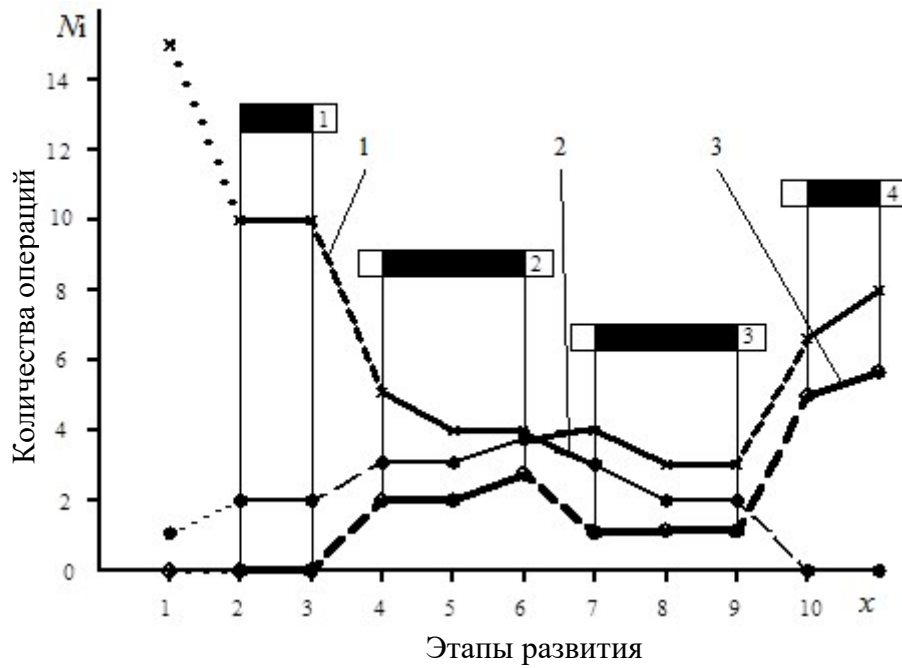


Рисунок 2.3 – Изменение параметров с развитием СМК: 1 – $N_{o,r}$; 2 – $N_{o,c}$; 3 – $N_{b,z}$

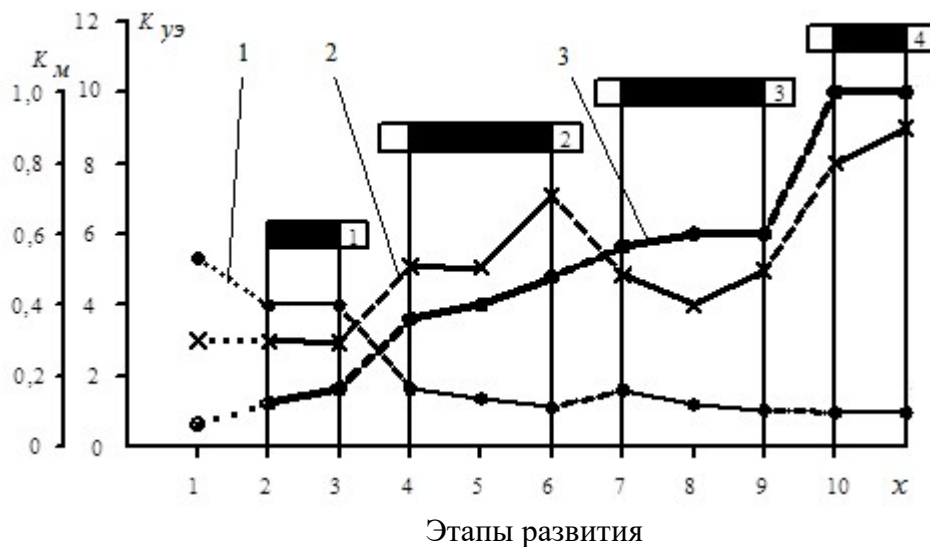


Рисунок 2.4 – Изменение значений параметров с развитием СМК: 1 – $K_{y,z}$; 2 – N_3 ; 3 – K_M

– количество вспомогательных структурных элементов увеличивается ($N_{b,z}$) от нуля (кривая 3, рисунок 2.3) до 4-7, количество же основных структурных элементов $N_{o,z}$ практически не изменяется (см. таблица 2.1);

– количество операций ($N_{o,c}$), выполняемых приводами секций (кривая 2, рисунок 2.3), устойчиво растет ($N_{o,c}=1, 2, \dots, 6-7$);

– количество структурных элементов в секции $N_3=3\dots 7-9$ (кривая 2, рисунок 2.4) и вспомогательных элементов $N_{b,z}$ (кривая 3, рисунок 2.3) в секции монотонно возрастают;

– значения коэффициента K_M (кривая 3, рисунок 2.4) с развитием этапов устойчиво увеличивается от 0,06 до 0,9, а K_{y_0} (кривая 1, рисунок 2.4) снижается от 5,3 приближаясь к 1,0, предельному его значению.

Сглаженные кривые (рисунок 2.5) отражают устойчивые тенденции в развитии СМК и принципиальные закономерные изменения секций в разных временных периодах и этапах их развития:

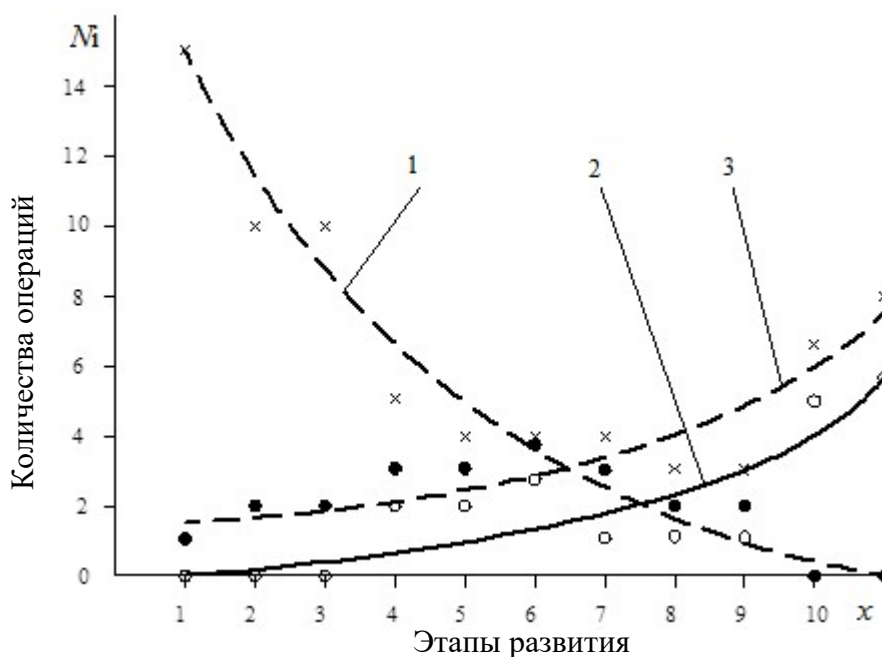


Рисунок 2.5 – Тенденции развития СМК: 1 – $N_{o.r}$; 2 – $N_{b.z}$; 3 – $N_{o.c}$

– изменение значимости ручного управления СМК оператором по этапам может быть представлено уравнением вида (рисунок 2.4, кривая 1):

$$N_{o.r} = -0,011x^3 + 0,356x^2 - 4,32x + 18,87. \quad (2.4)$$

Значимость устойчиво снижалась. В настоящее время остается только как вспомогательное действие. Количество вспомогательных структурных элементов с каждым этапом устойчиво растет (уравнение 2.5 и рисунок 2.4, кривая 2):

$$N_{b.z} = 0,016x^3 - 0,18x^2 - 0,78x - 0,71. \quad (2.5)$$

Количество вспомогательных операций по этапам, выполняемых приводами секций, увеличивается и будет увеличиваться (уравнение 2.6, рисунок 2.4, $N_{o.c}$ кривая 3):

$$N_{o.c} = 0,006x^3 - 0,004x^2 + 0,27x + 1,17. \quad (2.6)$$

Количество вспомогательных операций увеличивается пропорционально увеличению количества вспомогательных структурных элементов в СМК.

На основе результатов проведенного анализа развития СМК ОМК можно сделать следующие выводы:

– основным типом секции крепи ОМК для пластов средней мощности утвердилась поддерживающе–оградительная, агрегатированная, однорядная, щитовая двухстоечная СМК с направляющей балкой и основанием катамаранного типа;

– основные функции СМК остаются неизменными, продолжается развитие вспомогательных функций, будут и в дальнейшем совершенствоваться механизмы и узлы СМК для выполнения ею вспомогательных функций как один из способов улучшения их адаптивности к условиям эксплуатации;

– развитие дополнительных функций осуществляется, в плане повышения адаптивности СМК, не системно: не сформулированы общие требования, не определены приоритеты, не определены основные методы решения проблемы.

2.3 Особенности режимов работы гидросистемы крепи МКЮ.2Ш-13/27

Для анализа возможных режимов работы ОМК и их СМК необходимо проанализировать реальные условия их эксплуатации на примере крепи МКЮ.2Ш-13/27 в условиях шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс», которые относятся к типичным для шахт Кузбасса.

Анализ режимов работы гидросистем механизированной крепи был проведен по давлению рабочей жидкости применительно к крепи комплекса МКЮ. Давление настройки предохранительного клапана (защита от динамических нагрузок) – $P_{ПК,д1} = 45$ МПа. Снижение значения настройки за цикл эксплуатации клапана до $P_{ПК,д2} = 42$ МПа. Диапазон изменения значений $\Delta P_{ПК,д} = 45 - 42 = 3$ МПа (таблица 2.3 и рисунок 2.6).

Таблица 2.3 – Значения давлений в гидросистеме секции крепи МКЮ.2Ш-13/27

Параметры	Фактические диапазоны изменения значений, МПа		Рекомендуемые значения настройки БРС, МПа	
	номинальное	минимальное	номинальное	минимальное
Защита от динамич. перегрузок	45	42 (-3)	45	43
Защита от статическ. перегрузок (ПК технологический)	42	35 (-7)	42	40
Давление начального распора	32	20 (-12)	32	28
Давление в напорной магистрали гидросистемы	32	20 (-12)	32	28
Диапазон регулируемого давления	42	32 (-10)	38	32 (6)
Давление подпора при передвижке СМК	н.к.	н.к.	–	–

Обозначение: н.к. – значения не контролируются и не регламентируются.

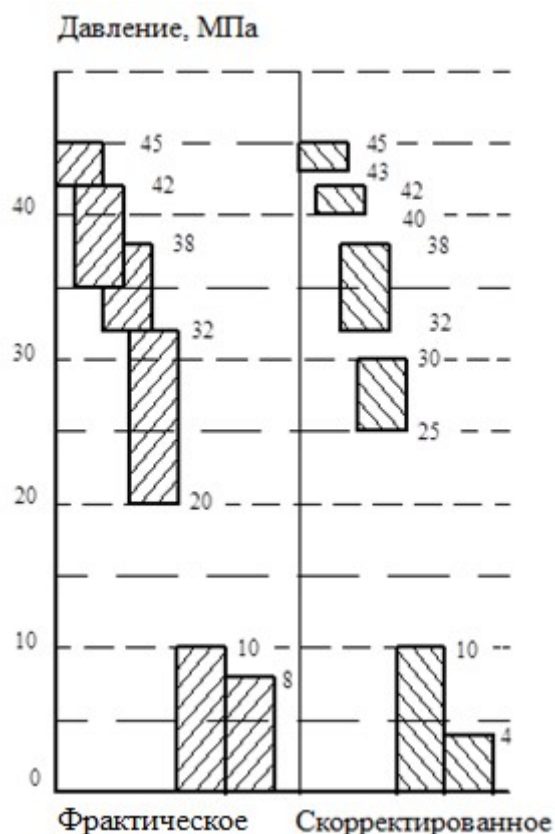


Рисунок 2.6 – Диапазоны значений давлений рабочей жидкости в элементах гидросистемы СМК: фактическое (в условиях шахты «Имени А.Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс») и скорректированное

Давление настройки предохранительного клапана (технологического) $P_{ПК.Т1} = 42$ МПа. Снижение давления настройки за цикл эксплуатации (до замены) $P_{ПК.Т2} = 35$ МПа. Диапазон изменений значений $\Delta P_{ПК.Т} = 42 - 35 = 7,0$ МПа.

Давление начального распора гидростойки (давление в напорной гидромагистрали механизированной крепи) $P_{нр1} = 32$ МПа. Снижение давления в напорной магистрали (при передвижке забойного конвейера) до $P_{нр2} = 20$ МПа. Разность давлений может достигать значений $\Delta P_{нр} = 32 - 20 = 12$ МПа. Давление в сливной магистрали не контролируется и не регламентировано.

Давление подпора при передвижке секции механизированной крепи не контролируется и не регламентировано.

Среднее значение регулируемого давления $\bar{P}_{рег} = \frac{38 + 32}{2} = 35$ МПа.

Данные, характеризующие фактический режим работы гидростоек СМК, сведенные в таблице 2.4 и рисунке 2.5, подтверждают наличие наложений режимов работы (а), отсутствие границ разделения (б), чрезмерные диапазоны изменения значений параметров (32-20 МПа).

Наложения и совмещения значений давлений разных по выполняемым функциям зон рассматриваемых рабочих характеристик гидравлических стоек не допустимо, по следующим условиям:

- наложение фактических значений давлений разных зон по назначенным функциям может приводить к неоднозначным результатам и, как следствие, к возможности ложных действий или невыполнения некоторых из предписанных;
- совмещение функциональных зон или касание их границ, с учетом изменения настроек клапанов, со временем может приводить к повышению вероятности выполнения смежных по предписанию функций и, следовательно, к выполнению ошибочных действий;
- осложняется контроль и наладка систем управления.

На рисунке 2.6 и в таблице 2.4 приведены фактические и рекомендуемые значения параметров, диапазоны их изменения и режимы работы гидросистем гидростоек СМК.

2.4. Требования к рабочей характеристике гидростойки секции механизированной крепи

В настоящее время в КМОЗ угольных шахт, оснащенных механизированными очистными комплексами, с энергетической точки зрения, процесс управления горным давлением построен на энергозатратной компенсационной основе [104, 106]: энергии конвергенции боковых пород в зоне очистных забоев противопоставляется гидравлическая энергия, создаваемая гидросистемой механизированной крепи комплекса. При этом регулирование горного давления осуществляется импульсным способом – последовательными срабатываниями предохранительных клапанов гидростоек с перепусками с большим перепадом давлений рабочей жидкости из поршневых полостей гидростоек в сливную магистраль комплекса или на почву [94, 109, 113].

Основными недостатками процесса функционирования такой системы «кровля – гидростойки – почва», содержащей упругие звенья, являются:

- компенсационный энергозатратный метод регулирования сопротивления гидростоек СМК опусканию пород кровли, заключающийся в потреблении электрической энергии, её преобразовании в гидравлическую и затем в механическую, реализуемую гидростойками СМК при взаимодействии с непосредственной кровлей в КМОЗ [66];

- импульсный силовой характер взаимодействия гидростоек секций механизированной крепи с кровлей при управлении горным давлением (ГД) [52, 55], обуславливающий высокую вероятность разрушения пород непосредственной кровли и высыпания её в межсекционное пространство [23];

- большой перепад давлений, сопровождающий срабатывания предохранительных клапанов с перепуском рабочей жидкости в сливную магистраль в процессе регулирования ГД [22, 76], приводящий к динамическим воздействиям на элементы гидросистемы и к снижению их ресурса;

- недостаточная кинематическая и контактная адаптивности СМК к ГГУ, изменяющимися по мере отработки выемочных участков [138], приводит к неуправляемым нагрузкам секций крепи и напряжениям пород кровли,

контактирующих с перекрытиями секций.

То есть современные СМК, рассчитываемые на максимальные нагрузки в наиболее тяжелых конкретных условиях эксплуатации, отличаются избыточной металлоёмкостью, импульсным способом регулирования их сопротивления опусканию пород кровли, большим диапазоном изменения давлений рабочей жидкости в напорных магистралях. Они не адаптивны к изменяющимся ГГУ, не энергосберегающие, а при передвижке секций механизированной крепи и срабатывании предохранительных клапанов осуществляют статическое и динамическое топтание пород кровли [108].

В типовой рабочей характеристике предусмотрены режимы, обеспечивающие необходимый подпор секции при их передвижении ($P_{\text{ш}}$), начальный распор секции ($P_{\text{нр}}$), достаточный для исключения расслоения пород непосредственной кровли, и совмещенный уровень регулирования и защиты СМК от статических ($P_{\text{пк1}}$) перегрузок. Предусмотрена так же защита от динамических перегрузок – $P_{\text{пк2}}$. Для устранения указанных ранее недостатков процесса взаимодействия СМК с кровлей пласта в КМОЗ предлагается вместо типовой 3–х уровневой рабочей характеристики гидростойки (рисунок 2.7, а) четырехуровневая рабочая характеристика (рисунок 2.7, б) [94]. Совмещенный уровень регулирования – «равного сопротивления» и защиты СМК от перегрузок (участок 2-3 рисунок 2.7, а) типовой характеристики заменён независимо функционирующими уровнями регулирования сопротивления гидростойки $P_{\text{рег}}$ и уровнем защиты гидростойки от перегрузок $P_{\text{пк1}}$ в предлагаемой рабочей характеристике (рисунок 2.7, б), что обеспечивает эффективность функционирования гидростойки.

Нагрузки гидростоек при выполнении операций цикла (рисунок 2.7): начального распора (участок 0-1), нарастающего сопротивления (участок 1–2), разгрузки и передвижения секций крепи (участок 3-4-5-6), изменяются в широком диапазоне. Значительная разность давлений рабочей жидкости в поршневых полостях гидростоек (распорных усилий) за время цикла операций и подвижный контакт распорного элемента крепи с кровлей при передвижке с подпором

приводят к активизации процесса образования трещин в породах непосредственной кровли, контактирующих с перекрытием. Именно эти участки механических характеристик ответственны за возникновение негативных эффектов в системе «механизированная крепь – кровля», получивших название «статическое топтание пород непосредственной кровли» [28, 109].

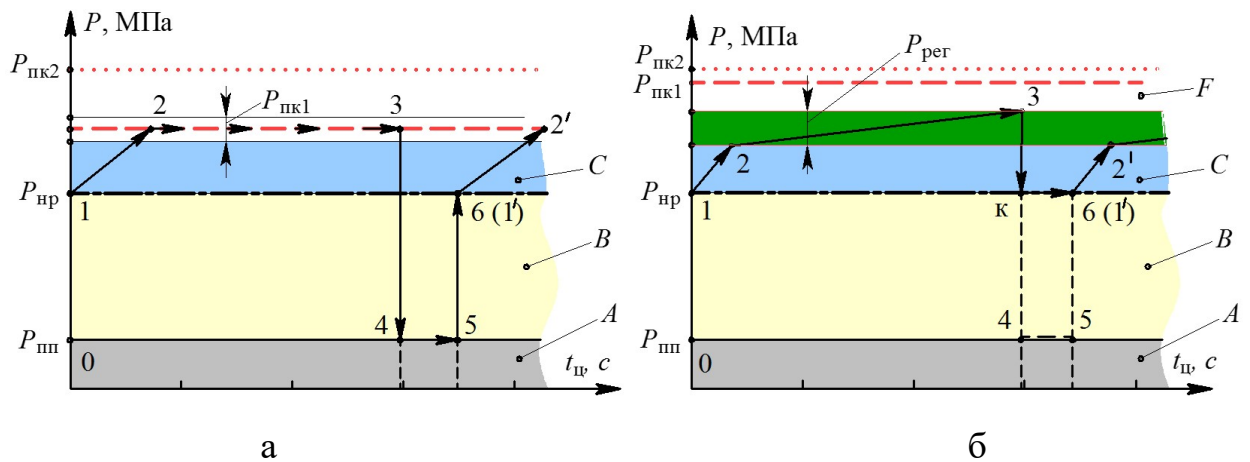


Рисунок 2.7 – Идеализированные рабочие характеристики гидростоек секций механизированной крепи: а – трёхуровневая по давлению типовая рабочая характеристика гидростойки; б – четырёхуровневая по давлению рабочая характеристика гидростойки

Верхней и нижней границами зоны регулирования сопротивления ($P_{рег}$) гидростойки (рисунок 2.7, б) задаётся диапазон адаптации секции механизированной крепи к процессу опускания пород непосредственной кровли.

Все устанавливаемые уровни по давлению разделены промежуточными зонами *A*, *B*, *C* и *F* (рисунок 2.7) для исключения ложных срабатываний из-за их возможных наложений. Для уменьшения эффекта топтания пород кровли из-за разности сил распора за цикл операций, целесообразно давление подпора $P_{пш}$ при передвижке СМК поднять до уровня начального распора $P_{нр}$, тогда разгрузка и передвижение секции крепи – участок 3-к-6 (рисунок 2.7, б). Однако в этом случае будет не выполнима операция передвижки СМК из-за больших сопротивлений их перемещению. Для выполнения изложенных выше требований необходимы: совершенствование структуры СМК, непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления СМК с извлечением, преобразованием и использованием энергии ГД и совершенствование механизма циклических

перемещений СМК.

Такой способ и режимы работы гидростоек с вытеснением рабочей жидкости с малым перепадом давления в напорную магистраль механизированной крепи комплекса предложены в работе [94] и могут быть обеспечены блоком безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек опусканию пород кровли. Следует отметить, что гидростойка СМК представляет собой идеальный преобразователь механической энергии конвергенции боковых пород в гидравлическую энергию и передачи её в нагнетательную магистраль гидросистемы механизированной крепи.

2.5 Обоснование безимпульсного способа и устройства регулирования сопротивления гидростоек опусканию пород кровли

2.5.1 Обоснование способа безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек

На основе анализа режима работы гидропривода стоек СМК [79], с учетом выше указанных недостатков современных СМК в части управления горным давлением, было предложено техническое решение (рисунок 2.8) по непрерывному безимпульсному регулированию сопротивлением гидростоек опусканию пород непосредственной кровли с рекуперацией энергии горного давления в гидросистему механизированной крепи [69, 70].

Особенностями предложенного технического решения являются:

- разделение функции защиты от предельных нагрузок, выполняемой предохранительным клапаном и функции управления горным давлением, выполняемой мультипликатором давления (МД) с блоком БРС;
- безимпульсное непрерывное регулирование давления;
- рекуперация энергии горного давления в напорную магистраль гидросистемы комплекса.

Техническое решение включает в себя мультипликатор давления в виде сдвоенного гидроцилиндра. Отношение диаметров поршней сдвоенного гидроцилиндра принимается равным отношению номинального давления рабочей жидкости в поршневой полости первой ступени стойки секции к давлению

жидкости в напорной магистрали гидросистемы. При этом полость меньшего диаметра гидротрансформатора должна быть соединена с поршневой полостью гидростойки, а полость большого диаметра гидроцилиндра соединена промежуточным регулируемым дросселем с напорной магистралью гидросистемы комплекса.

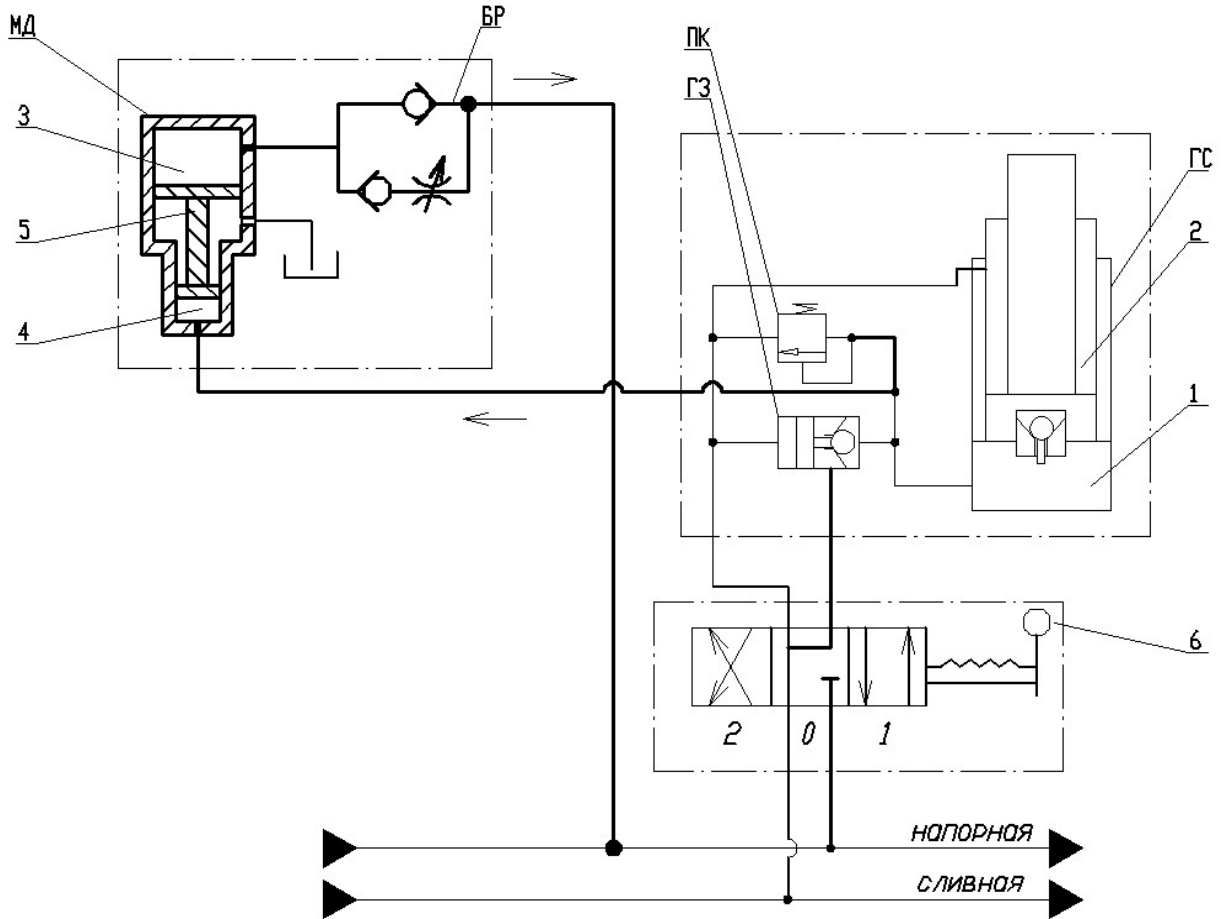


Рисунок 2.8 – Гидрофицированная крепь с дросселирующим распределителем и рекуперацией энергии: БР – блок регулирования; МД – мультипликатор давления; ГС – гидравлическая стойка СМК; ПК – предохранительный клапан; ГЗ – гидрозамок; 1 – поршневая полость ГС; 2 – штоковая полость ГС; 3 – большая полость МД; 4 – малая полость МД; 5 – шток МД; 6 – блок управления

Диаметры поршней мультипликатора давления выбираются из условия равенства сил, действующих на поршни на нижней границе диапазона регулирования давления, устанавливаемой несколько выше давления начального распора гидростойки секции крепи, формула (2.7):

$$P_{p.n} = P_n + K_n \cdot P_n = P_n \cdot (1 + K_n), \quad (2.7)$$

где K_n – коэффициент запаса устойчивости для нижней границе зоны регулирования.

Верхний уровень диапазона регулирования выбирается ниже установленного давления срабатывания предохранительного клапана, формула (2.8):

$$P_{p.v} = P_{пк} - K_v \cdot P_{пк} = P_{пк} \cdot (1 - K_v), \quad (2.8)$$

где K_v – коэффициент запаса устойчивости для верхней границы зоны регулирования.

Значения коэффициентов K_n и K_v выбираются в зависимости от класса кровли и типа секции механизированной крепи.

Объем полости 3 (рисунок 2.8) мультипликатора определяются исходя из среднемаксимального объема вытесняемой рабочей жидкости из поршневой полости гидростойки за цикл в конкретных ГГУ.

Работа секции по данной схеме происходит следующим образом. При конвергенции пород кровли и почвы, давление в поршневой полости – 1 гидростойки увеличивается выше давления начального распора по нарастающей характеристике – 1-2 (рисунок 2.6, б). Поршни мультипликатора смещены в крайнее положение и прижаты к днищу корпуса цилиндра. Объем жидкости в полости 3 максимальный (рисунок 2.8). При дальнейшем повышении давления, выше нижнего уровня зоны регулирования ($P_{рег}$), условие равновесия сил, действующих на поршни мультипликатора, нарушается ($F_4 > F_3$). Блок поршней перемещается, вытесняя жидкость из камеры 3 через дроссель блока БРС в напорную магистраль гидросистемы.

Силы, действующие на поршни мультипликатора (F_3 и F_4), определяются формулам (2.9) и (2.10):

$$F_4 = P_4 \cdot S_4; \quad P_4 = P_1, \quad (2.9)$$

где P_4 – давление в малой камере 4 мультипликатора, равное давлению P_1 в поршневой полости 1 гидростойки, МПа; S_4 – площадь малого поршня

мультипликатора, м².

$$F_3 = P_3 \cdot S_3, \quad (2.10)$$

где P_3 – давление в большой камере 3 мультипликатора, МПа; S_3 – площадь большего поршня мультипликатора, м².

При плавном опускании кровли давление может изменяться от нижней 2 до верхней 3 границы диапазона регулирования – $P_{\text{рег}}$ (рисунок 2.7, б), не вызывая срабатывания ПК.

Сопротивление гидростойки в зависимости от скорости и массы опускающегося блока кровли будет изменяться. Перепад давления на выходе мультипликатора определяется снижением давления на сопротивлениях в рукавах высокого давления до напорной магистрали и им можно пренебречь по сравнению со снижением давления в дросселе.

При передвижении штока 5 мультипликатора (рисунок 2.8) жидкость из большей его камеры через регулируемый дроссель вытесняется с расходом Q в напорную магистраль, формула (2.11):

$$Q = \beta \cdot \varepsilon \cdot S_q \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_3 - P_n)}, \quad (2.11)$$

где β – коэффициент расхода; S_q – площадь сечения отверстия дросселя, м²; ε – степень открытия дросселя; ρ – плотность жидкости, кг/м³; P_3 – давление в камере 3, МПа; P_n – давление в напорной магистрали, МПа.

Количество рекуперированной энергии можно определить по формуле (2.12):

$$E = V_3 \cdot P_n, \quad (2.12)$$

где V_3 – объем камеры 3, м³, P_n – давление в напорной магистрали, МПа.

Предложенный вариант безимпульсного управления горным давлением обеспечивает:

– разделение функций защиты от перегрузок, выполняемых ПК, и управление горным давлением, выполняемое в каждой гидростойке секции крепи, мультипликатором МД с регулируемым дросселем, позволяет дифференцировать

настройки ПК и дросселя в соответствии с их индивидуальными функциями и внешними условиями;

- непрерывное регулирование сопротивлением гидравлических стоек СМК пропорционально градиенту давления кровли изменением жесткости механической характеристики гидростойки с блоком безимпульсного регулирования;

- уменьшение топания непосредственной кровли, снижение трещинообразования, и следовательно, повышение ресурса и надежности работы предохранительного клапана и гидростойки;

- изменение жесткости рабочей характеристики в зависимости от скорости осадки кровли;

- рекуперация потенциальной энергии кровли в гидросистему комплекса (напорную магистраль);

- повышение безопасности процесса выемки угля в КМОЗ.

2.5.2 Разработка экспериментального образца устройства

Блок БРС предназначен для непрерывного безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек секций механизированной крепи опусканию пород кровли с рекуперацией энергии горного давления в напорную магистраль. Регулирование осуществляется установлением крутизны характеристики нарастающего сопротивления гидростоек, или иначе: регулированием интенсивности перетока жидкости из поршневой полости в напорную магистраль очистного механизированного комплекса через мультипликатор.

Блок БРС должен обеспечивать:

- безопасную эксплуатацию при давлении рабочей жидкости на его входе 45 МПа и на выходе 32 МПа [67];

- возможность контроля давления рабочей жидкости на входе и выходе блока;

- возможность контроля смещения блока поршней мультипликатора давления;

– возможность подключения к клапанному блоку гидростойки крепи МКЮ2.Ш-13/27 в очистном забое шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс»:

– режимы работы БРС не должны зависеть от изменений давления в напорной магистрали гидросистемы ОМК;

– передачу энергии конвергенции боковых пород в процессе управления ГД, локализованную в смещениях поршня первой ступени мультипликатора, передачей вытесняемого объема рабочей жидкости в напорную магистраль гидросистемы ОМК.

Принципиальная схема подключения блока БРС к клапанному блоку стойки – 1 представлена на рисунке 2.9: 2 – предохранительный клапан, 3 – гидрозамок (управляемый обратный клапан), 4 – датчик давления, 5 – блок регулирования сопротивления, 6 – мультипликатор давления, 7 – дроссель, 8 – обратный клапан, 9 – подпорный клапан, 10 – вентиль, 11 – напорная магистраль.

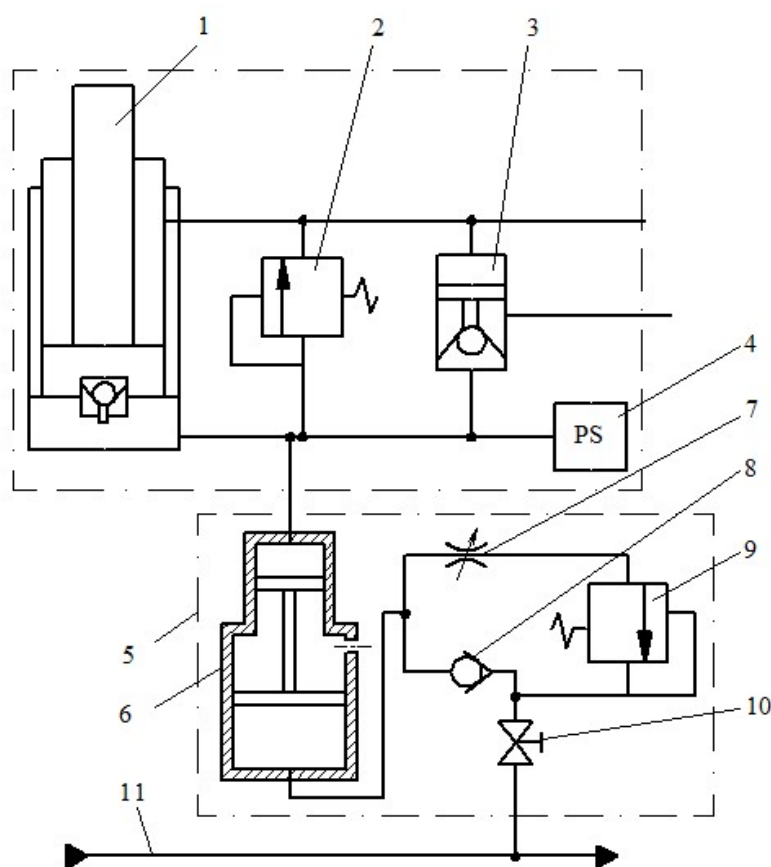


Рисунок 2.9 – Схема подключения блока БРС

Применительно к секции крепи МКЮ.2Ш-13/27 при осадке кровли 40 мм рабочий объём жидкости, вытесняемой из стойки крепи за цикл равен рабочему объёму поршневой полости высокого давления мультипликатора и определяется по формуле (2.13):

$$V_b = \frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4} \cdot \Delta l = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot 0,04 = 0,002826 \text{ м}^3 = 2,826 \text{ л} \quad (2.13)$$

где $D_{ц}$ – внутренний диаметр гидростойки, м; Δl – максимальная осадка гидростойки за цикл.

Уровень регулируемого давления в поршневой полости гидростоек, при котором не происходит переток жидкости через блок БРС, определяется по формуле (2.14):

$$P_{\text{рег}} = P_{\text{пк}} - \frac{P_{\text{пк}} - P_{\text{н}}}{2} = 42 - \frac{42 - 32}{2} = 37 \text{ МПа} , \quad (2.14)$$

где $P_{\text{пк}} = 42$ МПа – давление срабатывания предохранительного клапана стоек секций крепи МКЮ.2Ш-13/27.

2.6. Взаимодействие секции механизированной крепи с породами кровли и возможность использования энергии горного давления в технологическом процессе добычи угля

В условиях Кузнецкого угольного бассейна при подземной выемке 1 т угля в среднем происходит обрушение до 6-11 т горных пород. Таким образом, ежегодно в КМОЗ забоях шахт Кузбасса смещаются (обрушаются) до 500-700 млн. т горных пород. Смещение пород кровли под действием сил гравитации изменяется от нескольких сантиметров в верхней части зоны обрушения до нескольких метров в нижней [87]. При таких перемещениях горных пород реализуется большое количество энергии [80].

Призабойное пространство КМОЗ, окружающее очистной забой, может быть структурно представлено в сечении пятью зонами (рисунок 2.10):

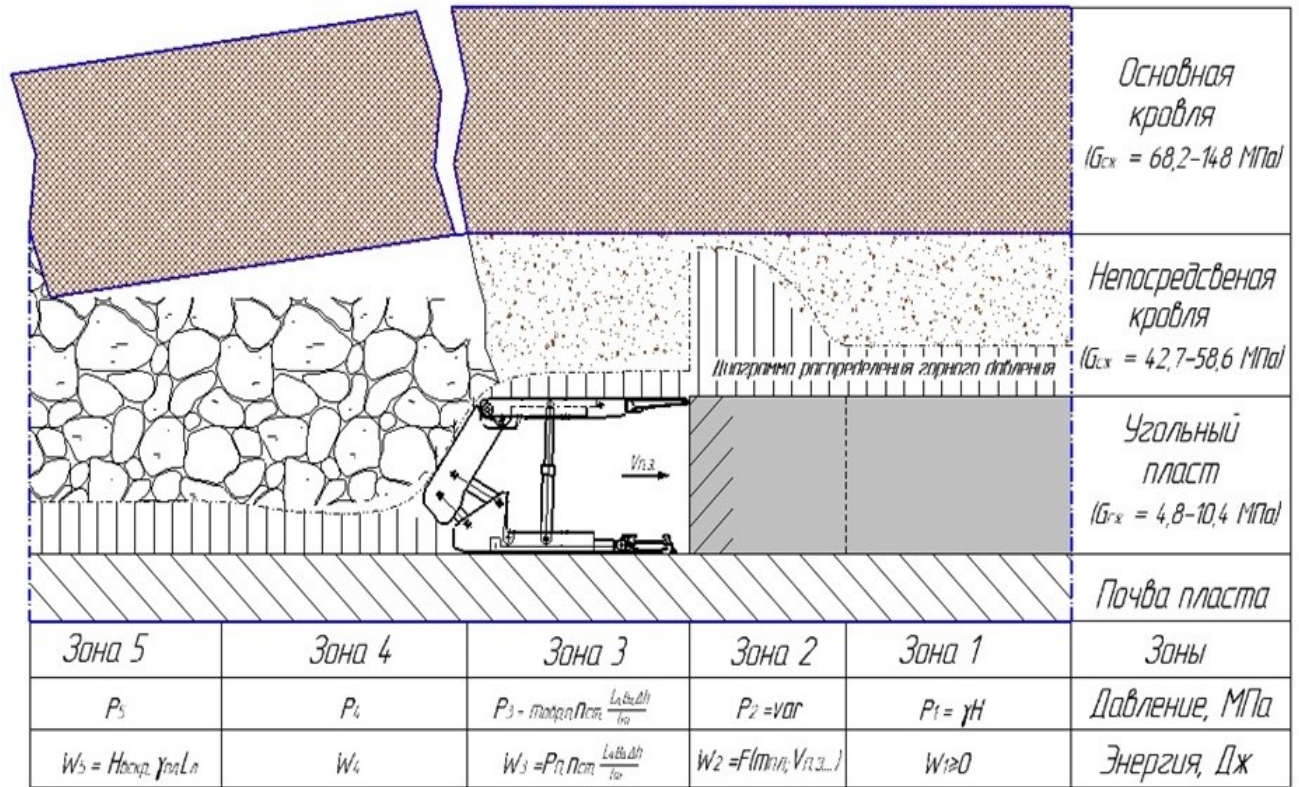


Рисунок 2.10 – Схема взаимодействия СМК с породами непосредственной кровли

– зона 1 – это часть массива по направлению отработки угольных пластов и боковых пород, находящихся в равновесии (с постоянным горным давлением $P_y \approx \gamma \cdot H$);

– зона 2 – часть призабойного массива с переменным (неустановившимся) горным давлением. Её называют зоной отжима. Она включает призабойную часть пласта и непосредственную кровлю и почву, находящуюся в зоне переменного напряженного состояния. Чем больше мощность пласта, тем шире зона 2;

– зона 3 – часть призабойного пространства с активным силовым взаимодействием СМК с непосредственной кровлей, основные параметры состояния которого можно определить измеряя давление рабочей жидкости в поршневой полости гидростоек забойной крепи;

– зона 4 – это пространство, в котором происходит непосредственное обрушение горных пород за перемещающейся механизированной крепью. Начинается завальная зона с переменным состоянием массива в пространстве и во времени, параметры которого не могут быть однозначно определены в какой-либо заданный момент времени;

– зона 5 – часть отработанного пространства с установившимся горным давлением.

В результате конвергенции пород кровли и почвы при выемке угольного пласта длинными забоями выделяется некоторое количество потенциальной энергии W , значение которой в каждой из зон разное. За исходные данные принимается потенциальная энергия пород кровли, смещение которой возможно.

В общем случае баланс энергий для рассматриваемой системы можно представить в виде уравнения удельных энергий, отнесенных к 1 м длины лавы, формула (2.15):

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5, \quad (2.15)$$

где W_1 – энергия конвергенции пород, расходуемая в зоне 1 на деформацию и ослабление прочности угольного пласта и боковых пород. В зонах равновесия – постоянного напряженного состояния пород, эта энергия (W_1 и W_5) мала и при решении некоторых задач ею можно пренебречь. В забойной зоне массива (в зоне отжима и призабойной зоне) энергия конвергенции боковых пород W_2 и W_3 расходуется на деформацию секций механизированной крепи и на изменение состояния угольного пласта; W_4 – энергия, расходуемая на дискретизацию и обрушение пород кровли; W_5 – энергия расходуемая на уплотнение обрушенных пород в завальной удаленной части массива с установившимися параметрами состояния (давления).

Преобразуем выражение (2.15) с учетом того, что в зонах с постоянными параметрами $W_1 \approx 0$ и $W_5 = 0$, формула (2.16):

$$W_4 = W - W_2 - W_3. \quad (2.16)$$

Общую потенциальную энергию конвергенции боковых пород в КМОЗ при времени $t \rightarrow \infty$ можно определить по формуле (2.17):

$$W = \bar{H} \cdot L_{\text{л}} \cdot L_{\text{б}} \cdot \gamma \cdot m \cdot \cos \alpha, \quad (2.17)$$

где \bar{H} – мощность (толщина) пород кровли, которые могут сместиться после отработки пласта, м; $L_{\text{л}}$ – длина лавы, м; $L_{\text{б}}$ – ширина призабойного пространства, м; γ – плотность пород (угля) в массиве, т/м³; m – мощность вынимаемого пласта, м;

α – угол падения пласта, °.

В процессе выемки угля силы и энергия взаимодействия СМК и пород кровли может изменяться в широком диапазоне. Известны случаи отклонений в режимах работы КМОЗ при управлении горным давлением, которые являются причинами, косвенно указывающими на ряд существенных недостатков в технологическом процессе управления горным давлением:

- высокая интенсивность срабатывания предохранительного клапана и изменение со временем давления настройки его срабатывания;
- уменьшение величины начального распора стойки относительно заданной;
- функции управления горным давлением и защиты от перегрузок не согласованы по значениям регулируемых параметров;
- ухудшение состояния пород кровли, что приводит к увеличению трудоемкости работ по креплению кровли;
- наличие в гидросистеме СМК микроутечек;
- ограничения скорости передвижки СМК ограничивает производительности ОМК.

Наибольший интерес в рассматриваемой структуре представляет зона 3, так как ее параметры могут быть точно определены по давлению рабочей жидкости в поршневой полости гидростоек и расходуемой энергии, как части от всей потенциальной энергии смещения пород кровли на толщину пласта.

Поэтому целесообразно рассмотреть количество энергии, реализуемой в зоне 3 (рисунок 2.10). Энергия конвергенции боковых пород, расходуемая на деформацию механизированной крепи, может быть определена по формуле (2.18):

$$W_2 + W_3 = P_{\text{п}} \cdot n_{\text{с}} \cdot C_{\text{к}} \cdot \frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} \cdot \frac{L_{\text{п}}}{l_{\text{ш}}}, \quad (2.18)$$

где $P_{\text{п}}$ – давление в поршневой полости гидравлической стойки, МПа; $n_{\text{с}}$ – количество гидравлических стоек; $C_{\text{к}}$ – показатель интенсивности конвергенции боковых пород кровли, м/цикл; $D_{\text{п}}$ – диаметр поршневой полости гидростойки, м²; $L_{\text{п}}$ – длина лавы, м; $l_{\text{ш}}$ – шаг расстановки СМК по длине лавы, м.

Энергия конвергенции пород кровли и почвы гидростойками СМК может быть передана рабочей жидкостью под давлением в напорную магистраль гидросистемы крепи при сохранении алгоритма работы гидростоек за цикл при управлении горным давлением.

С учетом смещения пород кровли 30-40 мм за цикл для одной секции это небольшая величина, но с учетом их количества в современной лаве – 150-250 и более шт., то суммарная энергия будет иметь уже существенное значение.

На основании анализа рассмотренных зависимостей и их преобразований установлено, что количество энергии, отводимой в гидросистему ОМК в процессе конвергенции боковых пород в КМОЗ, прямо пропорционально уровню регулируемого давления в поршневой полости гидростойки секции механизированной крепи, длине лавы, количеству гидравлических стоек в секции крепи, фактической нагрузке на забой и календарному времени его работы, и обратно пропорционально шагу расстановки секций по длине лавы и объёму добычи за цикл. Таким образом, уравнение энергии, отводимой в гидросистему механизированного комплекса, можно записать в виде (2.19):

$$W_3 = C_k \cdot P_n \frac{\pi D_n^2}{4} \cdot n_c \cdot t \frac{L_n}{l_{ш}} \cdot \frac{Q}{G_{ш}} \cdot \eta_6, \quad (2.19)$$

где P_n – регулируемый уровень давления в поршневой полости ГС СМК, МПа; t – календарное время работы ОМК, ч; Q – добыча угля в лаве за календарное время t , т/ч; G – добыча угля за цикл в КМОЗ, т; η_6 – КПД блока БРС, $\eta_6 = 0,99$.

2.7 Выводы по главе 2

1. Исследуемый процесс циклического силового взаимодействия гидростоек СМК с породами непосредственной кровли в КМОЗ относится к многофакторным, сложным, комплексным процессам, содержащим существенно значимые детерминированную и случайную составляющие.

2. В качестве основного типа секции механизированной крепи, перспективной для дальнейшего рассмотрения, развития и использования при отработке пологих пластов средней мощности практическое применение

получила поддерживающе-оградительная, агрегатированная щитовая секция крепи с направляющей балкой и основанием катамаранного типа.

3. Дальнейшее совершенствование щитовых агрегатированных СМК связано с развитием их вспомогательных функций, улучшающих их адаптацию к переменным ГГУ, обеспечивающим устойчивую работу ОМК в рациональных режимах во всем диапазоне этих условий.

4. Развитие дополнительных функций СМК следует рассматривать в направлениях кинематической, контактной и силовой их адаптации на основе безимпульсного непрерывного регулирования сопротивления гидростоек опусканию пород непосредственной кровли в КМОЗ угольных шахт.

5. Безимпульсное непрерывное регулирование сопротивления гидростоек СМК опусканию пород непосредственной кровли с рекуперацией энергии горного давления в гидросистему ОМК обеспечивает:

- возможность более точной регулировки сопротивления крепи в режиме управления ГД;

- возможность настройки уровня давления срабатывания предохранительных клапанов гидростоек исходя из несущей способности секций крепи, или прочностных свойств непосредственной кровли и динамики конвергенции боковых пород.

ГЛАВА 3 ИСПЫТАНИЕ ГИДРОСТОЙКИ С БЛОКОМ БЕЗИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

3.1 Методика проведения экспериментальных исследований процесса безимпульсного регулирования

Цель эксперимента: оценка влияния блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростойки секции крепи на изменение давления в поршневой полости (распорного усилия) в условиях медленно нарастающей нагрузки (стационарного процесса) до времени срабатывания ПК и подтверждения возможности рекуперации энергии ГД в гидросистему СМК при конвергенции боковых пород.

Объектом экспериментальных исследований является процесс изменения давлений в гидросистеме стойки СМК, оснащенной блоком ББР в совокупности с гидросистемой нагрузочного стенда ООО «Завод Красный Октябрь» и насосной станцией. Состав оборудования объекта представлен на принципиальной гидравлической схеме подключения блока БРС (рисунок 3.1) и на схеме стенда (рисунок 3.2). В состав оборудования объекта входят нагрузочный стенд (Ст.Н) с нагрузочными каретками (К), которые создают нарастающую статическую нагрузку на испытываемую ГС, блок БРС и насосная станция (НС).

Исходные данные приняты по технологической документации СМК.МКЮ-2Ш/27 [83].

С целью обеспечения безопасности работ была предусмотрена возможность проведения испытаний при двукратном снижении давлений, значения которых указаны в тексте в скобках.

1. $P_{\text{ПК}} = 42$ (21) МПа – давление срабатывания ПК; $P_{\text{Н}} = 32$ (16) МПа – давление в напорной магистрали (подпор на сливе).

2. Номинальный уровень регулируемого давления определен по формуле (3.1):

$$P_{\text{рег}} = P_{\text{шт}} - \frac{P_{\text{ПК}} - P_{\text{Н}}}{2} = 42 - \frac{42 - 32}{2} = 37 \text{ МПа (18,5 МПа)} \quad (3.1)$$

3. Регулируемый дроссель заменён калиброванными – диаметром 3,5; 3,0;

2,5; 2,0 и 1,5 мм.

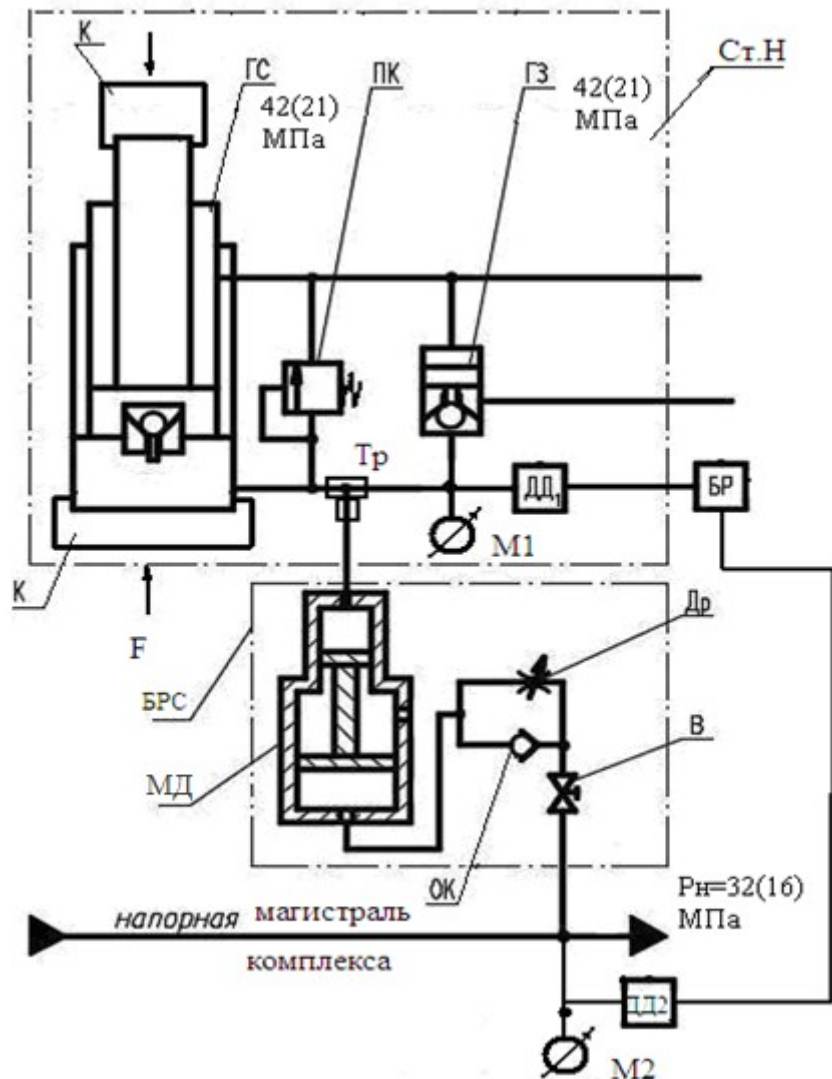


Рисунок 3.1 – Стенд нагрузочный с блоком БРС. Схема гидравлическая принципиальная

На рисунке 3.2 приведена принципиальная гидравлическая схема нагрузочного стенда ООО «Завод Красный Октябрь». Стенд используется на заводе для испытания гидростоек СМК под нагрузкой. На схеме указаны: трехпозиционные распределители 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, гидроцилиндры 2 нажимных кареток с гидрозамками и манометрами 6.3 и 6.4 контроля давления (нагрузки), гидроцилиндры 3 и 4 для корректировки положения испытываемой стойки по оси нажимных кареток.

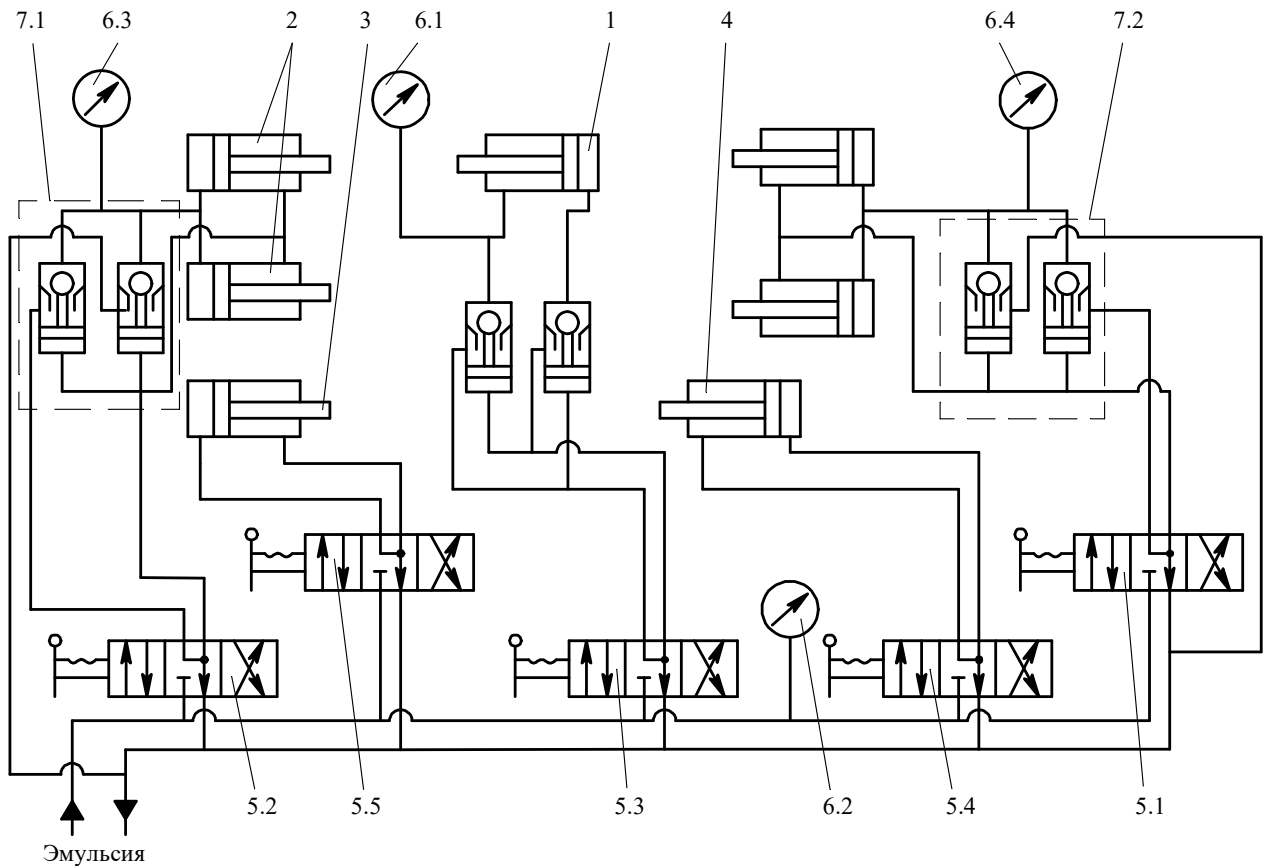


Рисунок 3.2 – Стенд нагрузочный. Схема гидравлическая принципиальная

Проверка работоспособности мультипликатора

Перед сборкой и установкой блока регулирования на нагрузочном стенде была проверена работоспособность мультипликатора (рисунок 3.3) в соответствии с техническими документами [29-31, 34].

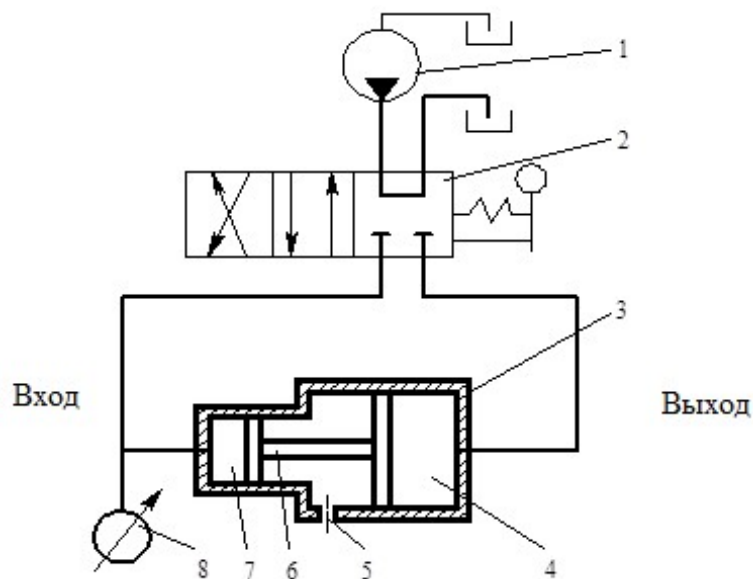


Рисунок 3.3 – Схема подключений мультипликатора давления (МД): 1 – насосная станция; 2 – распределитель; 3 – мультипликатор давления; 4 – большая полость мультипликатора; 5 – смотровое окно; 6 – блок поршней; 7 – малая полость мультипликатора; 8 – манометр

Последовательность проведения эксперимента

Исходное положение. Блок БРС с дросселем диаметром $d_{др} = 3$ мм подключен к клапанному блоку испытываемой ГС. Вентиль В (рисунок 3.1) – закрыт. Блок БРС не работает. Опыт проводится в следующей последовательности (таблица 3.1) [91].

Таблица 3.1 – Последовательность проведения эксперимента

№ опыта	Последовательность проведения эксперимента
1	Снятие исходной характеристики ГС.
1.1	<ul style="list-style-type: none"> – запускается в работу насосная станция стенда; – нагрузка на ГС увеличиваются до $P_n=32$ МПа (16 МПа) пропорционально давлению в магистрали нагрузочных цилиндров стенда; – БРЗ фиксирует их значений; – показания манометра М1 вносятся в специальные таблицы.
1.2	Повышается давление и регистрируется его значение при котором происходит «страгивания» блока поршней с места.
1.3	<ul style="list-style-type: none"> – нагрузка на ГС увеличивается до времени срабатывания ПК – 42 (21) МПа испытываемой ГС; – БРЗ фиксирует их значений, без смещения блока поршней мультипликатора (происходит регистрация переходного процесса без участия блока БРС в работе клапанного блока ГС).
1.4	<ul style="list-style-type: none"> – прекращает действовать нагрузка на ГС и запись давления; – опыт повторяется дважды; – в случае не сходимости результатов опыта, необходимо считать их недействительными; – выявить и устранить причину, после чего повторить опыт.
Примечание. При проведении эксперимента допускается двукратное снижение давления в гидросистеме согласно ПБ.	
2	Процесс формирования рабочей характеристики ГС с использованием блока БРС.
2.1	<ul style="list-style-type: none"> – устанавливается дроссель диаметром $d_{др} = 3,5$ мм; – вентиль В открыт; – показания измерений вносятся в журнал контроля процесса проведения опыта.

Продолжение таблицы 3.1

№ опыта	Последовательность проведения эксперимента
2.2.	<ul style="list-style-type: none"> – насосная станция включается; – рабочая жидкость под давлением подается в нагнетательную магистраль; – блок поршней МД устанавливается в заряженное положение; – гидроцилиндр большего диаметра заполнен рабочей жидкостью полностью. – давление 32 (16) МПа.
2.3.	<ul style="list-style-type: none"> – включается насосная станция; – нагрузка на ГС устанавливается – 32 (16) МПа; – давление в сливной линии из блока БРС равно 32 (16) МПа; – не должно происходить смещения поршней МД.
2.4.	<ul style="list-style-type: none"> – включается БРЗ; – нагрузка на стойку повышается до 34 (17) МПа; – поддержание давления не менее 10 с; – значения давлений в поршневой полости стойки, время и ход блока поршней МД фиксируются в журнале проведения эксперимента.
2.5.	<ul style="list-style-type: none"> – давление в поршневой полости ГС устанавливается 36 (18) МПа; – поддержание давления не менее 5 с; – значения параметров фиксируются в соответствии с п. 2.4.
2.6	<ul style="list-style-type: none"> – давление в поршневой полости ГС устанавливается 38 (19), 40 (20) МПа; – опыт выполняется согласно с пунктом 2.4 методики.
2.7	<ul style="list-style-type: none"> – давление в поршневой полости ГС повышается до 42 (21) МПа; – постоянная регистрация всех параметров БРЗ; – при срабатывании ПК – переходный процесс в ГС представить графически.
2.8.	<ul style="list-style-type: none"> – нагрузка на ГС снижается до нулевой; – опыт 2 повторяется два раза.
3	<ul style="list-style-type: none"> – устанавливается дроссель $d_{др} = 2,5$ мм; – опыт повторяется согласно п. 2 методики.
4	<ul style="list-style-type: none"> – устанавливается дроссель $d_{др} = 2,0$ мм; – опыт повторяется согласно п. 2 методики.
5	<ul style="list-style-type: none"> – устанавливается дроссель $d_{др} = 3,0$ мм; – опыт повторяется согласно п. 2 методики.
6	<ul style="list-style-type: none"> – устанавливается дроссель $d_{др} = 1,5$ мм; – опыт повторяется согласно п. 2 методики.

3.2 Экспериментальные исследования процесса безимпульсного регулирования

Задачи при испытании БРС [91]:

- оценка самой возможности непрерывного безимпульсного регулирования сопротивления ГС;
- оценка перепада давлений в поршневых полостях мультипликатора БРС за цикл операций;
- оценка возможности колебаний давлений в поршневой полости ГС и в цилиндрах мультипликатора вследствие срабатывания предохранительного клапана ГС;
- оценка эффективности рекуперации энергии вытеснением рабочей жидкости из поршневой её полости ГС в напорную магистраль гидросистемы насосной станции стенда.

Испытываемая ГС устанавливается в зажимные каретки К1 и К2 нагрузочного стенда (рисунок 3.1). Полость высокого давления мультипликатора давления БРС подключается каналом «а» (рисунок 3.4) к поршневой полости ГС, а полость низкого давления МД каналом «б» подключается к нагнетательной магистрали насосной станции стенда. От датчиков давления ДД1 и ДД2 поступают сигналы о результатах измерений в блок регистрации данных БР.

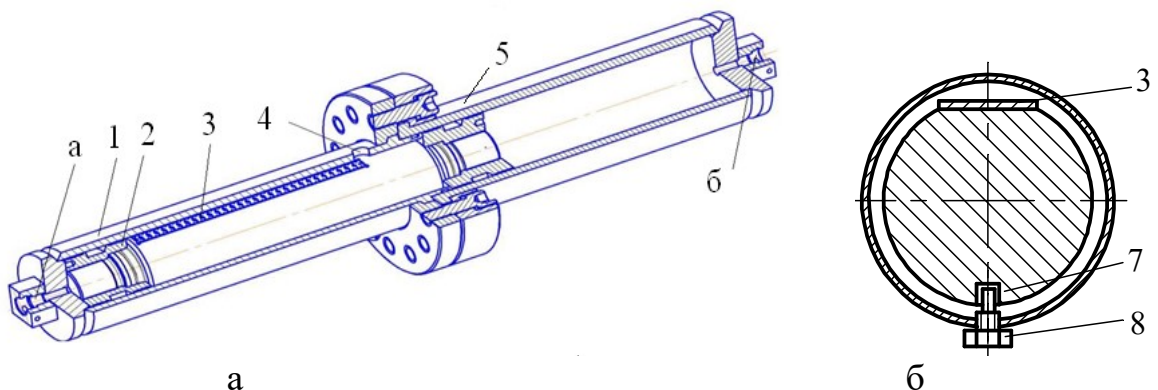


Рисунок 3.4 – Мультипликатор давления (а) и его поперечное сечение в районе мерной линейки (б)

Экспериментальный образец мультипликатора давления представляет собой двоянный гидроцилиндр (рисунок 3.4) [92], состоящий из цилиндра высокого давления 1 и цилиндра пониженного давления 5 с фланцевым их соединением. В цилиндр установлен блок поршней 2. Промежуточные полости мультипликатора

соединены отверстием 4 с атмосферой, что обеспечивает поддержание в них постоянного давления при изменении положения блока поршней и возможность контроля утечек в случае некачественного уплотнения поршней. Для недопущения произвольного поворота блока поршней в их штоке выполнен продольный паз 7, в который входит штифт 8 с возможностью осевого смещения штока. С другой стороны, на штоке поршней установлена мерная линейка 3 и предусмотрено окно 4 в цилиндре 1 для наблюдения за смещением поршней МД. Интенсивность перетока жидкости устанавливается сменными калиброванными дросселями с диаметрами: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 мм.

На рисунке 3.5 представлен нагрузочный стенд во время эксперимента: испытываемая гидростойка 3 установлена в двух встречно движущихся по направляющим 1 нажимных каретках 2 и 4. Элементы блока регулирования: мультипликатор давления – 7, дроссель с обратным клапаном – 5, вентиль – 6 подсоединены высоконапорными рукавами к магистралям насосной станции стенда и к испытываемой гидростойке МКЮ.2Ш-13/27.

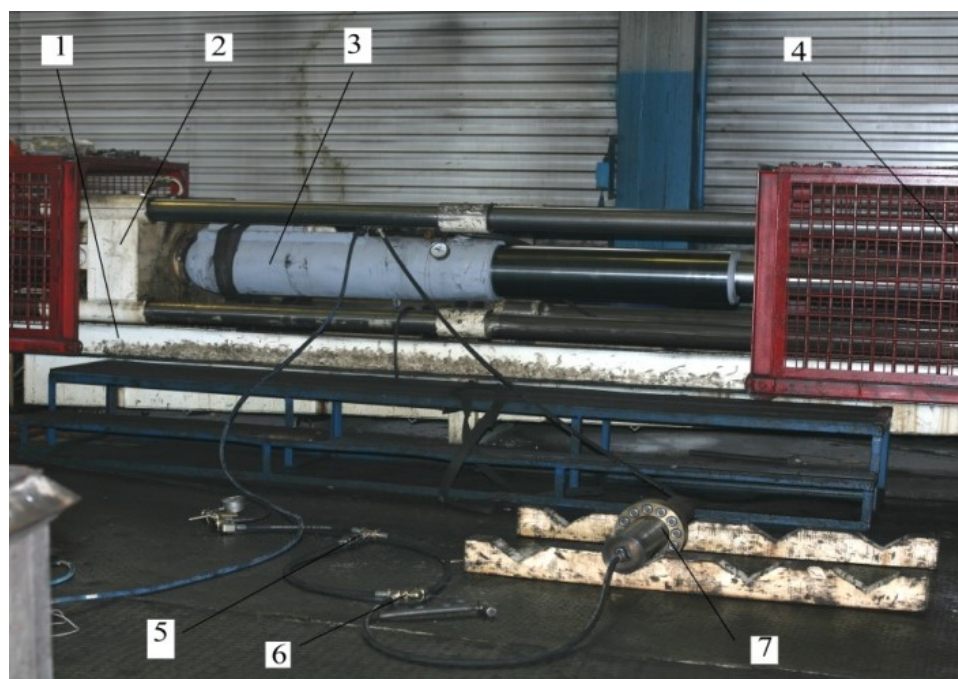


Рисунок 3.5 – Проведение испытаний на нагрузочном стенде ООО «Завод Красный Октябрь»

Номинальные значения давлений по данным технической документации секции крепи МКЮ.2Ш-13/27: срабатывания ПК – 42 МПа, в нагнетательной магистрали – 32 МПа.

Фактические давления с учётом условий обеспечения безопасности и

возможностей нагрузочного стенда были пропорционально снижены до номинального давления –18 МПа, обеспечиваемого насосной станцией и давления срабатывания предохранительного клапана – 26 МПа.

Программой экспериментальных исследований было предусмотрено проведение трех групп опытов: установочных, исследовательских и тестовых [91].

При проведении установочных испытаний, оценивалась устойчивость протекания фаз (Ф1, Ф2, Ф3) процесса в режиме повышения нагрузки на испытываемую гидростойку (рисунок 3.6):

- фаза 1 – повышение давления в поршневой полости гидростойки до уровня давления в сети насосной станции за время $t=3-5$ с;
- фаза 2 – сохранение значения давления в заданном диапазоне за время не менее $t=3-5$ с;
- фаза 3 – повышение давления в поршневой полости стойки за время $t=3-5$ с до момента срабатывания предохранительного клапана (точка С);
- фаза 4 – снижение нагрузки на испытываемую стойку до уровня, определяемого давлением в сливной магистрали насосной станции стенда за время $t=5-10$ с.

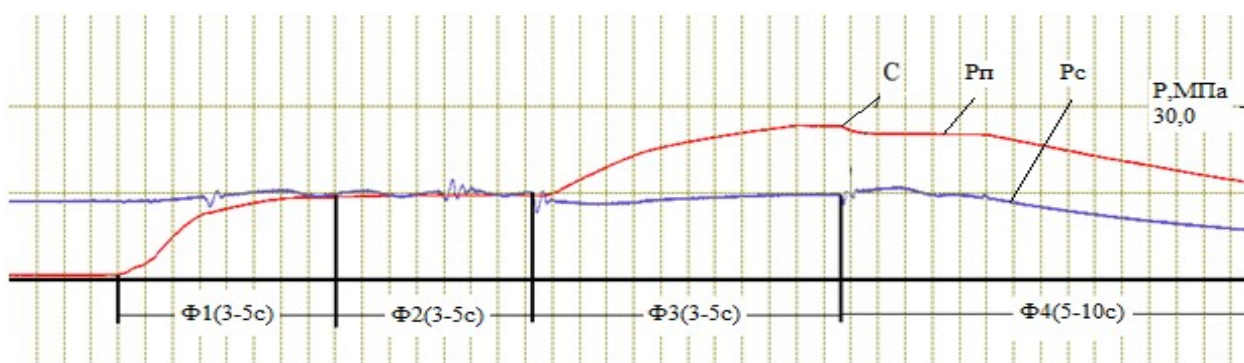


Рисунок 3.6 – Установочный режим проведения опыта

Проверялась также устойчивость смещений блока поршней в гидротрансформаторе в фазах Ф2 и Ф3 процесса и устойчивость их возвращения в исходное положение в конце выполнения Ф4.

В установочных опытах № У1-У3 (таблица 3.2) проводилась проверка устойчивости значений исходных параметров работы ГС и гидросистемы стенда в целом при отключенном блоке БРС. При проведении исследовательских опытов

№ 1.1-5.3 (таблица 3.2) определялись значения параметров режима работы БРС при установке калиброванных дросселей с разными диаметрами отверстий. Затем были проведены опыты № 6.1-6.3 (таблица 3.2) для проверки устойчивости значений параметров процесса при повторном проведении опытов.

Изменения давлений в исследуемой гидросистеме (рисунок 3.7-3.12) при проведении установочного опыта (У2) при отключенном БРС, опытов 1.2, 3.1, 5.1, 4.1 и 6.1 при подключенном блоке БРС с дросселями 3,5 мм, 3,0 мм, 2,0 мм, 1,5 мм соответственно. 1 – давление в поршневой полости стойки; 2 – давление в напорной магистрали гидросистемы.

Таблица 3.2 – Значения параметров процесса испытания блока БРС с ГС МКЮ.2Ш-13/27

№ Опыта	Время, час/мин	Диаметр дросселя Ддр, мм	Давления, МПа		Ход поршней, мм	Примечание
			В напорной магистрали НС	Срабатывание ПК		
У1	13.43	-	180	260	-	БРС отключен
У2	13.43	-	180	260	-	БРС отключен
У3	13.46	-	180	260	-	БРС отключен
1.1	13.51	3,5	180	250	полный	13.43
1.2	13.51	3,5	180	260	полный	-
1.3	13.55	3,5	180	260	полный	-
2.1	14.00	1,5	180	260	50	-
2.2	14.00	1,5	175	260	50	-
3.1	14.04	3,0	180	260	160	-
3.2	14.08	3,0	175–180	250	160	-
3.3	14.12	3,0	180	260	160	-
4.1	14.18	2,0	175–180	250	70	-
4.2	14.20	2,0	175–180	250	71	-
4.3	14.24	2,0	175–180	260	68	-
5.1	14.26	2,5	175–180	255	115	-
5.2	14.29	2,5	180–175	260	118	-
5.3	14.31	2,5	175–180	260	120	-
6.1	14.33	1,5	180–175	260	50	повторный
6.2	11.35	1,5	180	260	48	повторный
6.3	11.40	1,5	180	260	51	повторный

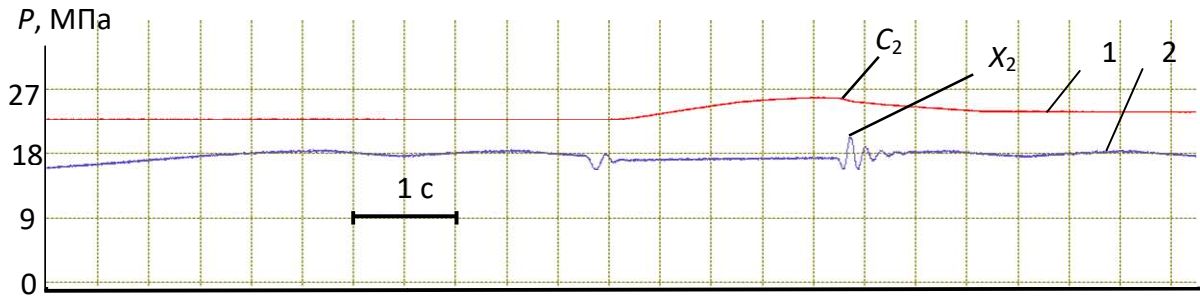


Рисунок 3.7 – Протокол опыта 2У, БРС отключен

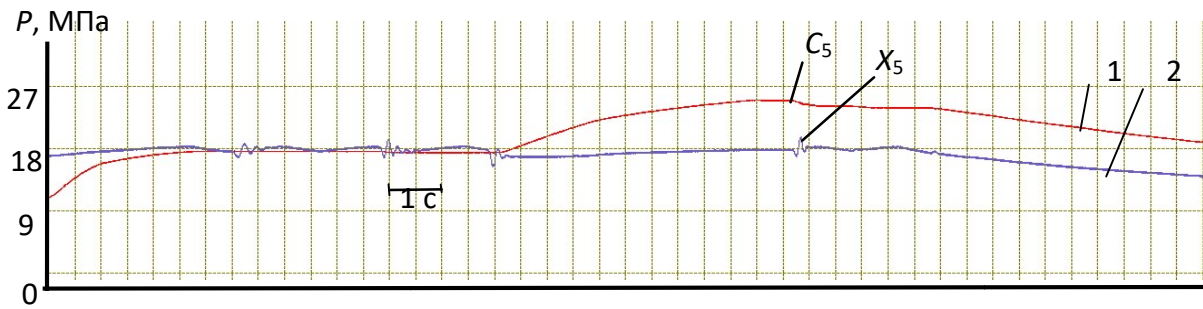


Рисунок 3.8 – Протокол опыта 1.2, диаметр дросселя 3,5 мм

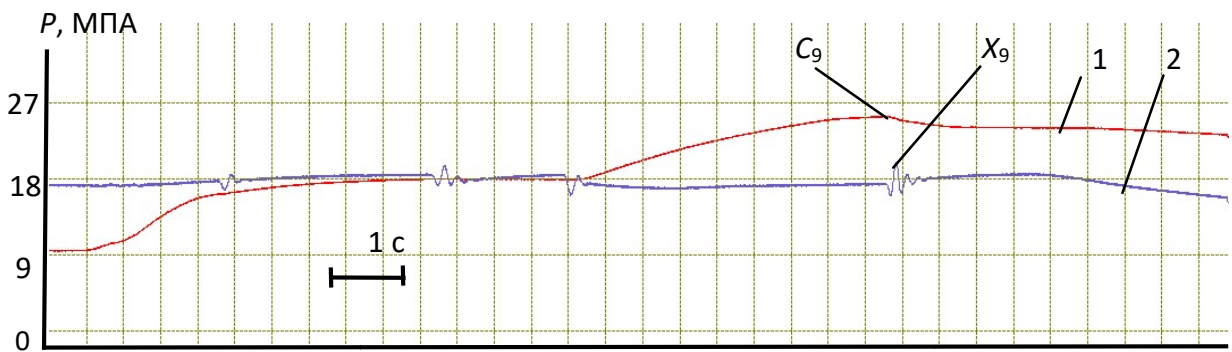


Рисунок 3.9 – Протокол опыта 3.1, диаметр дросселя 3,0 мм

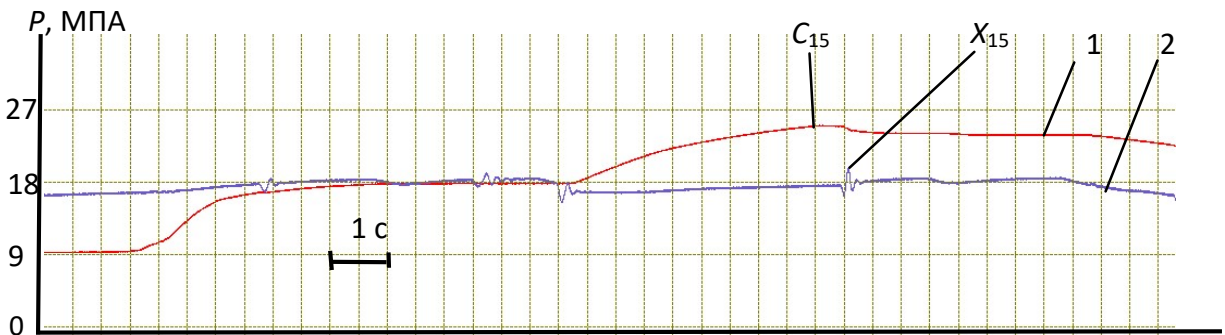


Рисунок 3.10 – Протокол опыта 5.1, диаметр дросселя 2,5 мм

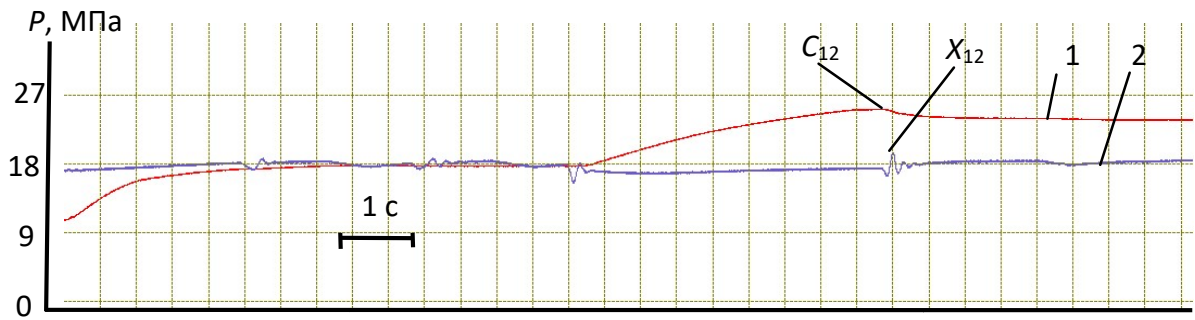


Рисунок 3.11 – Протокол опыта 4.1, диаметр дросселя 2,0 мм

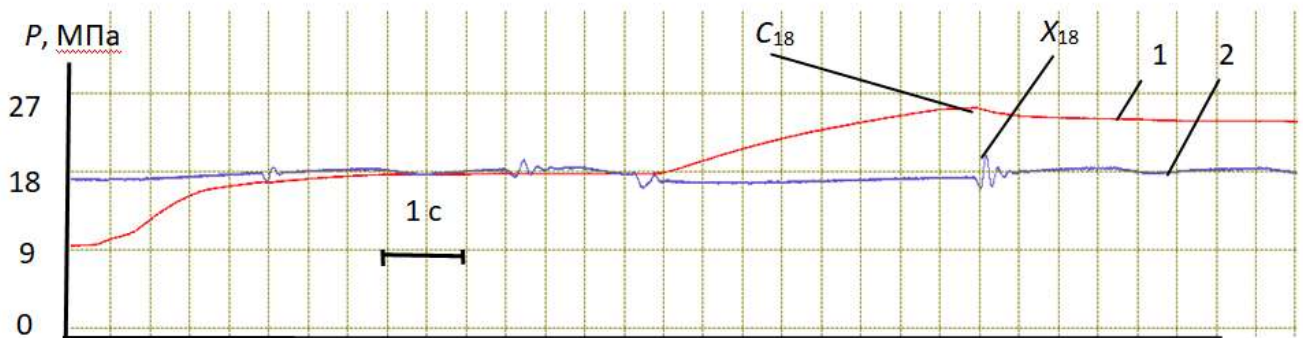


Рисунок 3.12 – Протокол опыта 6.1, диаметр дросселя 1,5 мм

По экспериментальным данным таблицы 3.2 построена зависимость перемещений блока поршней мультипликатора от диаметра устанавливаемых дросселей в блоке БРС (рисунок 3.13) при условии сохранения длительности цикла опыта постоянной.

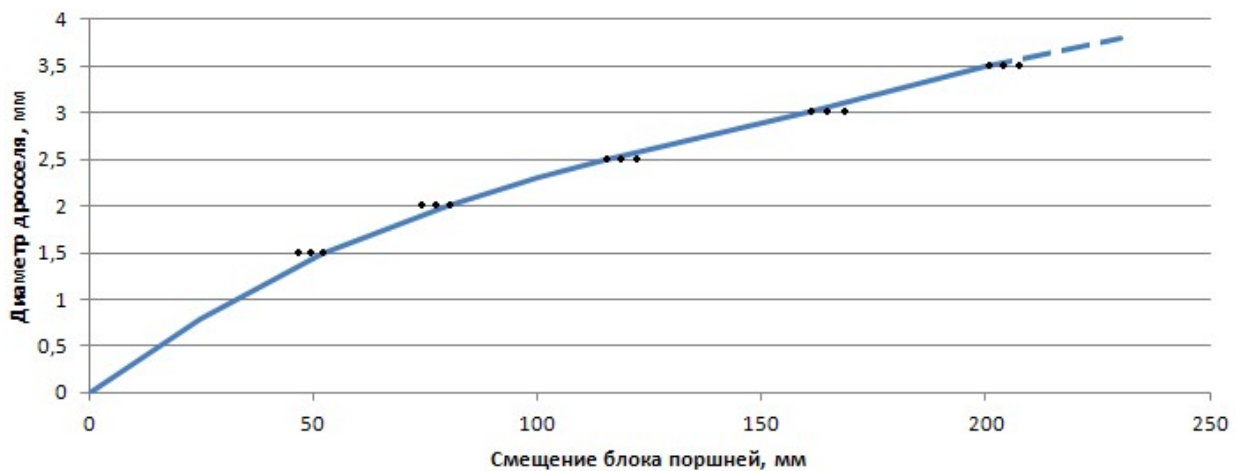


Рисунок 3.13 – Зависимость смещения блока поршней мультипликатора от диаметра дросселя за цикл

Продолжительность фаз в опытах (рисунки 3.7-3.12) удерживалась в заданных пределах, зафиксировано время срабатывания ПК (точки C_i) и реакции по давлению в полости на выходе мультипликатора (точки X_i).

Отмечено устойчивое смещение поршней мультипликатора с вытеснением рабочей жидкости в напорную магистраль насосной станции при давлениях в полости низкого давления более 18,0 МПа.

Увеличение диаметра дросселя приводит к пропорциональному увеличению смещений поршней мультипликатора при неизменной разности давлений, что подтверждает возможность эффективного регулирования жесткости рабочих характеристик гидростоек секций крепи.

Срабатывание ПК гидростойки сопровождалось смещением поршня испытываемой стойки, прекращением роста нагрузки и давления в поршневой её полости. Резких перепадов давлений или колебательных явлений нет. Движение блока поршней мультипликатора устойчивое без колебательных явлений.

Все эти факторы подтверждают возможность устойчивой рекуперации энергии горного давления в гидросистему СМК очистных комплексов.

Предложенные технические решения блока БРС обеспечивают: безимпульсное регулирование сопротивления гидростоек возрастающей нагрузке; рекуперацию энергии в гидросистему станда; исключают возможность возникновения динамических переходных процессов в момент срабатывания ПК и ударных гидравлических нагрузок на элементы гидросистемы в процессе управления, что подтверждает возможность безимпульсного непрерывного управления сопротивлением гидростоек СМК опусканию пород кровли.

По результатам экспериментальных исследований было признано целесообразным разработать и испытать опытного полноразмерного образца блока БРС совместно с ГС МКЮ.2Ш-13/27 секции крепи.

3.3 Разработка и испытание опытного образца блока безимпульсного регулирования

3.3.1 Разработка опытного образца блока безимпульсного регулирования

В результате исследований и разработки экспериментального блока безимпульсного регулирования, анализа условий эксплуатации и режимов работы механизированной крепи МКЮ.2Ш-13/27 на шахте «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс» был изготовлен и испытан на ООО «Завод Красный Октябрь» опытный экземпляр блока БРС.

Основные параметры опытного блока БРС приведены на рисунке 3.14.

Ориентировочные значения:

$$l_{рв} = l_{рн} = 52 \text{ мм};$$

$$h_{п.в} = h_{п.н} = 60 \text{ мм};$$

$$l_{со} = 20 \text{ мм}; \Delta l = 3...5 \text{ мм};$$

$$d_{в} = 100 \text{ мм}; d_{н} = 109 \text{ мм}.$$

Давление рабочей жидкости:

- на входе $P_{вх}$ – до 45 МПа;
- на выходе $P_{вых}$ – до 32 МПа.

Размеры мультипликатора принимаются с учетом следующих условий:

- принятого типоразмера цилиндра (из типоразмерного ряда);
- значений внутренних диаметров цилиндров низкого и высокого давлений

с учетом $\frac{d_{н}}{d_{в}} = 1,09$, и с учетом толщины оболочек;

– рабочий объем цилиндра высокого давления МД должен соответствовать условию (3.2):

$$V_{в} \geq \frac{\pi D_{ц}^2}{4} \Delta l_{ст} , \quad (3.2)$$

где $D_{ц}$ – внутренний диаметр цилиндра первой ступени гидростойки; $D_{ц} = 360$ мм; $\Delta l_{ст}$ – величина осадки стойки в лаве за цикл, $\Delta l_{ст} = 4$ мм – минимальное смещение стойки секции крепи МКЮ.2Ш-13/27 очистного комплекса для условий шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс»;

– прочностные параметры мультипликатора и внешних соединений (рукавов, арматуры) принимаются с учетом давления рабочей жидкости в поршневой полости гидростойки при срабатывании предохранительного клапана ($V_{ПКД} = 45 \text{ МПа}$).

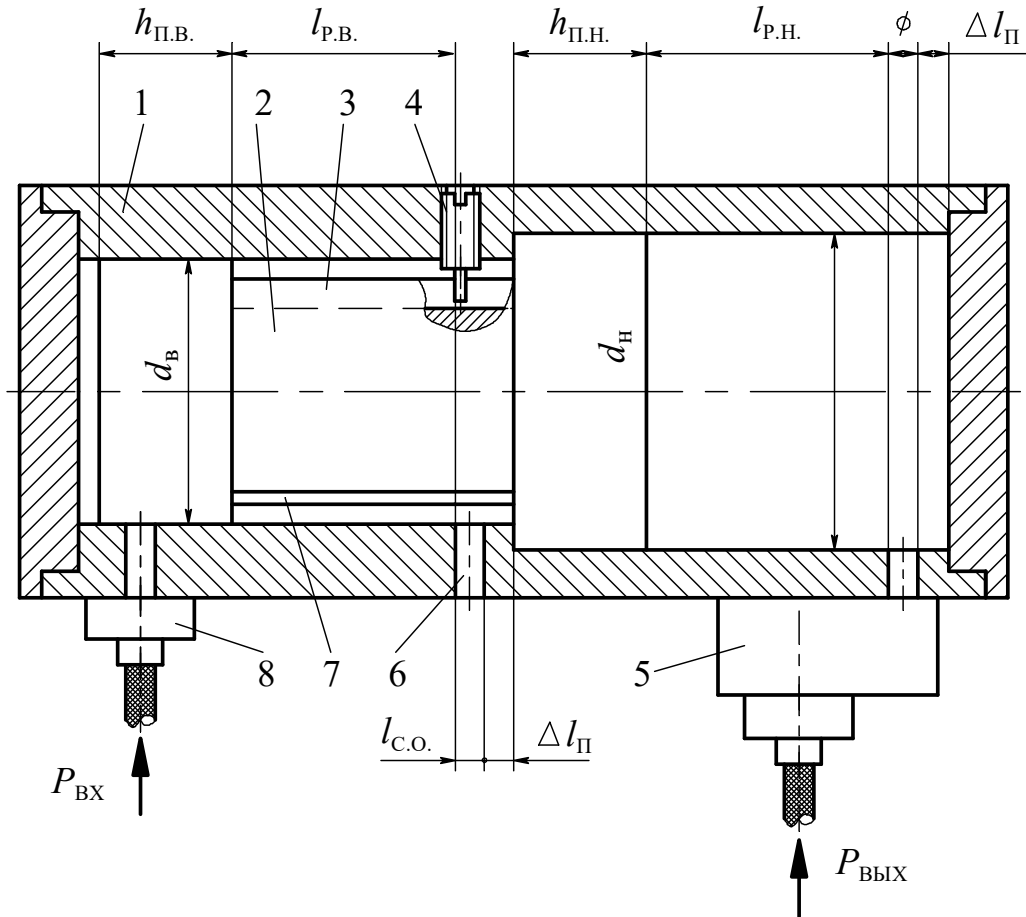


Рисунок 3.14 – Блок БРС. Общий вид: 1 – цилиндр двояный; 2 – блок поршней; 3 – паз; 4 – штифт; 5 – ввод низкого давления с дросселем, обратным и переливным клапанами и вентилем; 6 – смотровое окно; 7 – мерная линейка; 8 – ввод высокого давления с датчиком давления (датчик давления может быть установлен в клапанном блоке гидростойки)

3.3.2 Заводские испытания опытного образца блока безимпульсного регулирования

Испытание опытного образца блока БРС совместно со стойкой МКЮ.2Ш-13/27 проводилось на стенде ООО «Завод Красный Октябрь».

Были проведены пять опытов (таблица 3.3), из них три установочные (№1, 2, 3) и два опыта с полной циклической нагрузкой (№ 4 и 5) с изменением давления в поршневой полости испытываемой ГС от нулевой до давления

срабатывания предохранительного клапана ($P_{пк}=40$ МПа).

Таблица 3.3 – Значения параметров опытов

№ опыта	Дата, время	Назначение опыта	Значения контролируемых параметров
1	02.08.18 12-27	Проверка работоспособности систем стенда	$P_{нс}=10$ МПа $P_{п ст}=17$ МПа, $t=50$ с
2	02.08.18 12-31	Проверка работоспособности измерительных систем	$P_{нс}=8-12$ МПа $P_{п ст}=0-30$ МПа, $t=50$ с
3	02.08.18 13-22	Проверка работоспособности ББР при изменении давления до $P_{пк}=40$ МПа	$P_{нс}=27$ МПа $P_{п ст}$ до 30-40 МПа, $t=50$ с
4	02.08.18 13-24	Циклическая нагрузка	$P_{пк}=40$ МПа $P_{нс}=27$ МПа $P_{п ст}=(0-40-0)$ МПа, $t=50$ с
5	02.08.18 13-25	Повтор циклической нагрузки	$P_{пк}=40$ МПа $P_{нс}=25-27$ МПа $P_{п ст}=(0-40-0)$ МПа, $t=50$ с

Схема внешних соединений представлена на рисунке 3.15 [35, 84].

Опыт 1. Системы стенда (насосная станция, пульт управления, система контрольных измерений) – работоспособны.

Опыт 2. Измерительные системы работоспособны во всем диапазоне значений параметров проводимых опытов.

Опыт 3. Блок БРС включая мультипликатор работоспособны. Блок поршней смещается на полный ход.

Опыты 4 (рисунок 3.16) и 5 (рисунок 3.17). Циклическая нагрузка осуществлена в штатном режиме во всем диапазоне давлений 0-40-0 МПа в поршневой полости испытываемой ГС и в блоке БРС с мультипликатором. Длительность каждого опыта 50 с.

По результатам заводских испытаний принято решение изготовить два экземпляра блока БРС для последующих их испытаний в штатных условиях в СМК МКЮ в шахте «Имени И.Д.Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс».

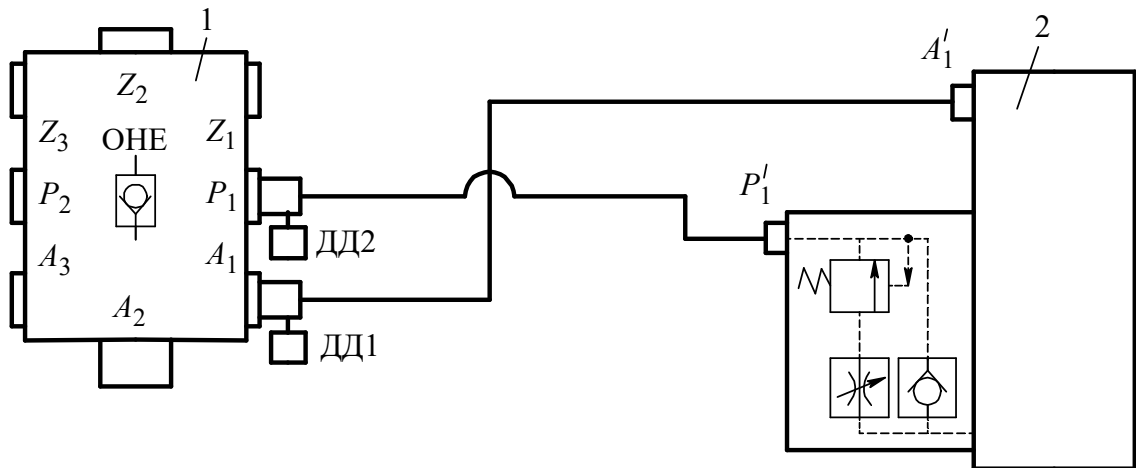


Рисунок 3.15 – Блок БРС. Схема внешних соединений: 1 – клапанный блок ОНЕ–№210539.11 гидростойки МКЮ2Ш 13/27 (P_1 и P_2 – вводы в ОНЕ ГС от напорной магистрали; A_1 , A_2 , A_3 – выходы из поршневой полости ГС; Z_1 , Z_2 , Z_3 – входы линий управления); 2 – блок БРС с мультипликатором (A'_1 – ввод в мультипликатор БРС из поршневой полости ГС (блок ОНЕ–№210539.11); P'_1 – ввод в блок БРС от напорной магистрали); 3 – датчики давления ДД1, ДД2

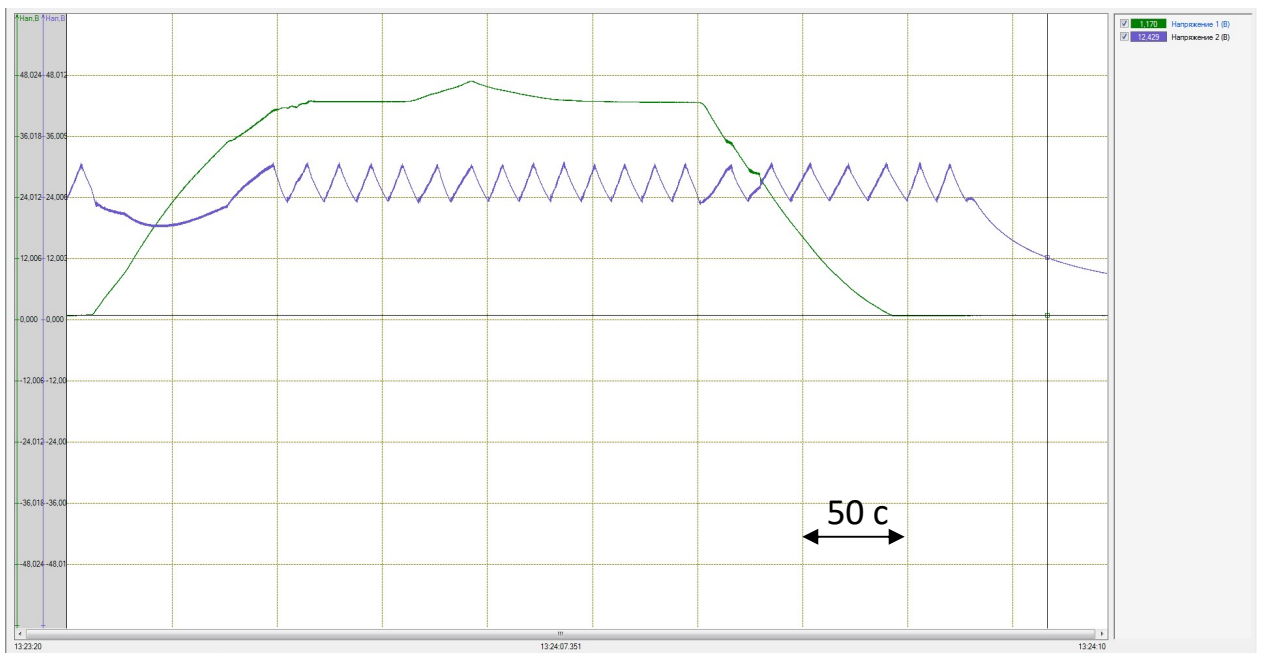


Рисунок 3.16 – Опыт 4: циклическая нагрузка

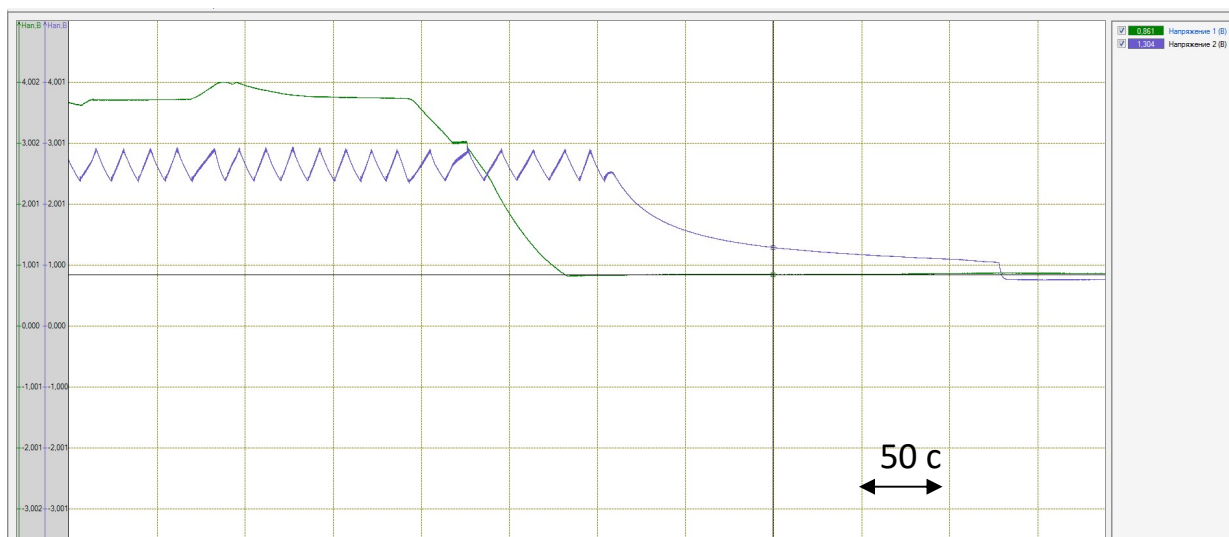


Рисунок 3.17 – Опыт 5: повтор циклической нагрузки

3.3.3 Шахтные испытания опытного образца блока безимпульсного регулирования

Два опытных образца блока БРС по подготовленному техническому заданию были спроектированы и изготовлены на ООО «Завод Красный Октябрь» (рисунок 3.18). Опытные блоки БРС предназначены для испытаний в производственных условиях – в очистном забое лавы 12-06 шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс».

Цель шахтных испытаний – оценка работоспособности блока БРС в производственных условиях с учетом фактического состояния гидросистем механизированной крепи МКЮ.2Ш-13/27 и значений её параметров.

Режим работы гидросистемы СМК в производственных условиях отличается большим диапазоном изменений давлений как по длине лавы (рисунок 2.6, таблица 2.3), так и в каждом цикле работы СМК во времени в зависимости от выполняемой ею операции и времени цикла. Поэтому для исключения влияния изменяемого давления в напорной магистрали на работу блока БРС на выходе блока в линии подключения его к напорной магистрали необходимо устанавливать подпорный клапан, настроенный на давление, равное номинальному давлению насосной станции СМК ОМК. В таком случае будет осуществлен принцип независимости режимов работы гидростоек СМК, блоков

безимпульсного регулирования гидросистем и механизированной крепи комплекса и гидросистемы защиты гидростоек СМК от перегрузок.



Рисунок 3.18 – Блок БРС

Значения параметров блоков БРС приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Параметры блоков БРС

Наименование параметра	Условное обозначение	Единица измерения	Значения		
			I	II	III
1. Диаметр цилиндра (внутренний) высокого давления	d_v	мм	100	100	100
2. Диаметр цилиндра (внутренний) низкого давления	d_n	мм	109	109	109
3. Смещение блока поршней (рабочий ход), не менее	l_{pv}	мм	52	72	92
4. Высота поршня высокого (низкого) давления	$h_{пв}$	мм	60	60	60
	$h_{пн}$	мм	60	60	60
5. Максимальное давление жидкости: на входе на выходе	$P_{вх}$	МПа	45	45	45
	$P_{вых}$	МПа	32	32	32

Производственные испытания блоков регулирования проведены в период с 06.11.18 по 12.11.18 в очистном забое лавы 12-06 пласта Надбайкаимского шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс» при соблюдении требований правил безопасности [100].

Два опытных образца БРС были установлены в лаве 12-06 в секциях крепи

№ 97, 105 (рисунок 3.19). Полости высокого давления БРС были подключены к поршневой полости ГС секций, а полость низкого давления через обратный клапан, дроссель диаметром 1 мм и вентиль – к напорной магистрали гидросистемы комплекса (рисунок 3.20).

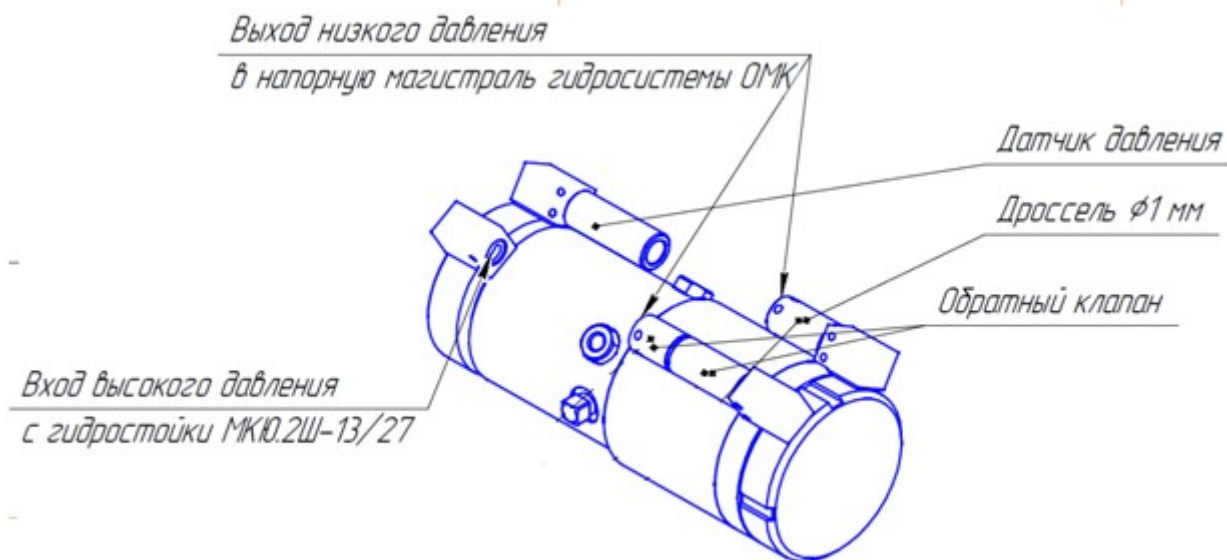


Рисунок 3.19 – Блок БРС ГС секции механизированной крепи

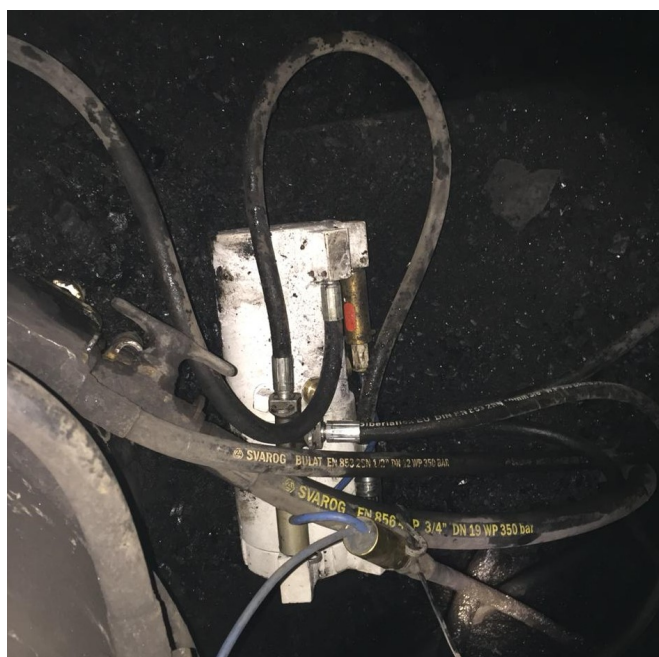


Рисунок 3.20 – Положение блока БРС на гидростойке секции крепи МКЮ.2Ш-13/27 в лаве 12-06

При испытаниях контролировались: давления в напорной магистрали гидросистемы и в поршневой полости ГС секции крепи с подключением датчиков к блоку управления секцией (рисунок 3.21, а).

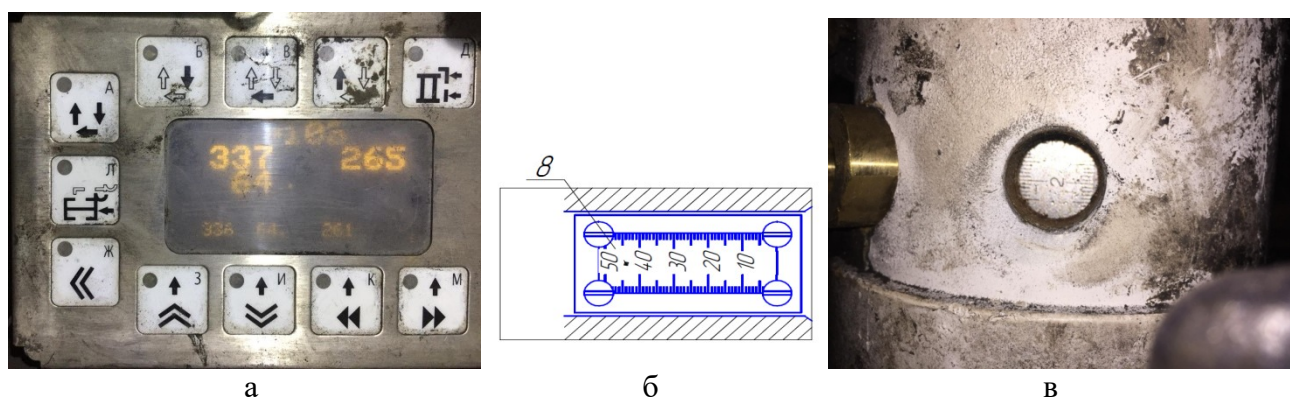


Рисунок 3.21 – Блок управления секцией: а – показания величины давлений (слева – давление в поршневой полости ГС; справа – давление в напорной магистрали); б – измерительная линейка БРС; в – смотровое окно БРС

Смещение поршней блока БРС при работе в течение цикла операций контролировалось визуально по положению измерительной линейки, закрепленной на штоке поршней (рисунок 3.21, б и в) относительно отметки смотрового окна.

На рисунках 3.22-3.25 представлены результаты измерений давлений за цикл операций: P_{Π} – давление в поршневой полости ГС; $P_{\text{М}}$ – давление в напорной магистрали.

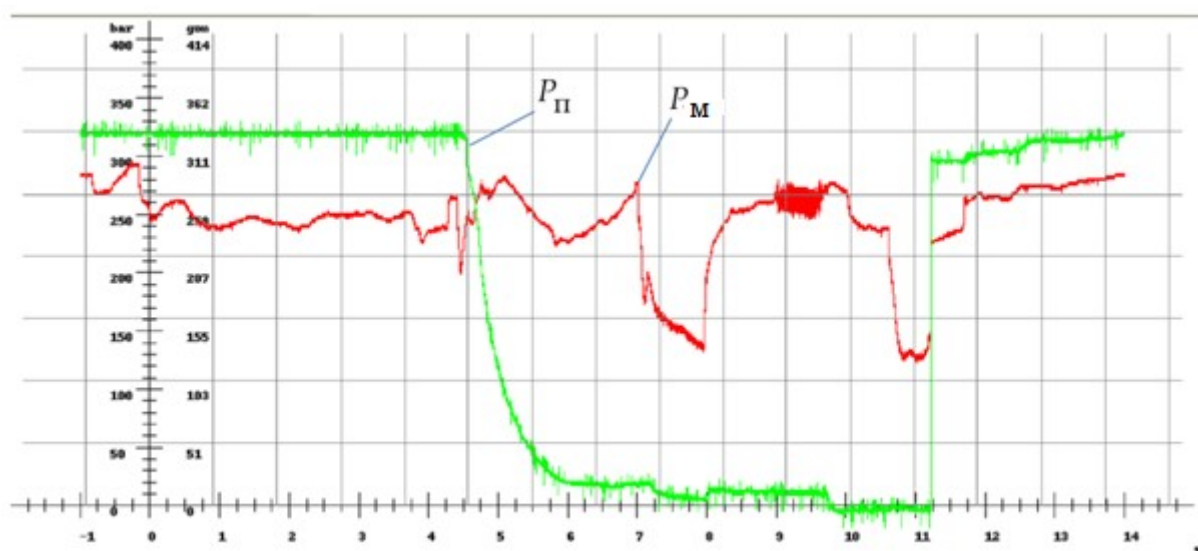


Рисунок 3.22 – Осциллограмма давлений в поршневой полости ГС и напорной магистрали секции крепи, цикл 1

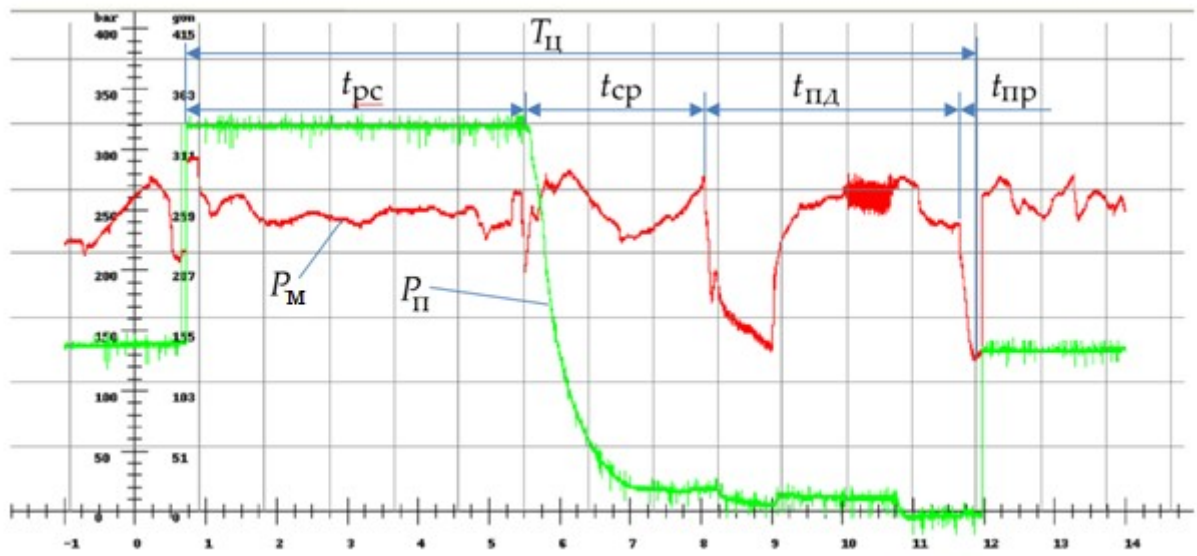


Рисунок 3.23 – Осциллограмма давлений в поршневой полости ГС и напорной магистрали секции крепи, цикл 2

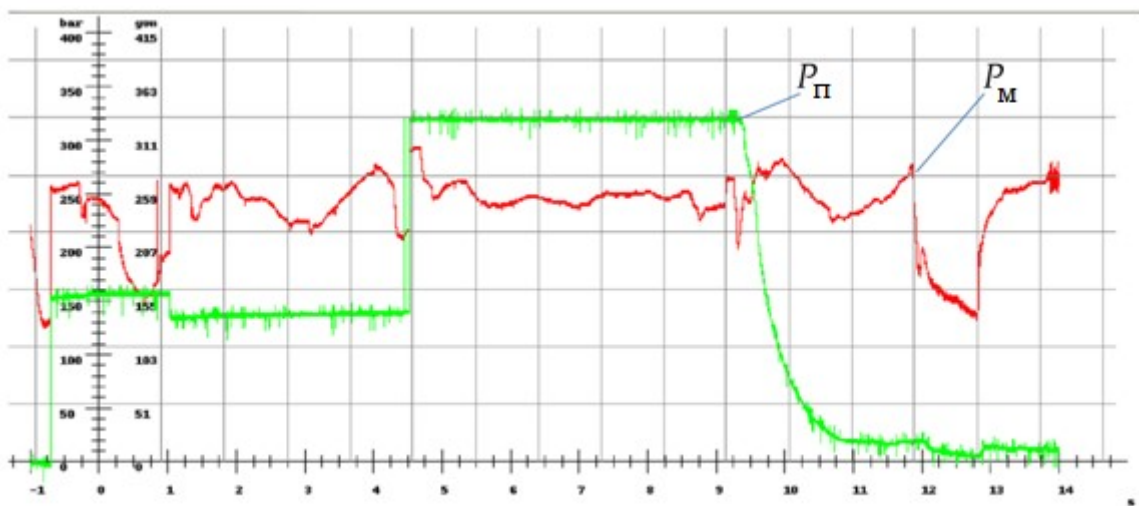


Рисунок 3.24 – Осциллограмма давлений в поршневой полости ГС и напорной магистрали секции крепи, цикл 3

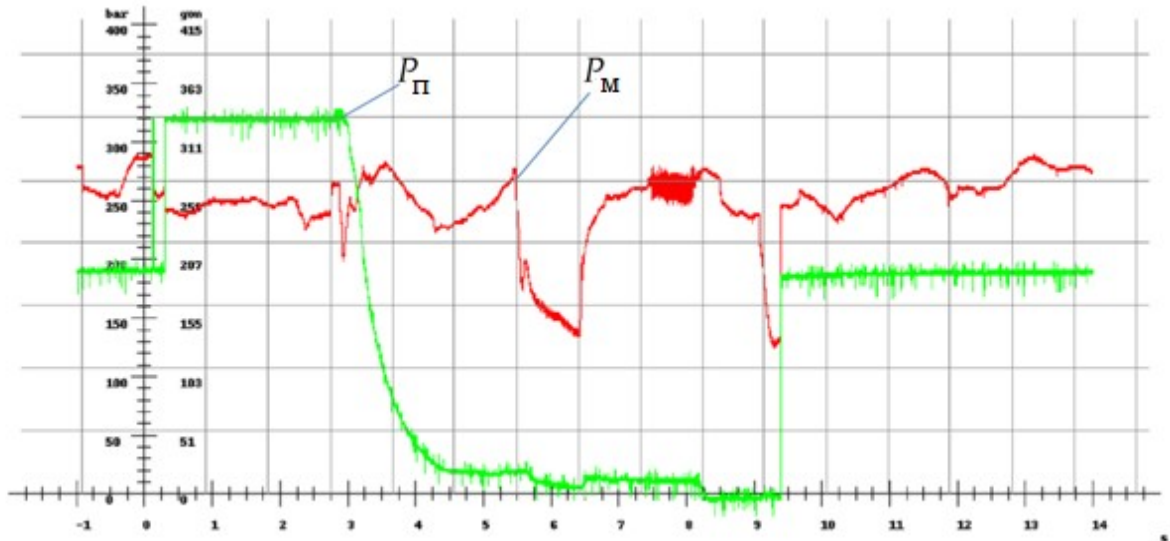


Рисунок 3.25 – Осциллограмма давлений в поршневой полости ГС и напорной магистрали секции крепи, цикл 4

На всех осциллограммах четко отражены особенности процессов при выполнении всех операций цикла: поддержания кровли и регулирования горного давления ($t_{p.c}$), разгрузки ГС (снятие распора – $t_{c.p}$), передвижки секции крепи ($t_{пд}$) и принудительного распора ($t_{пр}$):

$$T_{ц} = t_{p.c} + t_{c.p} + t_{пд} + t_{пр}.$$

Таким образом, можно судить об эффективности циклических процессов, происходящих в гидроприводе секции механизированной крепи.

Время снятия распора составило $t_{c.p}=2,5-2,7$ с, время передвижки СМК $t_{пд}=4-5$ с, время распора ГС СМК $t_{пр} \leq 1$ с, время регулирования сопротивления $t_{p.c}$ определяется временем цикла выемки ($t_{p.c} = T_{ц} - \sum t_i \approx T_{ц}$).

При выполнении этих операций в напорной магистрали СМК МКЮ.2Ш-13/27 наблюдается большая динамика процессов по давлению и наличие переходных процессов в гидроприводе ГС и в напорной магистрали, что обуславливает необходимость установки подпорных клапанов на выходе из БРС в местах подключения к напорной магистрали для исключения влияния их на работу блоков БРС.

При перепадах давления в напорной и сливной магистралях 8 МПа и более

наблюдалось движение поршней блока, что фиксировалось по перемещениям измерительной линейки, которая установлена внутри блока (рисунок 3.21). При перепаде давления 8 МПа перемещение поршней составляло 20-30 мм, что подтверждает факт передачи энергии смещения боковых пород в напорную магистраль гидросистемы ОМК.

При разгрузке стойки и передвижке секции крепи блок поршней БРС возвращался в исходное положение, что подтверждает работоспособность и цикличность работы блока БРС.

3.4 Выводы по главе 3

На основании результатов заводских испытаний экспериментального блока БРС гидростоек СМК опусканию пород непосредственной кровли и шахтных испытаний опытных образцов блоков БРС, реализованных по предложенным схемном и конструктивном технических решениях, сформулированы следующие выводы:

1. Блок БРС, выполненный по предложенным техническим решениям, обеспечивает непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления ГС возрастающей нагрузке в режиме управления ГД, чем исключает резко переменные нагрузки на породы непосредственной кровли.

2. Блок БРС обеспечивает передачу энергии конвергенции боковых пород, вызывающей деформацию стойки, в гидросистему крепи очистного механизированного комплекса.

3. Процесс регулирования, включая процесс срабатывания ПК гидростойки, не вызывает колебаний давления в гидросистеме привода гидростоек и в гидромагистралях механизированной крепи.

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ, АДАПТИВНЫХ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИЙ КРЕПИ

4.1 Основные направления поиска технических решений

Повышение устойчивости процесса взаимодействия СМК с непосредственной кровлей и увеличение скорости крепления являются необходимым условием повышения устойчивости и эффективности технологического процесса добычи угля в длинных КМОЗ угольных шахт. Для реализации данной цели необходим поиск и создание новых конструктивных и технических решений как самой СМК [78], так и совершенствование рабочей характеристики гидропривода, обеспечивающих снижение динамики изменчивости силовых взаимодействий СМК с непосредственной кровлей и, следовательно, уменьшение вероятности разрушения и высыпания пород кровли в межстоечное пространство, уменьшение времени выполнения вспомогательных операций цикла передвижки СМК [77], способствующих увеличению скорости крепления очистного забоя.

В основу разработанных технических решений заложены следующие инновационные принципы [94, 95]:

- безимпульсный способ регулирования сопротивления гидростоек СМК опусканию пород кровли;
- разделение функции регулирования горного давления и функции защиты СМК от перегрузок;
- рекуперация энергии горного давления в напорную магистраль гидросистемы комплекса;
- способ циклической передвижки СМК при неподвижных силовых контактах распорных её элементов с кровлей и почвой в момент передвижки СМК;
- компенсационный перенос распорных усилий с перекрытия и основания СМК на специальные неподвижные распорные элементы в момент передвижки;
- уменьшение диапазона перепада давлений в поршневых полостях гидростоек при выполнении операций цикла выемки;

- изменение (адаптация) деформационно–силовой характеристики гидропривода стоек СМК с изменением скорости опускания непосредственной кровли.

Эти принципы нашли отражение далее в структурных построениях секций крепи (рисунок 4.1):

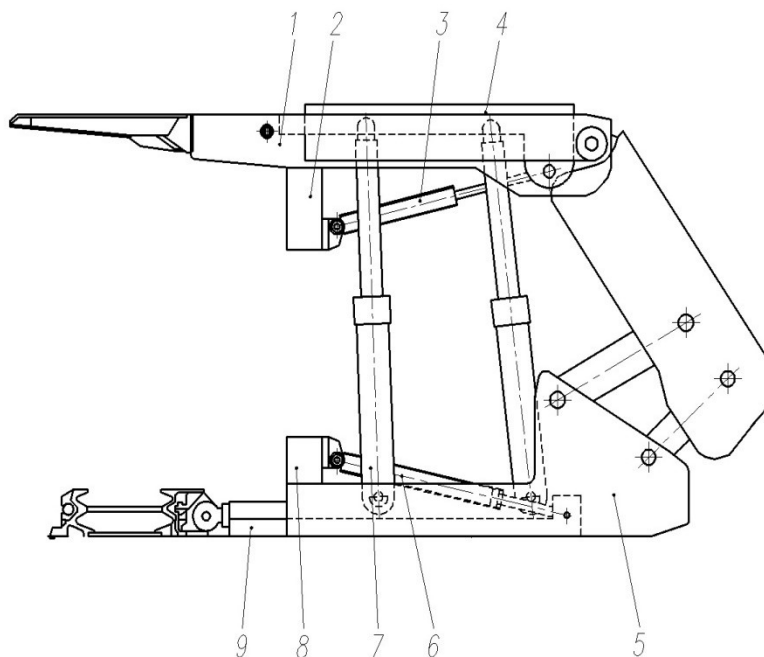


Рисунок 4.1 – Секции механизированной крепи. Общий вид

- в специальных опорных и направляющих элементах передвижки СМК по основанию (направляющая балка 9) и по перекрытию (опорная балка 4);

- в симметричном расположении направляющей балки 9 относительно основания 5, при этом опорный механизм через траверсу 8 обеспечивает приподъем носка основания с опорой на балку при передвижке секции гидродомкратом 6;

- в симметричном расположении в продольном пазу перекрытия 1 опорной балки 4 с возможностью пошаговой её передвижки гидродомкратом 3 относительно перекрытия;

- основание и перекрытие секции оборудованы опорными механизмами, закрепленными на траверсах 2 и 8, обеспечивающими специальными гидропатронами компенсационный перенос распорных усилий стоек 7 через специальные подшипниковые опоры скольжения на направляющую и опорную

балки.

Структура разработанной рабочей характеристики гидростойки СМК (точки 11-15) в сравнении с типовой рабочей характеристикой (точки 1-10) представлена на рисунке 4.2 [93, 94]. В характеристике установлены уровни по давлению в поршневых полостях стоек, обеспечивающие начальный распор секции ($P_{н.р}$), достаточный для исключения расслоения пород непосредственной кровли, необходимый подпор ($P_{пн}$) секции при передвижке, и выделены специальные зоны I – III. Зона I отражает пределы регулирования сопротивления ($P_{р.с}$) секции крепи (зона адаптации СМК к скорости опускания пород кровли). Зона II отражает уровень давления настройки предохранительных клапанов, выполняющих исключительно функцию защиты секции от перегрузок и породы непосредственной кровли от разрушения. Зоны III разделяют функциональные зоны I и II для исключения ложных срабатываний из-за их взаимовлияний или наложений.

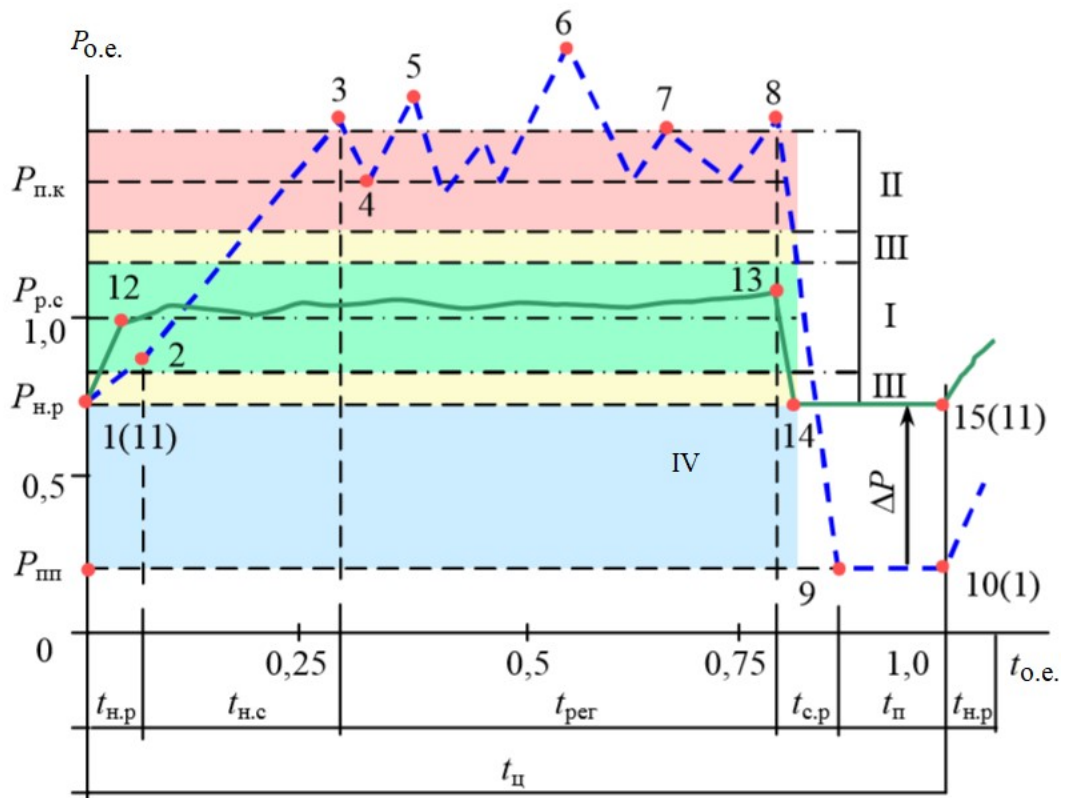


Рисунок 4.2 – Рабочие характеристики гидростойки СМК в относительных единицах (о.е.): I – зона регулирования сопротивления ($P_{р.с}$); II – зона настройки предохранительного клапана (зона защиты); III, IV – разделительные зоны; $t_{ц}$ – длительность цикла работы секции крепи

Уровень давления подпора ($P_{\text{пл}}$) при передвижке секции может быть поднят, при необходимости, до уровня начального распора, что может быть осуществлено использованием специальных распорных элементов в СМК с повышенными распорными усилиями, обеспечивающими неподвижность их контакта с кровлей при передвижке секции.

Способ передвижки такой секции механизированной крепи может осуществляться в зависимости от условий в трех различных режимах: в режиме частичной разгрузки, с частичной компенсацией усилий распора и с переносом их на опорные элементы, и с разрывом контакта перекрытия секции с непосредственной кровлей. При этом работа в каждом из трех режимов включает последовательное выполнение операций (рисунок 4.2): разгрузку гидростоек (точки 13-14), передвижку секции (точки 14-15) и последующий распор гидростоек (точки 11-12) с опорой основания 5 (рисунок 4.1) в почву и перекрытия 1 в кровлю.

Уменьшение влияния циклически повторяющихся силовых воздействий на состояние непосредственной кровли при передвижке секций крепи обеспечивается компенсацией распорных усилий на распорную и направляющую балки. При этом передвижка секций крепи осуществляется при неподвижных контактах распорной балки 4 с кровлей и направляющей балки 6 с почвой. Передвижки СМК в безразгрузочном режиме и в режиме с подпором обеспечиваются снижением сил трения с использованием подшипниковых опор скольжения по опорным балкам.

Безимпульсное регулирование сопротивления гидростоек опусканию пород кровли также обеспечивает возможность передачи части энергии ГД в гидросистему ОМК и ее последующее полезное использование. Изменённая структура СМК и параметры предлагаемой рабочей характеристики гидропривода ГС СМК с разделением функций защиты и управления ГД, безимпульсным регулированием сопротивления гидростоек секций крепи обеспечат следующее:

1. Снижение квазистатического и динамического «топтанья» пород кровли и, как следствие, повышение устойчивости процесса силовых взаимодействий

СМК с непосредственной кровлей и процесса ведения очистных работ в КМОЗ.

2. Снижение вероятности раздавливания пород на локальных участках и образования пылевых прослоев на жестких перекрытиях СМК.

3. Повышение квазистатической адаптивности секции крепи к изменяемой случайным образом скорости опускания пород кровли.

4. Передачу части энергии ГД в гидросистему ОМК для её полезного использования.

4.2 Обоснование структуры секции механизированной крепи с направляющей и опорной балками

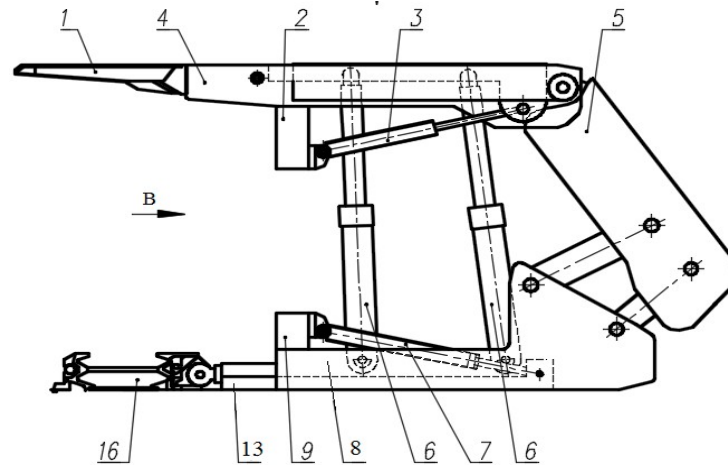
Литературный анализ и патентный поиск показали, что недостатками известных технических решений являются невозможность передвижки СМК с увеличенным подпором; повышающее вероятность ее заклинивания между почвой и кровлей при передвижке к забою; неуравновешенное положение секции крепи в вертикальной плоскости; передвижка секции сопровождается «топтанием» пород кровли при снятии нагрузки и при осуществлении последующего распора, что ухудшает состояние кровли в очистном забое и снижает качество управления горным давлением.

В связи с этим возникла необходимость разработки новых конструктивных и технических решений СМК. Предложено запатентованное решение секции гидрофицированной крепи с направляющей и опорной балками ОМК [71].

Секция состоит (рисунок 4.3) из перекрытия 4 с козырьком 1 и порталом 2, опорной балки 10, которая гидродомкратом 3 соединена с порталом 2 основания секции, и через портал 9 гидродомкратом 7 с направляющей балкой 13, которая шарнирно другим концом соединена со ставом забойного скребкового конвейера 16. Опорная балка 10 установлена в пазу перекрытия с возможностью перемещения не менее чем на шаг передвижки секции. Завальное ограждение 5 соединено шарнирно с перекрытием 4 и с основанием 8 секции крепи. Перекрытие 4 опирается на основание 8 распорными стойками 6. Опорная балка 10 через скользящую подшипниковую каретку 11 (рисунок 4.3, б) с

гидропатроном 12 опирается на портал 2 перекрытия секции крепи. Основание 8 своим порталом 9 через гидропатрон 15 и скользящую подшипниковую каретку 14 опирается на направляющую балку 13.

а)



б)

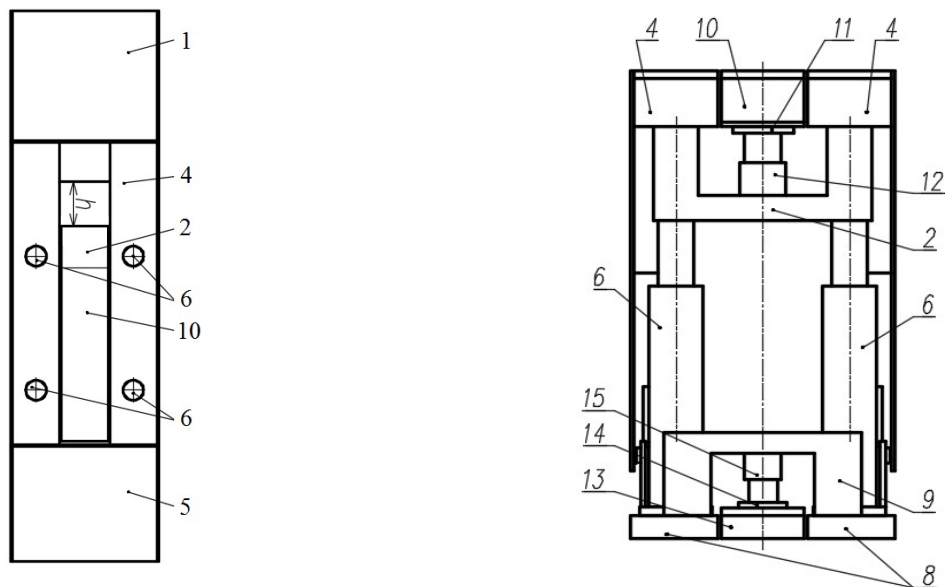


Рисунок 4.3 - СМК с направляющей и опорной балкой

Таким образом техническое решение обеспечивает:

- шагающую передвижку СМК с приподъемом передней части основания над почвой пласта с активным или пассивным подпором перекрытия в кровлю;
- передвижку СМК с регулируемым подпором, либо с разрывом контакта с кровлей в зависимости от ГГУ и прочностных свойств почвы и непосредственной кровли;
- передвижку СМК в безразгрузочном режиме, которая исключается динамическое и статическое топтание кровли.

4.3 Обоснование структуры секции механизированной крепи с телескопическим перекрытием

Целью технического решения является обеспечение возможности передвижки забойной ступени перекрытия секции крепи с увеличенным подпором, вслед за движением комбайна с выемкой угля в очистном забое, с последующим её распором без снятия распора с задней ступени секции и соседних секций, что обеспечит качественное поддержание призабойной полосы непосредственной кровли, при этом достигаются следующие технологические преимущества: снятие ограничения скорости подачи комбайна по скорости крепления лавы уменьшением времени передвижки забойной ступени секции, чем секции в целом, и обеспечивается возможность выполнения других схем групповой передвижки СМК в зависимости от горно-геологических и технологических условий.

Литературный анализ и патентный поиск показали, что недостатками известных технических решений являются невозможность передвижки гидравлической механизированной секции крепи без передвижки её основания для крепления полосы кровли у забоя, например, после опережающей выемки очистным комбайном верхней пачки пласта, что провоцирует развитие трещин в породах и ухудшает в целом состояние кровли в забое; не обеспечивается передвижка забойной части секции крепи к забою с увеличенным подпором при повышенной конвергенции боковых пород; неуравновешенность секции крепи в вертикальной плоскости приводит при передвижке с подпором к расклиниванию её между кровлей и почвой; жесткое перекрытие секции крепи исключает, при интенсивном выделении газа, возможность увеличения ширины призабойного пространства с поддержанием кровли.

Предложено запатентованное решение СМК с телескопическим перекрытием [72]. СМК включает следующие структурные элементы (рисунки 4.4-4.8): забойное 2 и завальное 5 перекрытия, которые соединены телескопически, при этом консоли 20 (рисунки 4.7 и 4.8), соединённые шарнирами 21 с завальными перекрытием входят в пазы забойного перекрытия и перекрывают образующиеся окна

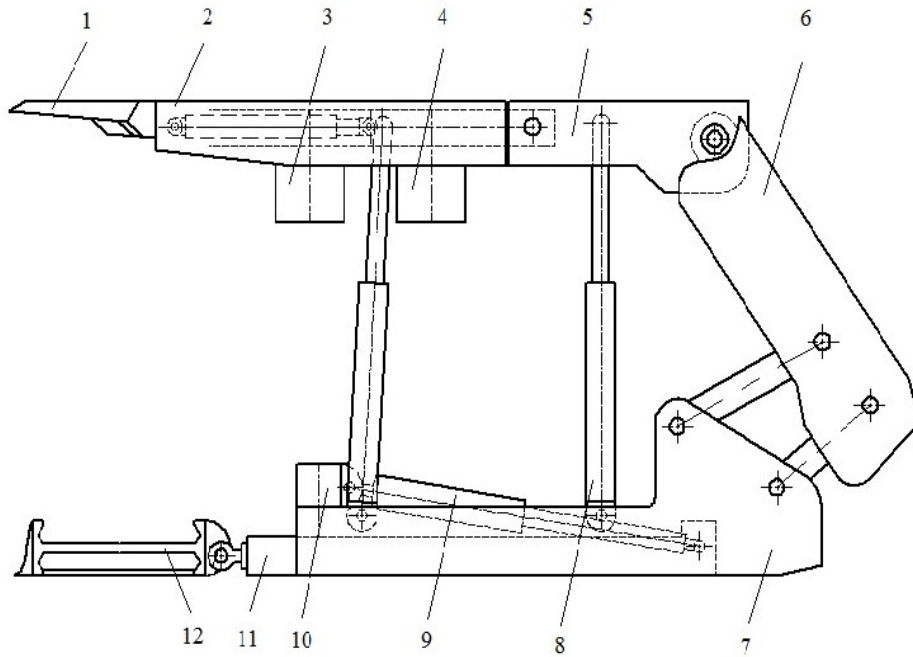


Рисунок 4.4 – Секция гидрофицированной крепи с телескопическим перекрытием

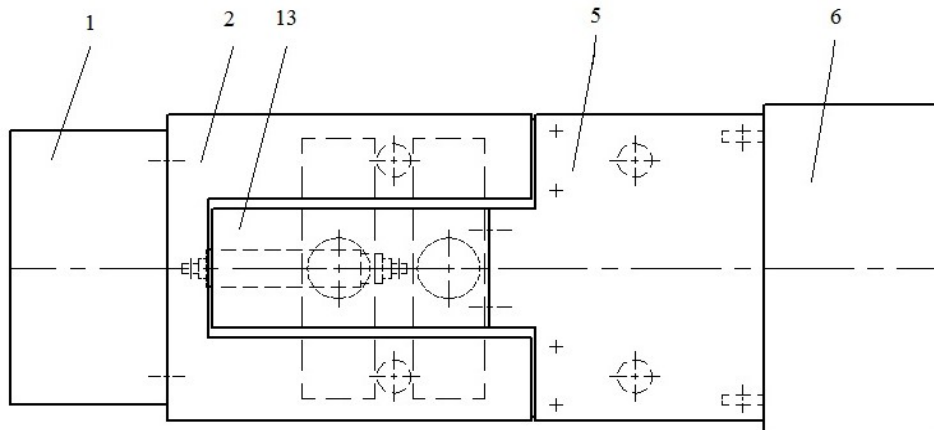


Рисунок 4.5 – Секция гидрофицированной крепи в исходном положении (вид сверху)

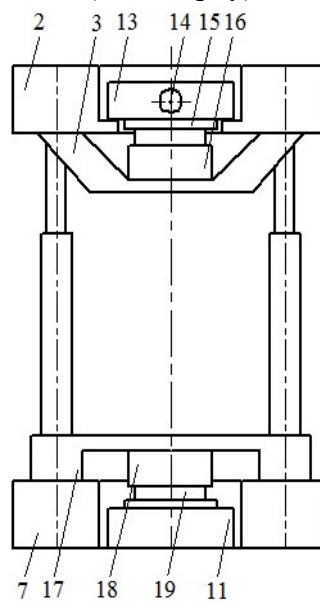


Рисунок 4.6 – Секция гидрофицированной крепи (вид спереди)

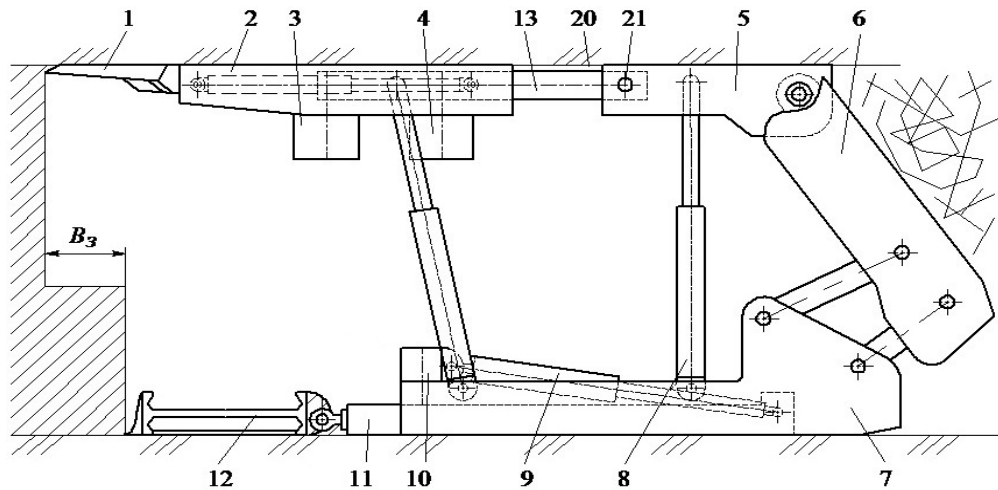


Рисунок 4.7 – Секция гидрофицированной крепи с выдвинутой забойной ступенью перекрытия

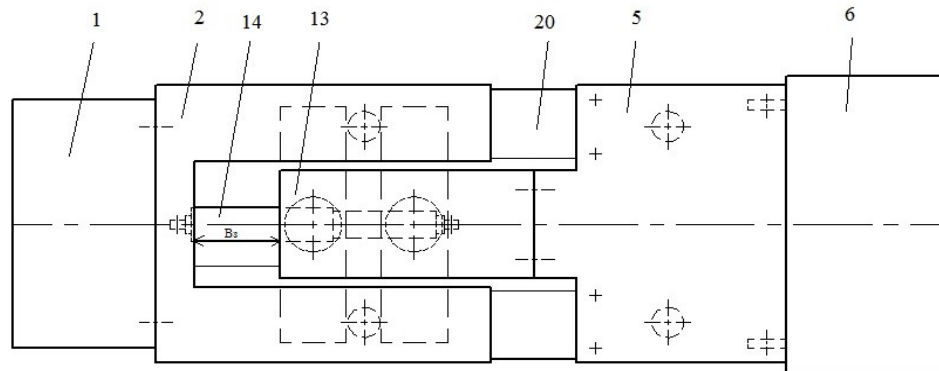


Рисунок 4.8 – Секция гидрофицированной крепи с выдвинутой забойной ступенью перекрытия (вид сверху)

при раздвижке перекрытий. К забойному перекрытию 2 шарнирно крепится козырёк 1, а завальное перекрытие ограждающим щитом 6 соединено с основанием 7 секции. Перекрытия 2 и 5 опираются на основание 7 гидростойками 8, на забойном перекрытии закреплены траверсы 3 и 4 и на основании секции – траверса 10. На траверсах установлены механизмы компенсационного переноса распорных усилий с основания на направляющую балку 11.

Механизмы компенсационного переноса распорных усилий состоят (рисунок 4.6) из гидропатронов 16 и 18, которые опираются через подшипниковые опоры скольжения 15 и 19 соответственно на балки 13 и 11.

Передвижка секции крепи и опорной балки и телескопическая выдвигка забойной ступени осуществляются гидродомкратом 14 (рисунок 4.8) по перекрытию и гидродомкратом 9 по основанию.

Секция крепи обеспечивает передвижку забойного перекрытия секции с повышенным подпором, качественное поддержание призабойной полосы непосредственной кровли, предотвращает развитие в ней трещин, при этом распор передней ступени осуществляется без снятия распора с задней ступени секции и соседних секций, что уменьшает «топтание» кровли, при этом достигаются следующие технологические преимущества: возможность увеличения сечения призабойного пространства забоя и, следовательно, уменьшение ограничения производительности комбайна по газу, сокращение времени передвижки забойного перекрытия секции, в сравнении с передвижкой секции в целом, и обеспечивается возможность выполнения большего количества схем групповой передвижки крепи в КМОЗ в зависимости от горно-геологических и технологических условий работы.

4.4 Обоснование структуры секции механизированной крепи с телескопическими перекрытием и основанием

Литературный анализ и патентный поиск показали, что недостатками известных технических решений является то, что жесткое основание СМК исключает возможность увеличения ширины призабойного пространства с поддержанием кровли в случае повышенного выделения газов из пласта и боковых пород в забое; СМК исключает возможность ослабления прочности пласта в забое регулированием отжима увеличением ширины призабойного пространства.

Предложено запатентованное решение СМК с телескопическими основанием и перекрытием [73]. СМК состоит из забойной и посадочной частей (ступеней), соединённых телескопически по перекрытию и основанию (рисунки 4.9-4.16).

Забойная ступень СМК включает в себя (рисунки 4.9 и 4.10): забойное перекрытие 2, забойное основание 11, забойные гидростойки 4, направляющую балку 14 и механизм компенсационного подъема лыж забойного основания.

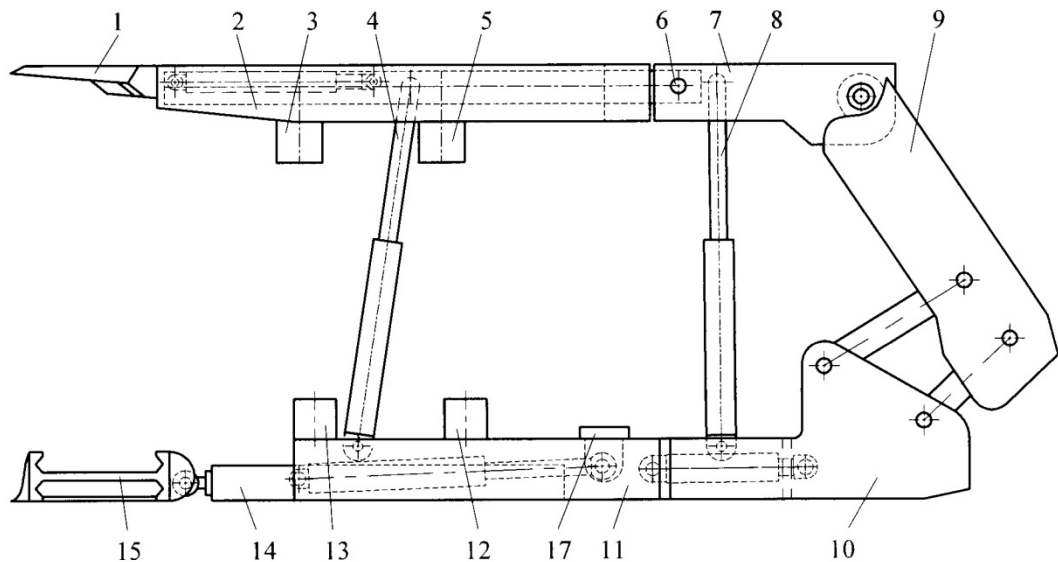


Рисунок 4.9 - СМК с телескопическими перекрытием и основанием (сдвинуты)

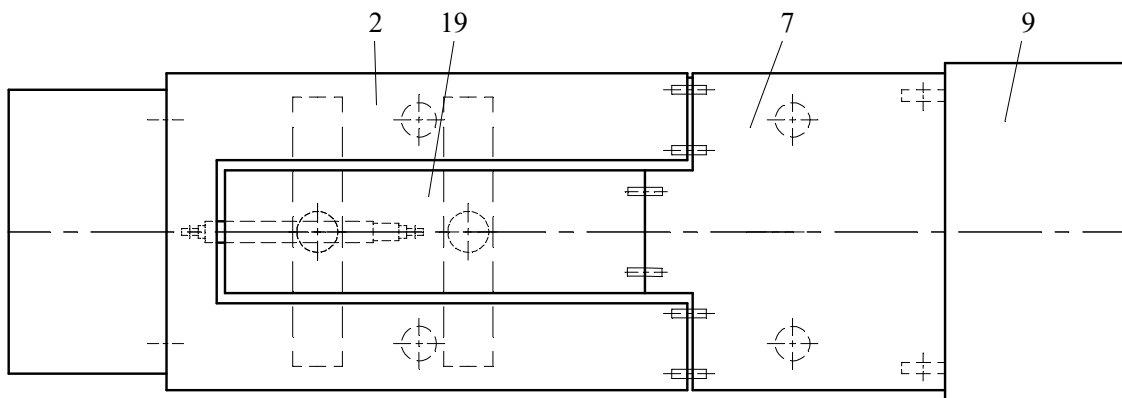


Рисунок 4.10 - СМК с телескопическими перекрытием и основанием (вид сверху)

Забойное основание 11 катамаранного типа выполнено в виде лыж с боковыми поверхностями, связанных забойным порталом основания 13 и порталом основания 12, между которыми расположена направляющая балка 14. Один конец направляющей балки соединен с забойным конвейером 15, а другой конец направляющей балки соединён с забойным гидродомкратом основания 16, шток которого соединён шарниром забойного гидродомкрата 17 с забойным основанием 11. На направляющую балку 14 (рисунки 4.11 и 4.12) установлен в вертикальном положении механизм компенсационного подъема лыж забойного основания, выполненный в виде гидропатрона 23 основания, опирающегося на направляющую балку 14 через подшипник направляющей балки 24 и имеющего цилиндр, выполненный со сферической опорой и снабженный цапфами, и шток,

закрепленный на портале 12 основания и на забойном портале 13 основания. Забойные гидростойки 4 соединены с забойным основанием 11 и забойным перекрытием 2 забойной ступени. Забойное перекрытие 2, с забойной стороны (рисунок 4.9), шарнирно соединено с козырьком 1, имеет призабойный портал 3 и забойной портал 5 с распорно-компенсационными устройствами (рисунок 4.12) с гидропатронами перекрытия 22 и подшипником 21 опорной балки.

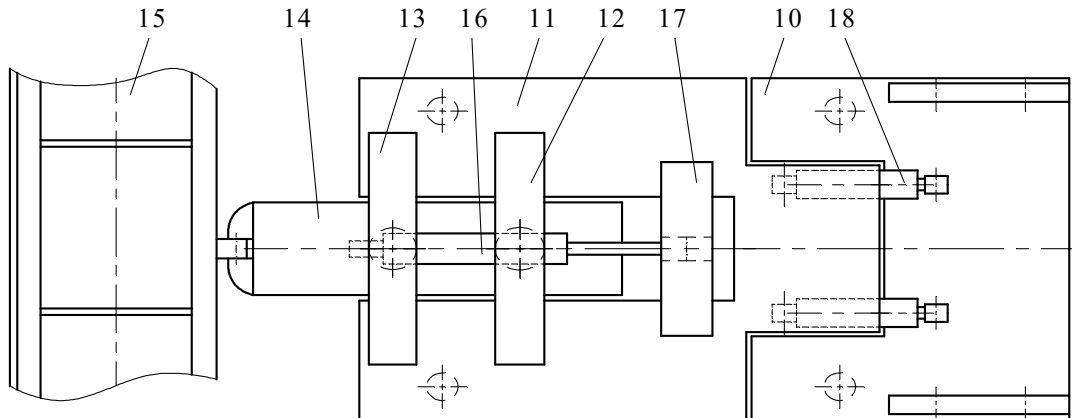


Рисунок 4.11 - СМК с телескопическими перекрытием и основанием (вид сверху на основание)

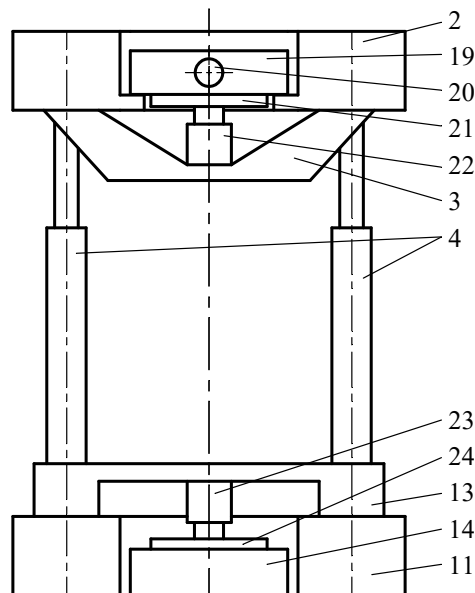


Рисунок 4.12 - СМК с телескопическими перекрытием и основанием (вид спереди)

Посадочная ступень СМК включает (рисунки 4.13 и 4.14) посадочное перекрытие 7 и посадочное основание 10, соединенные между собой ограждающим

щитом 9, распорные посадочные гидростойки 8 и опорную балку 19 (рисунок 4.14), соединенную с одной стороны шарниром опорной балки 26 с посадочным перекрытием 7, а с другой стороны – гидродомкратом 20 с забойным перекрытием 2, при этом посадочное основание 10 и забойное основание 11 соединены гидродомкратами 18 посадочного основания 10.

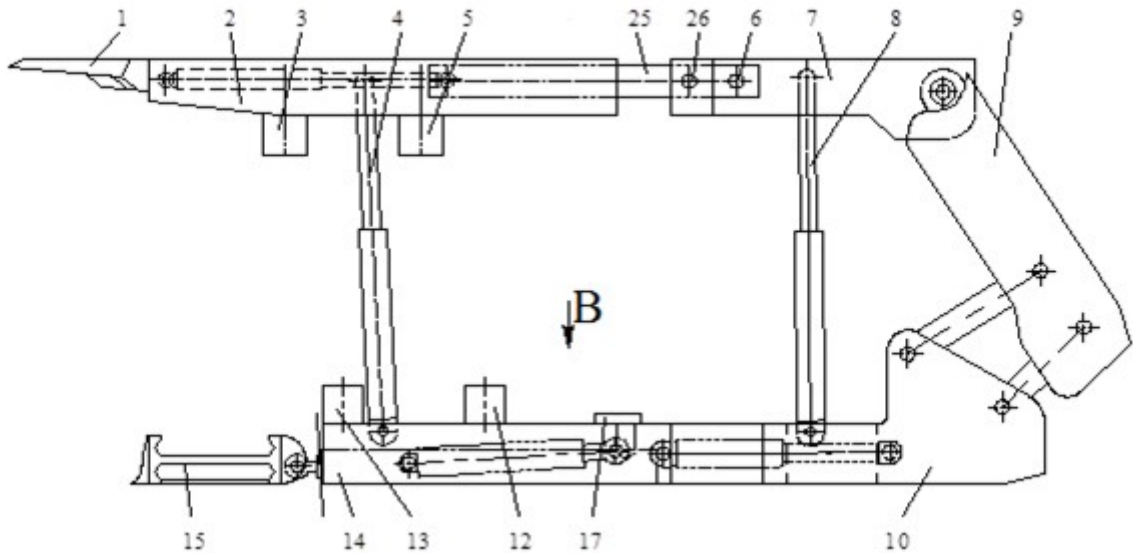


Рисунок 4.13 - Фронтальный вид, перекрытия и основания раздвинуты

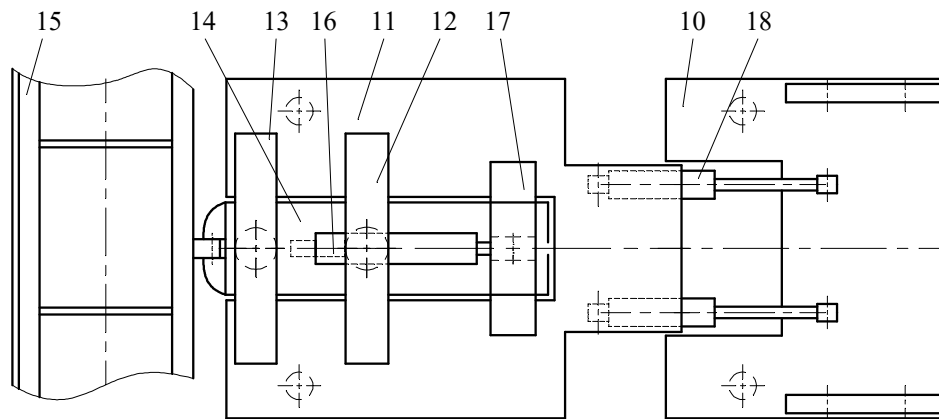


Рисунок 4.14 - Основание секции механизированной крепи, основание раздвинуто (вид В сверху на основание)

Телескопическое соединение ступеней по перекрытиям осуществлено консолями 25, которые с одной стороны шарниром консоли 6 соединены с посадочным перекрытием 7, с другой стороны консоли 25 входят в пазы забойного перекрытия 2. Соединение оснований посадочной и забойной ступеней выполнено телескопически: внутренние боковые поверхности лыж посадочного

основания 10 образуют паз, в который установлены направляющие забойного основания 11 с возможностью взаимного их смещения на шаг передвижки секции крепи.

Работа секции механизированной крепи циклическая. За цикл секция выполняет следующие операции: распор секции в почву и кровлю, выполняемый гидростойками секции крепи, управление сопротивлением гидростоек опусканию пород кровли, осуществляемое клапанным блоком стойки и блоком управления секции крепи, снятие распора, осуществляемое блоком управления секции крепи и клапанными блоками гидростоек, и передвижка секции крепи, выполняемая гидродомкратами оснований и перекрытий секции крепи. Распорные усилия при передвижке секции: оснований в почву и перекрытий в кровлю переносятся механизмами компенсационного распора с гидропатронами и подшипниковыми опорами скольжения с основания на неподвижную направляющую балку и с перекрытия на неподвижную опорную балку.

Передвижка секции может осуществляться в следующих вариантах в зависимости от технологических и ГГУ в КМОЗ.

При неустойчивой непосредственной кровле. В исходном положении забойный конвейер 15 находится у забоя, секция подвинута к забою и к конвейеру (рисунки 4.9 – 4.10). После прохода комбайна с выемкой полосы угля выдвигается только забойное перекрытие 2 гидродомкратом перекрытий 20 с опорой в осевом направлении через опорную балку 19 в посадочное перекрытие 7 через шарнир опорной балки 26 (рисунки 4.15 и 4.16). При этом осуществляется распор двух гидропатронов перекрытия 22 через призабойный портал 3, подшипник опорной балки 21 в опорную балку 19 и через забойный портал 5 и второй подшипник опорной балки 21 в опорную балку 19 (рисунок 4.12). Поджатая к кровле опорная балка 19 неподвижна, обеспечивает поддержание неустойчивой непосредственной кровли и предохраняет её от разрушения и вывалов.

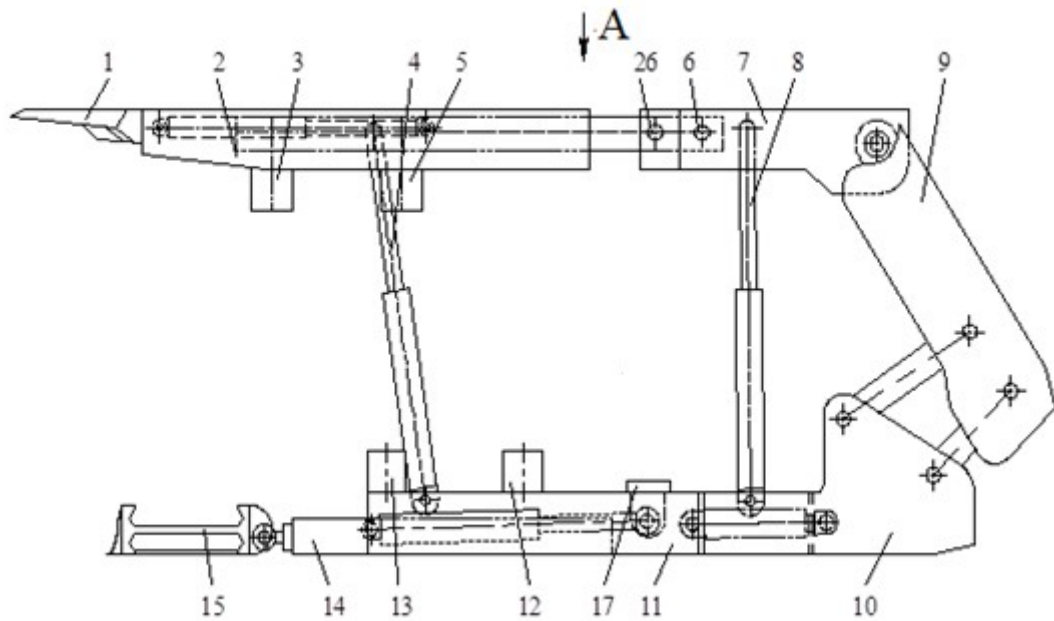


Рисунок 4.15 - СМК с телескопическими перекрытием и основанием с выдвинутой забойной ступенью перекрытия

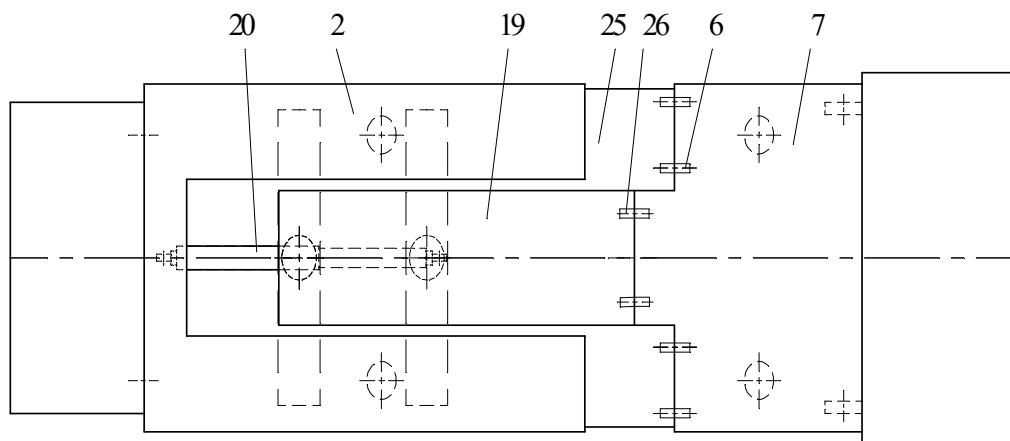


Рисунок 4.16 - СМК с телескопическими перекрытием и основанием с выдвинутой забойной ступенью перекрытия (вид А сверху на перекрытие)

При ограничениях по газу. С отставанием от очистного комбайна, предусмотренного паспортом комплексно механизированного очистного забоя, выдвигается забойный конвейер 15 (рисунок 4.11) вместе с направляющими балками 14 к забою забойными гидродомкратами оснований 16 с опорой через шарнир забойного гидродомкрата основания 17 на забойное основание 11 забойной ступени. Затем перемещается забойное основание 11 забойной ступени секции крепи забойным гидродомкратом 16 основания с опорой на неподвижную направляющую балку 14 с приподъемом оснований распорно-компенсационными устройствами по основанию (рисунок 4.11). По мере снижения содержания

метана в забое до допустимого уровня, в соответствии с правилами безопасности, последовательно перемещаются со снятием распора завальные ступени секций крепи к забою гидродомкратами 18 посадочных оснований (рисунок 4.14) и гидродомкратами 20 перекрытий (рисунок 4.16).

При устойчивой непосредственной кровле и отсутствии ограничений по газу передвижка секций механизированной крепи может осуществляться в любом из вариантов, предусмотренных паспортом крепления очистного забоя: передвижкой каждой секции в целом без использования телескопической раздвижности как с разрывом контакта перекрытия с кровлей, так и с подпором; передвижкой сначала забойных ступеней с разрывом контакта перекрытия с кровлей или с подпором, а затем с отставанием последовательная передвижка посадочных ступеней секций. Возможны и другие схемы передвижки секций крепи, если они предусмотрены паспортом крепления и управления кровлей очистного забоя в конкретных горно-геологических условиях.

4.5 Совершенствование способа передвижки секции механизированной крепи

Недостатками известных способов передвижки СМК являются потеря контакта верхняка с кровлей при передвижке с опусканием верхняка по первому способу, а также недостаточная величина распора, ниже величины начального распора, при передвижке по второму способу в режиме с «активным подпором». Передвижка секции крепи по данному способу приводит к эффекту динамического топтания кровли в процессе передвижки, что провоцирует развитие трещин в непосредственной кровле и ухудшает в целом состояние очистного забоя [21].

Технический результат достигается тем, что в зависимости от ГГУ передвижку СМК выполняют в режиме без разгрузки секции с переносом усилия при устойчивых породах на одну опорную и одну направляющую балки, располагаемые по оси перекрытия и по оси основания при устойчивых породах кровли и почвы, на две опорные балки, располагаемых по периферии перекрытия

и две направляющие балки, располагаемые по периферии основания секции. При этом усилие гидростоек сохраняется на уровне не менее начального распора, или с установленным подпором, или с разрывом контакта перекрытия с породами непосредственной кровли, при этом опорные элементы секции крепи, находящиеся в контакте с почвой и кровлей пласта, при передвижке секции крепи остаются неподвижными. Что в итоге снизит «топтание» кровли.

Способ включает операции (рисунок 4.3) разгрузки, передвижки и распора перекрытия 4 и основания 8 в кровлю и почву. Приподъем передней части основания 8 над почвой осуществляется (рисунок 4.3, а и б) гидропатроном 15, установленным в скользящей опоре 14, с переносом усилия на одну направляющую балку 13 при устойчивых почвах, расположенную по оси основания 8, или на две направляющие балки, располагаемые по периферии основания, при малоустойчивых и весьма неустойчивых почвах. В общем случае передвижку секции выполняют с переносом усилия при устойчивых породах на одну опорную балку 10, располагаемую по оси перекрытия 4 или при неустойчивых породах кровли на две опорные балки 10. При этом передвижку осуществляют в режиме безразгрузочной крепи, или при сохранении усилия начального распора с установленным активным или пассивным подпором, или с разрывом контакта перекрытия с породами кровли.

Способ передвижки секции в каждом из трех режимов, в отличие от известного, включающего последовательно выполняемые во времени операции за цикл: разгрузку гидростоек 6 (t_c – снятие распора), передвижку секции $t_{п}$ и последующий их распор t_p гидростоек с опорой основания 8 на почву и перекрытия 4 на кровлю ($T_{ц} = t_c + t_{п} + t_p$). Реализуется способ в одном из трех вариантов в зависимости от ГГУ.

Первый вариант. Передвижка секции крепи в безразгрузочном режиме, при котором сохраняется усилие на уровне близком к начальному распору гидростоек, а время цикла передвижки включает следующие операции, формула (4.1):

$$t_{ц.б.р} = t_{р.б} + t_{п.с} + t_{р.с} + t_{п.б}, \quad (4.1)$$

где $t_{р.б}$ – время переноса усилия распора перекрытия 4 и основания 8 на неподвижные балки: направляющую 13 и опорную 10; $t_{п.с}$ – время передвижки секции с опорой на неподвижные балки через скользящие опоры 11 и 13; $t_{р.с}$ – перенос усилия с направляющей 13 и опорной 10 балок на основание 8 и перекрытие 4 соответственно; $t_{п.б}$ – передвижка направляющей балки 13 с забойным конвейером к забою и опорной балки 10 в пазе перекрытия 4, конструктивно сделанном больше балки на шаг передвижки h (рисунок 4.3, б).

К началу цикла передвижки секции опорная балка 10 одним гидродомкратом 3 (рисунок 4.3,б), или несколькими при неустойчивых кровлях (рисунок 4.17) передвинута в пазу перекрытия 4 к забою на шаг передвижки секции 17. Передвижка секции начинается с операции распора балок ($t_{р.б}$) подачей жидкости под давлением не ниже начального распора в поршневые полости гидропатрона 12 по перекрытию 4 и гидропатрона 15 по основанию. При этом опорная балка 10 распирается в непосредственную кровлю. Боковые щиты перекрытия 4 разгружаются вследствие перераспределения усилий, возникающих в гидропатроне (гидропатронах) 12, опирающимся через кронштейн 2 на П-образную часть перекрытия, и усилий в гидростойках 6.

При этом результирующее усилие распора в кровлю останется неизменным и перераспределится как на П-образное перекрытие, так и на опорную балку пропорционально их площадям.

При включении гидропатрона 15 возможна опора гидропатронов компенсирующего устройства непосредственно на направляющую балку 14, располагаемую по оси основания 10, или на балки, располагаемые по периферии основания через опорно-реактивные исполнительные механизмы, выполненные либо как рычажно-опорные, либо рычажно-поворотные, таким образом, что усилия передаются на направляющую балку, так что переднюю, часть П-образного основания 8 приподнимают.

Таким образом, происходит перенос части усилия с перекрытия 4 на

опорную балку 10, расположенную по оси перекрытия 4 и с основания на направляющую балку 13, расположенную по оси основания 8, с одновременным приподъемом передней части основания 8.

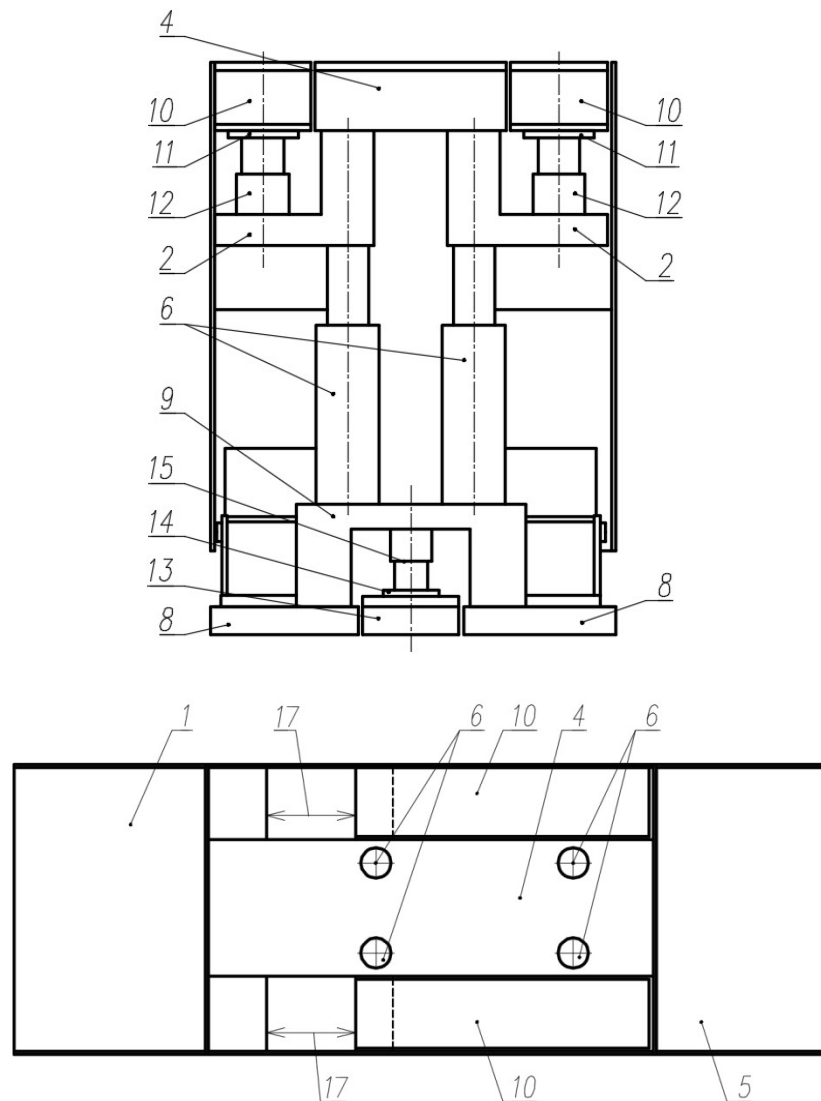


Рисунок 4.17 – Вариант комплектации секции крепи двумя подпорными элементами

Операция передвижки $t_{п.с}$ СМК осуществляется при одновременном включении гидродомкрата 7 и 3. При этом секция крепи передвигается с приподъемом передней части основания над почвой и переносом усилия с основания 8 на направляющую балку 13, расположенную по оси основания 8 при устойчивых почвах, или на балки, располагаемые по периферии – при слабых неустойчивых почвах. При этом усилие передвижки снижается пропорционально снижению значения коэффициентов трения в скользящих подшипниковых опорах

по основанию и по перекрытию.

Операция распора ($t_{p.c}$) секции крепи выполняется после её передвижки. Жидкость из гидропатронов 11 и 15 перепускается на слив, опорная 13 и направляющая 14 балки разгружаются, при этом усилие перераспределяется таким образом, что П-образное перекрытие распирается в непосредственную кровлю, а П-образное основание опускается на почву.

Заканчивается цикл операций передвижки секции крепи передвижкой опорной балки гидродомкратом 3 в пазу перекрытия в исходное положение для следующего цикла операций.

Передвижка направляющей балки осуществляется одновременно с передвижкой забойного конвейера в соответствии с существующей технологией в конкретном КМОЗ.

Второй вариант. Цикл операций передвижки секции крепи в режиме с установленным уровнем активного или пассивного подпора, принятым для конкретных условий, включает операции, формула (4.2):

$$t_{ц.п} = t_{c.p} + t_{п.с} + t_{p.c} + t_{п.б}, \quad (4.2)$$

где $t_{c.p}$ – время снятия распора со стоек до уровня остаточного подпора, принятого для конкретных условий и переносом его на направляющую 13 и опорную 10 балки; $t_{п.с}$ – время передвижки секции с опорой гидропатронами 12 и 15 через скользящие опоры 11 и 14 на балки 10 и 13 с усилием на уровне, установленном заранее, но меньшем, чем в первом режиме; $t_{p.c}$ – время распора гидростоек с переносом усилия с направляющей 13 и опорной 10 балок на основание 8 и перекрытие 4; $t_{п.б}$ – время передвижки опорной балки 10 в пазе перекрытия 4, конструктивно сделанном больше балки на шаг передвижки 17.

Передвижка направляющей балки 13 осуществляется одновременно с передвижкой забойного конвейера и осуществляется в соответствии с принятой технологией в конкретном очистном забое.

Третий вариант. Способ передвижки секции крепи с разрывом контакта перекрытия секции с кровлей состоит из четырех последовательно выполняемых

операций, формула (4.3):

$$t_{ц.о} = t_{с.р} + t_{п.с} + t_{р.с} + t_{п.б}, \quad (4.3)$$

где $t_{с.р}$ – время снятия распора; обеспечивается подключением поршневых полостей гидростоек б на слив известными системами, используемыми в настоящее время, с сохранением подпора опорной балки большим, чем в гидростойках, например, подпорным клапаном, что обеспечивает разрыв контакта перекрытия секции с кровлей при передвижке; $t_{п.с}$ – операция передвижки секции к забою обеспечивается одновременным включением домкратов передвижки; $t_{р.с}$ – операция распора секции обеспечивается подключением поршневых полостей гидростоек на распор и гидропатронов на слив; $t_{п.б}$ – операция передвижки опорной балки в пазу перекрытия. Передвижка конвейера и направляющей балки к забою осуществляется в соответствии с принятой технологией работы в конкретном КМОЗ и в состав операций цикла передвижки секции крепи не входит.

4.6 Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии

Исходя из опыта эксплуатации и анализа работы гидросистемы секции крепи МКЮ.2Ш-13/27 была предложена гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии в гидросистему комплекса (рисунок 4.18) [74]. Основное её отличие от ранее представленной (рисунок 2.8) то, что она содержит, установленные последовательно между регулируемым дросселем 4 и нагнетательной линией гидростанции 12, настроенный на нижнюю границу регулируемого давления, подпорный клапан 5 и разделительный дроссель 13, при этом параллельно разделительному дросселю установлен пневмогидроаккумулятор 16 с обратным клапаном 14 на входе от нагнетательной линии гидростанции и ограничительным дросселем 15, установленным параллельно обратному клапану, на выходе из пневмогидроаккумулятора.

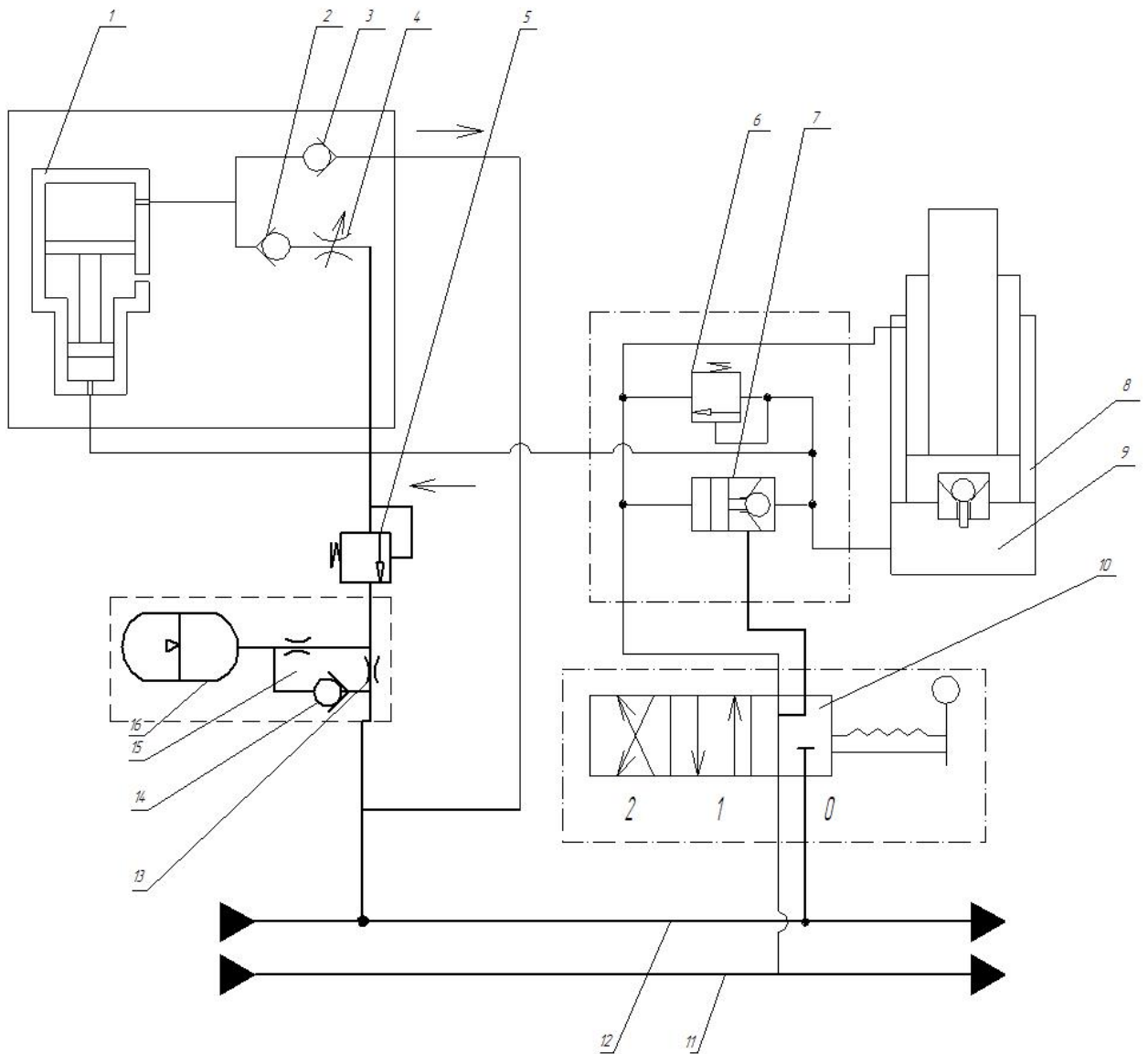


Рисунок 4.18 – Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии: 1 – мультипликатор; 2 – выходной обратный клапан; 3 – входной обратный клапан; 4 – регулируемый дроссель; 5 – подпорный клапан; 6 – предохранительный клапан; 7 – гидрозамок; 8 – гидроцилиндр; 9 – поршневая полость; 10 – гидрораспределитель; 11 – сливная линия; 12 – нагнетательная линия; 13 – разделительный дроссель; 14 – обратный клапан пневмогидроаккумулятора; 15 – ограничительный дроссель; 16 – пневмогидроаккумулятор

При передвижке секции крепи гидрораспределитель – 10 устанавливается в положение – 2, при котором рабочая жидкость из нагнетательной линии – 12 поступает в поршневую полость гидрозамка – 7 и открывает его. При этом поршневая полость – 9 гидроцилиндра – 8 открытым гидрозамком – 7 соединяется со сливной линией – 11. Давление рабочей жидкости в полости малого диаметра мультипликатора – 1 снижается, а в полости большего диаметра мультипликатора – 1, соединённой с нагнетательной линией – 12 входным

обратным клапаном – 3, повышается. Происходит зарядка мультипликатора – 1 с перемещением его блока поршней и вытеснением рабочей жидкости из полости малого диаметра мультипликатора – 1 в поршневую полость – 9 гидроцилиндра.

После передвижки секции крепи гидрораспределитель – 10 устанавливается в положение – 1, при котором рабочая жидкость из нагнетательной линии – 12 гидростанции поступает в поршневую полость – 9 гидроцилиндра – 8 секции механизированной крепи и в полость малого диаметра мультипликатора – 1. Положение блока поршней мультипликатора – 1 не изменяется, так как давление рабочей жидкости ниже давления диапазона регулирования, установленного настройкой подпорного клапана – 5.

Опускание кровли и соответствующее увеличению давления в поршневой полости – 9 гидроцилиндра – 8 до уровня диапазона регулирования, устанавливаемого настройкой подпорного клапана – 5, приводит к смещению блока поршней мультипликатора – 1 и вытеснению рабочей жидкости из полости большего диаметра мультипликатора – 1 через выходной обратный клапан – 2, регулируемый дроссель – 4, подпорный клапан – 5, разделительный дроссель – 13 в нагнетательную линию – 12 гидростанции с рекуперацией части энергии горного давления в гидросистему механизированной крепи ОМК. При этом блок пневмогидроаккумулятора – 16 с разделительным дросселем – 13, обратным клапаном пневмогидроаккумулятора – 14 на его входе от нагнетательной линии – 12 гидростанции, и ограничительным дросселем – 15, установленным параллельно обратному клапану пневмогидроаккумулятора – 14 на выходе из пневмогидроаккумулятора – 16, выполняют функцию фильтра, сглаживающего пульсации давления в нагнетательной линии – 12, чем обеспечивают устойчивый режим работы заявляемого устройства в целом.

При длительных периодах управления кровлей, а также в случае чрезмерных нагрузок, блок поршней мультипликатора – 1 может переместиться в крайнее положение с вытеснением рабочей жидкости из полости большего диаметра и заблокирует выходной канал к нагнетательной линии – 12 гидростанции. В этом случае гидроцилиндр – 8 секций механизированной крепи

будет работать в режиме контроля давления в поршневой его полости – 9 предохранительным клапаном – 6, который предназначен для защиты гидроцилиндров – 8 секций механизированных крепей комплексно-механизированных очистных забоев шахт от перегрузок.

Техническим результатом является независимость значений параметров режима работы блока регулирования в каждой секции механизированной крепи от изменений давлений рабочей жидкости в напорной магистрали гидросистемы комплекса по длине лавы.

4.7 Выводы по главе 4

Таким образом, предложенные схемные и конструктивные технические решения обеспечивают:

- передвижку СМК с опорой на распорные элементы (направляющую по почве и распорную по кровле балки), которые могут при необходимости сохранять усилие распора не ниже начального;
- сохранение неподвижными контактов распорных элементов с кровлей и почвой при передвижке СМК снижает статическое и динамическое топтанье пород кровли и почвы и вероятность их разрушения;
- независимость значений параметров режима работы блока БРС в каждой секции механизированной крепи от изменений давлений рабочей жидкости в напорной магистрали гидросистемы комплекса по всей длине лавы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой приведено решение актуальной научной задачи – обоснование структуры и параметров энергоэффективной, адаптивной к условиям эксплуатации секции механизированной крепи, обеспечивающей повышение устойчивости работы ОМК в номинальных режимах в переменных по мере отработки выемочных участков ГГУ, что имеет существенное значение для повышения эффективности добычи угля подземным способом.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа выявлены основные закономерности процесса развития щитовых секций механизированной крепи очистных комплексов, которые заключаются в увеличении их дополнительных структурных элементов и функций, направленных на развитие адаптивности к переменным условиям эксплуатации при неизменном количестве основных элементов и функций.

2. Установлено, что повышение устойчивости работы ОМК в рациональных режимах при отработке выемочных участков с изменяющимися в широком диапазоне ГГУ достигается совокупностью технических решений, включающих безимпульсное регулирование сопротивления гидростоек опусканию пород кровли в процессе управления горным давлением, способ передвижения секций крепи при неподвижных силовых контактах её распорных элементов с кровлей с повышенными значениями сил распора, приводящими к уменьшению диапазона изменчивости сил циклического взаимодействия их гидростоек с породами непосредственной кровли и, следовательно, к снижению интенсивности процесса трещинообразования и вероятности вывалов породы в межсекционное пространство.

3. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена в производственных условиях сама возможность преобразования энергии горного давления в гидравлическую и её использование в гидроприводе СМК ОМК.

4. Установлено, что количество энергии, отводимой в гидросистему ОМК в

процессе конвергенции боковых пород в КМОЗ, прямо пропорционально уровню регулируемого давления в гидростойке секции механизированной крепи, длине лавы, количеству гидравлических стоек в секции крепи, фактической нагрузке на забой и календарному времени его работы, и обратно пропорционально шагу расстановки секций по длине лавы и объёму добычи за цикл.

5. Разработаны и запатентованы технические решения – повышающие кинематическую, силовую и контактную адаптивности секций механизированной крепи (патенты на полезную модель RU №169381, RU №173403, RU №176896 и RU 189563).

6. Результаты работы приняты к использованию при модернизации секций механизированной крепи типа МКЮ.2Ш-13/27 для условий шахт АО «СУЭК–Кузбасс».

7. Схемное решение гидросистемы стойки секции гидрофицированной крепи ОМК с подпорным клапаном, ограничительным дросселем и пневмогидроаккумулятором обеспечивает устойчивость и независимость режима работы всех СМК лавы от изменений давлений рабочей жидкости в напорной магистрали гидросистемы комплекса.

8. Разработка и создание адаптивных к горному давлению в очистном забое СМК открывает возможность создания адаптивных энергосберегающих очистных механизированных комплексов и перехода от стратегии силового противодействия горному давлению к стратегии эффективного использования энергии горного давления в технологическом процессе в КМОЗ шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство 1305373 СССР, МПК: E21D 23/00. Секция пневмобалонной крепи / Мурзин Г.С., Матвиец Ю.В., Фролов Б.А. (СССР). – 4005427/22–03; заявлено 20.11.85; опубл. 23.04.87, Бюл. № 15. – С. 3.
2. Авторское свидетельство 396472 СССР, МПК: E21D 23/08, E21D 23/12, E21D 23/00. Пневмобалонная крепь / Коваленко Н.С., Лепихов А.Г., Зиновенко В.И. (СССР). – 1496829/22–3; заявлено 02.12.70; опубл. 29.08.73, Бюл. № 36. – С. 2.
3. Авторское свидетельство 443997 СССР, МПК: E21D 23/00. Секция механизированной крепи / Заикин Е.К., Грицаюк Б.И., Цыплаков Б.В., Романов П.Д., Крашкин И.С., Попов В.Л. (СССР). – 1881229/22–03; заявлено 12.02.73; опубл. 25.09.74, Бюл. № 35. – С. 2.
4. Авторское свидетельство 662730 СССР, МПК: E21D 23/00. Секция безразгрузочной крепи / Потураев В.Н., Червоненко А.Г., Степанюк А.И., Гурин И.А., Харченко Н.Н., Агапов Н.Д., Сущенко А.И. (СССР). – 2509777/22–03; заявлено 12.07.77; опубл. 15.05.79, Бюл. № 18. – С. 2.
5. Авторское свидетельство 752031 СССР, МПК: E21D 23/00. Пневмобалонная крепь / Докукин А.В., Гончаревич И.Ф., Карлебо Б.С., Сиукаев Ф.А., Дарыкин И.Н. (СССР). – 2138495/22–03; заявлено 02.06.75; опубл. 30.07.80, Бюл. № 28. – С. 4.
6. Авторское свидетельство 832001 СССР, МПК: E21D 23/00. Секция механизированной крепи / Долинский А.М. (СССР). – 2632181/22–03; заявлено 19.06.78; опубл. 23.05.81, Бюл. № 19. – С. 3.
7. Авторское свидетельство 891957 СССР, МПК: E21D 23/10. Пневмобалонная крепь / Потураев В.Н., Червоненко А.Г., Харченко Н.Н. (СССР). – 2914689/22–03; заявлено 23.04.80; опубл. 23.12.81, Бюл. № 47. – С. 3.
8. **Абрамов, И.Л.** Виды и причины газодинамических явлений на угольных шахтах / И.Л. Абрамов // Вестник Кузбасского государственного университета. – 2015. – № 1 (107). – С. 16-17.

9. **Агафонов, В.В.** Выбор высокопродуктивных средств комплексной механизации и технологических схем ведения очистных работ / В.В. Агафонов, В.П. Абрамов // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2007. – № 6. – С. 161-167.
10. **Александров, Б.А.** Оценка эффективности совершенствования механизированных крепей с позиции качества их взаимодействия с боковыми породами / Б.А. Александров, Ю.А. Антонов, Г.Д. Буялич // Уголь. – 2000. – № 7. – С. 44-46.
11. **Александров, Б.А.** Повышение устойчивости крепи на наклонных пластах / Б.А. Александров, Г.Д. Буялич, В.И. Шейкин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2004. – № 6.1. – С. 52-55.
12. **Алексеев, К.Ю.** Развитие угольной отрасли России (О Долгосрочной программе развития угольной промышленности России на период до 2030 года) / К.Ю. Алексеев // Уголь. – № 8. – 2011. – С. 6-14.
13. **Антипов, И.В.** Физико–техническое обоснование параметров высокопроизводительных угледобывающих комплексов нового поколения / И.В. Антипов // Физико–технические проблемы горного производства: Сб. науч. тр. – 2008. – Вып. 11. – С. 69-80.
14. **Антипов, И.В.** Взаимосвязь технологических операций в лаве с геомеханическими процессами в горном массиве / И.В. Антипов, Е.Д. Стаднюк, С.В. Козырь // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2015. – № 15. – С. 9-20.
15. **Антипов, И.В.** Особенности формирования опорного давления в процессе работы одиночной лавы / И.В. Антипов, Н.И. Лобков, А.В. Савенко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2015. – № 15. – С. 58-67
16. **Афанасьев, В.Я.** Показатели работы угольной промышленности России в области механизации очистных работ / В.Я. Афанасьев, Ю.Н. Линник, В.Ю. Линник // Уголь. – 2011. – № 6. – С. 44-46.
17. **Балабышко, А.М.** Повышение надежности гидроприводов

- механизированных крепей угледобывающих комплексов / А.М. Балабышко, Л.И. Кантович // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 1. – С. 15-19.
18. **Баранов, С.Г.** Механизм воздействия на механизированную крепь пород кровли при различных схемах разрушения ее над выработанным пространством / С.Г. Баранов, М.А. Розенбаум // Записки горного института. – 2012. – Т. 198 – С. 100-103.
19. **Брагин, Е.П.** Давление горных пород на механизированную крепь очистного забоя / Е.П. Брагин, В.Г. Виткалов, Фам Чунг Нгуен // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2010. – № 10. – С. 37-40.
20. **Буевич, В.В.** Безимпульсное управление режимом работы гидростоек секций гидрофицированной крепи очистного механизированного комплекса / В.В. Габов, Д.А. Задков, О.В. Кабанов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 3. – С. 26-30.
21. **Буялич, Г.Д.** Влияние параметров начального распора крепи на схемы взаимодействия её с трудноуправляемой кровлей / Г.Д. Буялич, В.И. Шейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – Отд. вып. 3: Горное машиностроение. – С. 82-87.
22. **Буялич, Г.Д.** Обоснование требований к гидросистемам механизированных крепей третьего поколения / Г.Д. Буялич, Ю.А. Антонов, М.Г. Лупий, Б.А. Александров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2003. – Выпуск № 3. – С. 49-50.
23. **Быков, С.В.** Определение сопротивления механизированных крепей поддерживающего типа / С.В. Быков, Б.К. Мышляев // Вопросы горного давления. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. – Вып. 43.
24. **Ванякин, О.В.** Обоснование параметров технологических схем отработки сближенных пологих угольных пластов / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб, 2016, 139 с.

25. **Виленкин, Е.С.** Концепция пространственно-распределенной системы децентрализованного событийного управления технологическим процессом добычи угля очистным забоем / Е.С. Виленкин // Уголь. – 2013. – № 2. – С.29-31.
26. **Винников, Е.И.** Метод исследований структурных схем очистных механизированных комплексов / Е.И. Винников, Г.И. Коломоец // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. – № 2. – С. 329-333.
27. **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. Буевич // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 3. – С. 28-34.
28. Горное дело: Терминологический словарь / Г.Д. Лидин, Д.Р. Каплунов, Л.Д. Воронина и др. // – 4-е изд. доп. и перераб. – М.: Недра. – 1990. – 694 с.
29. ГОСТ 17108–86. Гидропривод объемный и смазочные системы. Методы измерения параметров. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 11 с.
30. ГОСТ 18464–96. Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры. Правила приемки и методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.
31. ГОСТ 24054–80. Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 17 с.
32. ГОСТ 31561–2012. Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытания. М.: Стандартиформ, 2013. – 31 с.
33. ГОСТ 33164.1–2014. Оборудование горно-шахтное. Крепи механизированные. Секции крепи. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2015. – 54 с.
34. ГОСТ 33164.3–2014. Оборудование горно-шахтное. Крепи

- механизированные. Системы управления гидравлические. Требования безопасности и методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2015. – 46 с.
35. ГОСТ Р 55729–2013. Оборудование горно-шахтное. Гидростойки для механизированных крепей. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2014. – 12 с.
36. ГОСТ Р 54976–2012. Оборудование горно-шахтное. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2014. – 28 с.
37. **Гребенкин, С.С.** Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт: монография / С.С. Гребенкин, В.В. Косарев, С.Е. Топчий, Н.И. Стадник, В.И. Зензеров, В.В. Стеблин, Б.А. Перепелица, В.Н Поповский под общей редакцией Гребенкина С.С. и Косарева В.В. // Донецк: «ВИК». – 2009. – 372 с.
38. **Гридин, А.Д.** Создание новых видов крепи для комплексной механизации угольных лав // Механизация трудоемких и тяжелых работ, 1953. – №11. – 34с.
39. **Грюнинг, С.** Инновационная техника в области щитовой крепи для угольной компании HulasdelCotoCortesS.A. в Астуриен (Испания) / С. Грюнинг, В.В. Соболев, С. Шмидт // Уголь, 2006г. – №5. – С.29-33.
40. **Докукин, А.В.** Механизированные крепи и их развитие / А.В. Докукин, Ю.А. Коровкин, Н.И. Яковлев // М.: Недра. – 1984. – 288 с.
41. Дригер. Основные соображения о конструировании гидравлической крепи. – Глюкауф, 1954.
42. **Ермолаев, А.М.** Определение предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору в сверхкатегорных шахтах / А.М. Ермолаев, П.В. Егоров, А.А. Ермолаев// Уголь. 2006. – № 11. – С. 6-7.
43. **Жихорь, Е.А.** Оценка взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами с позиции их адаптивности / Е.А. Жихорь // Адаптивность механизированных крепей. Вопросы горного давления. – Новосибирск. – 1983. – Вып. 41. – С. 111-113.

44. **Казанин, О.И.** Оценка влияния зон повышенного горного давления на эффективность отработки угольных пластов на шахте им. Кирова ОАО «СУЭК– Кузбасс / О.И. Казанин, А.Ю. Ермаков, О.В. Ванякин // М.: МГГУ, ГИАБ №4, 2014, С. 18-22.
45. **Кариман, С.А.** О создании шахты с высокими технико–экономическими показателями / С.А. Кариман // Уголь. – 2015. – № 7. – С. 18-23.
46. **Кияшко, И.А.** Взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами / И.А. Кияшко, С.А. Саратикянц, Н.П. Овчинников и др. – М.: Недра, 1990 – 128с.
47. **Клишин, В.И.** Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения / В.И. Клишин – Новосибирск: Наука, 2002. – 200 с.
48. **Клишин, В.И.** Испытания инерционных средств защиты гидростоек на динамическое нагружение / В.И. Клишин // Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1999. – № 6. – С. 58 – 62.
49. **Клишин, В.И.** Повышение адаптации однорядной механизированной крепи к условиям нагружения / В.И. Клишин, Ю.В. Матвиец // ФТПРПИ. – 1993. – Новосибирск. – № 2. – С. 23-29
50. **Клишин, В.И.** Система автоматического управления крепью (САУК) как средство адаптации крепи к различным горно–геологическим условиям шахт Кузбасса / В.И. Клишин, У. Кисслинг, М. Ройтер, А.О. Вессел // Вестник КузГТУ. – 2014. – №1. – С. 34-39.
51. **Клишин, В.И.** Создание устройств защиты гидравлических стоек механизированных крепей от динамических нагрузок / В.И. Клишин, Ю.М. Леконцев, Т.М. Тарасик // Горные машины и автоматика. – 2003. – № 11. – С. 5-9.
52. **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. – Вып. 41. – С. 52-55.
53. **Коровкин, Ю.А.** Механизированные крепи очистных забоев / Под. Ред. Ю.Л. Худина. – М.: Недра, 1990. – 413 с.
54. **Коровкин Ю.А.** Научные основы создания и применения механизированных крепей очистных забоев для пологих и наклонных пластов: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06. – [Место защиты: Институт горного дела им. Скочинского А.А.] – Москва – 1993. – 42 с.
55. **Кравченко, В.И.** Безопасность при управлении горным давлением в лавах пологих пластов / В.И. Кравченко – М.: Недра, 1975. – 221 с.: ил.
56. **Крашкин, И.С.** Щитовые механизированные крепи – история создания и эволюция развития / И.С. Крашкин // Уголь. – 2013. – № 2. – С. 32-36.
57. **Леконцев, Ю.М.** Взаимодействие системы крепь–породы при регулируемом начальном распоре механизированной крепи / Ю.М. Леконцев, Г.Д. Буялич // Адаптивность механизированных крепей. Вопросы горного давления. – Новосибирск. – 1983. – Вып. 41. – С. 56-58.
58. **Лившиц, В.И.** Разработка научных основ создания механизированных крепей нового технического уровня (по материалам исследований КузНИУИ) / В.И. Лившиц // Адаптивность механизированных крепей. Вопросы горного давления. – Новосибирск. – 1983. – Вып. 41. – С. 15-20.
59. **Линник, В.Ю.** Сравнительный анализ технико–экономических показателей работы отечественных и зарубежных очистных комплексов. // «Горное оборудование и электромеханика». – 2012, №1, с.2-7.
60. **Линник, Ю.Н.** Концепция развития очистного, проходческого, конвейерного и бурового оборудования на период до 2020 г / Линник Ю.Н., Крашкин И.С. Мерзляков В.Г., Мышляев Б.К., Брайцев А.В. и др // Горное оборудование и электромеханика. – 2006. – № 2. – с. 2-6.
61. **Матарадзе, Э.Д.** К выбору параметров гидростойки, адаптивной к динамическим воздействиям / Э.Д. Матарадзе, А.М. Рагутский // Взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами. Вопросы горного давления. –

- Новосибирск: ИГД СО РАН. – 1985. – Вып. 43. – С. 55-59.
62. **Матвеев, В.А.** Анализ взаимодействия консолей механизированных крепей с породами непосредственной кровли в очистных забоях / В.А. Матвеев, Ю.В. Турук // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Выпуск № 4. – С. 28-32.
63. **Мышляев, Б.К.** О качестве очистного оборудования / Б.К. Мышляев, И.В. Титов // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 3. – С. 15-17.
64. **Мышляев, Б.К.** Техничко-экономический анализ современных механизированных крепей / Б.К. Мышляев, И.В. Титов // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 12. – С. 6-10.
65. Новый политехнических словарь / Гл. ред. А.Ю. Ишлинский. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2000. – 671 с.
66. **Нодельман, А.А.** Рациональное использование энергетических возможностей гидропривода механизированных крепей / А.А. Нодельман // Адаптивность механизированных крепей. Вопросы горного давления. – Новосибирск. – 1983. – Вып. 41. – С. 125-128.
67. НПАОП 10.0–3.01–90. Нормативы по безопасности забойных машин, комплексов и агрегатов.
68. **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.: ил.
69. **Патент 2503816 Российская Федерация, МПК E21D23/16.** Гидрофицирования крепь с дросселирующим распределителем и рекуперацией энергии / Габов В.В., Кабанов О.В., Бувевич В.В.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – № 2012124418/03; заявл. 13.06.2012; опубл. 27.03.2014, бюл. № 9.
70. **Патент 2510460 Российская Федерация, МПК E21D23/16.**

- Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии / Буевич В.В., Габов В.В., Кабанов О.В.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – №2012131355/03; заявл. 20.07.2012; опубл. 10.01.2014, бюл. № 1.
71. **Патент на полезную модель 169381 Российская Федерация, МПК E21D 23/04, E21D 23/06.** Секция механизированной крепи с направляющей и опорной балками / Габов В.В., Задков Д.А., Буевич В.В., Бабырь Н.В., Стебнев А.В.: патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – № 2016142172; заявл. 26.10.2016; опубл. 16.03.2017, бюл. № 8.
72. **Патент на полезную модель 173403 Российская Федерация, МПК E21D 23/04.** Секция гидрофицированной крепи с телескопическим перекрытием / Габов В.В., Стебнев А.В., Задков Д.А., Бабырь Н.В.: патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – № 2017115109; заявл. 27.04.2017; опубл. 25.08.2017, Бюл. №24.
73. **Патент на полезную модель 176896 Российская Федерация, МПК E21D 23/04.** Секция механизированной крепи с телескопическим основанием и перекрытием / Габов В.В., Морозов В.А., Стебнев А.В.: патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – № 2017133717; заявл. 27.11.2017; опубл. 01.02.2018, Бюл. №4.
74. **Патент на полезную модель 189563 Российская Федерация, МПК E21D 23/04.** Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии / Стебнев А.В., Мухортиков С.Г.: патентообладатель АО «СУЭК-Кузбасс». – №2018139012; заявл. 07.11.2018; опубл. 28.05.2019, Бюл. № 16.
75. **Пермяков, П.Н.** Очистной механизированный комплекс МК / П.Н. Пермяков – М.: Недра. 1966. – 215 с.
76. **Подколзин, А.А.** Оптимизация динамических характеристик гидросети

- механизированной крепи / А.А. Подколзин, В.П. Сафронов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. Выпуск № 12–2. – С. 294-298.
77. **Подколзин, А.А.** Совершенствование гидросистемы секции механизированной крепи / А.А. Подколзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – Выпуск № 2. – С. 49-54.
78. **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.
79. **Пономаренко, Ю.В.** Расчет и конструирование гидроприводов механизированных крепей / Ю.В. Пономаренко, А.А. Баландин, Н.Т. Богатырев // М.: Машиностроение. – 1981. – 327 с.
80. **Прокопенко, С.А.** Разработка конструкции энергокрепей для очистного механизированного комплекса / С.А. Прокопенко // Уголь. – 2014. – № 6. – С. 16-19.
81. **Рахутин, В.С.** Повышение адаптивности крепей на основе мягких оболочек / В.С. Рахутин, Э.А. Федоренко // Адаптивность механизированных крепей. Вопросы горного давления. – Новосибирск. – 1983. – Вып. 41. – С. 104–106.
82. **Рогов, Е.И.** Математические модели адаптации процессов и подсистем угольной шахты / Е.И. Рогов, Г.И. Грицко, В.Н. Вылегжанин // Алма-Ата, Наука КазССР. – 1979. – 240 с.
83. Руководство по обслуживанию. Механизированная крепь типа МКЮ.2Ш.13/27.
84. Руководство по эксплуатации. Система электрогидравлического управления SEU–ОНЕ 18. – 75 с.
85. **Спиваковский, А.О.** Передвижные механизированные крепи / А.О. Спиваковский, Ю.К. Подъемщиков. – М.: Углетехиздат, 1958. – 250 с.
86. **Стадник, Н.И.** Особенности и функциональная модель мехатронного

- очистного комплекса / Н.И. Стадник, А.В. Сергеев, В.П. Кондрахин // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 5. – С. 32-40.
87. **Стаднюк, Е.Д.** Шахтные инструментальные наблюдения конвергенции вмещающих пород в действующих очистных забоях / Е.Д. Стаднюк // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2013. – № 3. – С. 126-135.
88. **Стариков, А.П.** Газодинамические явления в угольных шахтах: природа происхождения, методы управления и пути снижения опасных проявлений / А.П. Стариков, М.П. Зборщик, В.И. Пилюгин // Уголь. – 2010. – № 12. – С. 3-6.
89. **Стебнев, А.В.** Анализ и оценка устойчивости режимов работы очистного механизированного комплекса // А.В. Стебнев, В.В. Габов, А.И. Королев // Горное оборудование и электромеханика, №1, 2018. – С.37-40.
90. **Стебнев, А.В.** Анализ режимов работы очистных механизированных комплексов в условиях шахт АО «СУЭК–Кузбасс» / А.В. Стебнев, С.Г. Мухортиков, Д.А. Задков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME–2017. Сборник научных трудов. – СПб: Санкт–Петербургский горный университет, 2017. – С. 84-89.
91. **Стебнев, А.В.** Испытание блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород кровли / А.В. Стебнев, С.Г. Мухортиков, В.В. Габов, Н.В. Бабырь // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно–технический журнал), 2018. – № S48, Т.1. – С. 416-424.
92. **Стебнев, А.В.** Методика выбора параметров блока безимпульсного регулирования сопротивления гидравлических стоек секций крепи опусканию пород кровли / А.В. Стебнев, В.В. Габов, Н.В. Бабырь // Горное оборудование и электромеханика, № 5, Т , 2017. С. 6-9.
93. **Стебнев, А.В.** Обоснование рабочей характеристики гидростойки секции механизированной крепи / А.В. Стебнев, Д.А. Задков // Инновации и

- перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME–2018. Сборник научных трудов. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – 104 с.
94. **Стебнев, А.В.** Совершенствование рабочей характеристики гидропривода стоек секций механизированных крепей очистных комплексов / А.В. Стебнев, В.В. Бувевич // Записки горного института. – 2017. – Т.237, С.576-581.
95. **Стебнев, А.В.** Структура адаптивной секции механизированной крепи / А.В. Стебнев, В.В. Габов, С.Г. Мухортиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME–2018. Сборник научных трудов. – СПб: Санкт–Петербургский горный университет, 2018. – 97 с.
96. **Степанов, Ю.А.** Адаптация и развитие метода конечных элементов для расчета параметров напряженно–деформированного состояния углепородного массива / Ю.А. Степанов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – Выпуск № 4. – С. 31-34.
97. **Таразанов, И.Г.** Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2018 года / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2019. – №3. – С. 64-79.
98. **Титов, Н.В.** Влияние производственных процессов на состояние кровли в очистном забое / Н.В. Титов, Ю.В. Турук, С.Д. Васильев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). –2010. – Выпуск № 4. – С. 215-219.
99. **Федаш, А.В.** Результаты эксплуатационных испытаний механизированной крепи / А.В. Федаш, Г.И. Козовой, А.М. Рыжов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Выпуск № 1. – С. 69-72.
100. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40. – 5е изд., испр. и доп. – М.: ЗАО «Научно-технологический центр исследований

- проблем промышленной безопасности». – 2017. – 198 с. ПБ 05–618–03.
101. **Фролов, Б.А.** Методы повышения адаптивности механизированных крепей. / Б.А. Фролов, В.И. Клишин, В.С. Верин // Новосибирск: Наука, 1983. – 109 с.
 102. **Фролов Б.А.** Описание динамических процессов в гидростойках механизированных крепей. / Б.А. Фролов, Г. Сунег, В.И. Клишин // Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых Новосибирск: Наука. –1984. – №6. – С. 83-89.
 103. **Чекулаев, В.В.** Обоснование параметров взаимодействия механизированной крепи с неустойчивой кровлей при применении пневматических контактирующих элементов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02, 05.05.06. – Тула. 1986. – 207 с.
 104. **Череменский, Б.Г.** Энергетический критерий выбора рационального сопротивления крепи // Физические процессы горного производства: Всесоюз. меж вуз. сб. / Ленингр. горн, ин-т им. Г.В: Плеханова. – Л., 1979. – Вып. 7. – С. 81-84.
 105. **Ягодкин, Г.И.** О влияниях механизации очистных работ на производительность труда / Г.И. Ягодкин // Научн. Тр.: ИГД им. Скочинского. – 1983. – Вып. 223. – С.75-78.
 106. **Якоби, О.** Практика управления горным давлением / О. Якоби. – М.: Недра, 1987. – 566 с.
 107. **Dawid Szurgacz.** Bench tests of a support system of a powered roof support's hydraulic leg aimed at minimizing consequences of leaks / Dawid Szurgacz, Jaroslaw Brodny, Marcin Brzózka, Ryszard Diederichs // E3S Web of Conferences. –2019.– Volume 134. – 01003. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/60/e3sconf_sdemr18_01003.pdf (дата обращения: 30.11.2019). – Текст: электронный.
 108. **Gabov, V.V.** Adaptation of the mechanized roof support to changeable rock pressure / V.V. Gabov, V.V. Buevich, D.A. Zadkov, P.A. Vasilieva // Eurasian Mining, 2015, №2. – P. 11-14.

109. **Gabov, V.V.** Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control / V.V. Gabov, D.A. Zadkov, A.V. Stebnev // Eurasian mining, 2016, № 2, pp. 37-40.
110. **Langosch, U.** Longwall Roof Control by Calculation of the Shield Support Requirements / U. Langosch, U. Ruppel, U. Wyink //, in Aziz, N (ed), Coal 2003: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2003, p.: 162-172.
111. **Novák, P.** Roof support control in longwall technology / P. Novak, J. Babjak // 14th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia – 2014. – p.: 34-41.
112. **Peng, S.S.** Longwall Mining, 2nd edition, 2006 published by: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), p. 621.
113. **Sorin, V.** Constructive and Calculus particularities for the hydraulic props of powered roof support. Annual of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria, Vol. 49, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2006, pp: 7-10.
114. **Stebnev, A.V.** Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK–Kuzbass / A.V. Stebnev, S.G. Mukhortikov, D.A. Zadkov, V.V. Gabov // Eurasian mining, 2017, № 2, pp. 28-32.

Приложение А Акт внедрения

Директор шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс»



УТВЕРЖДАЮ

В.В. Климов
«05» декабря 2019г.

АКТ внедрения

результатов диссертационной работы на тему «Обоснование структуры и параметров энергоэффективной, адаптивной к условиям эксплуатации секции механизированной крепи очистного комплекса»

Предприятие, использующее результаты – шахта «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы «Обоснование структуры и параметров энергоэффективной, адаптивной к условиям эксплуатации секции механизированной крепи очистного комплекса», выполненной СТЕБНЕВЫМ Александром Валериевичем, внедрены на шахте «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс» для повышения устойчивости работы секций механизированной крепи МКЮ2Ш 13/27 в рациональных режимах при изменении горно-геологических условий.

На основании полученных в диссертационной работе закономерностей и предложенных схемных и конструктивных решений достигается уменьшение диапазона изменчивости сил сопротивления опусканию пород непосредственной кровли. Обоснованные конструктивные схемные решения обеспечивают непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления гидростойки, чем исключают резко переменные нагрузки и замедляют процесс трещинообразования в породах непосредственной кровли.

С учетом проведенных испытаний на шахте «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс» опытный образец Блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростойки секции крепи рекомендуется использовать в проекте модернизации секции крепи МКЮ2Ш 13/27 для условий шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс».

ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ:

главный механик

Готин И.В.

старший механик по забойному оборудованию

Лисин А.А.

старший механик по автоматике

Урбан А.Н.

Приложение Б
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. Ильев



Приложение В
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. Ивлиев



Приложение Г
 Патент на полезную модель №176896

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 176896

**СЕКЦИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С
 ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМИ ОСНОВАНИЕМ И
 ПЕРЕКРЫТИЕМ**

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

Авторы: *Габов Виктор Васильевич (RU), Морозов Владимир Анатольевич (RU), Стебнев Александр Валерьевич (RU)*

Заявка № 2017133717

Приоритет полезной модели 27 ноября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 01 февраля 2018 г.

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

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



Приложение Д
Патент на полезную модель №189563

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 189563

**Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением
и рекуперацией энергии**

Патентообладатель: *АО "СУЭК-Кузбасс" (RU)*

Авторы: *Стебнев Александр Валериевич (RU),
Мухортиков Сергей Григорьевич (RU)*

Заявка № 2018139012

Приоритет полезной модели 07 ноября 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 28 мая 2019 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 07 ноября 2028 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

