

На правах рукописи

БУЕВИЧ Владимир Владимирович



**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СЕКЦИИ
МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ, АДАПТИРОВАННОЙ
К МЕДЛЕННО ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ СИЛОВЫМ
ВОЗДЕЙСТВИЯМ КРОВЛИ**

Специальность: 05.05.06 – Горные машины

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор

Габов Виктор Васильевич

Официальные оппоненты:

Буялич Геннадий Данилович

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», кафедра «Горных машин и комплексов», заведующий кафедрой

Турук Юрий Владимирович

доктор технических наук, доцент, Шахтинский автодорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Проектирования и строительства автомобильных дорог», профессор

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

Защита диссертации состоится 7 июня 2019 г. в 12 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.07 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 5 апреля 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ЗВОНАРЕВ
Иван Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время практически весь объём угля, добываемый подземным способом, не только в России, но и в других странах с развитой угольной промышленностью, обеспечивается комплексно-механизированными очистными забоями (КМОЗ).

Интенсивность добычи в КМОЗ зависит от степени соответствия параметров машин, входящих в комплекс, изменяющимся в широком диапазоне горно-геологическим условиям (ГГУ). Именно секции механизированной крепи (СМК), поддерживая кровлю, управляя горным давлением, ограждая призабойное пространство, обеспечивают условия для эффективной и безопасной работы комплекса.

В практике горного производства металлоемкие и мощные СМК создаются под наиболее тяжелые условия, работают в циклически повторяющихся режимах с большими усилиями распора и импульсным регулированием их сопротивления, что вызывает повышенное «топтанье» непосредственной кровли. Изменение ГГУ в реальных условиях эксплуатации в широком диапазоне приводит к несоответствию их силовых параметров и их режимов работы. Поэтому обоснование структуры, параметров и режимов работы СМК, адаптированной к изменяющимся силовым воздействиям кровли, является актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Наиболее существенный вклад в развитие комплексной механизации подземной добычи угля внесли отраслевые и бассейновые научно-исследовательские и проектные институты: ВНИМИ, ДГИ, Донгипроуглемаш, ДонУГИ, ИГД им. А.А. Скочинского, ИГД СО РАН, КузГТУ, КузНИУИ, ПНИУИ, а также такие ученые как: И.В. Антипов, Г.Д. Буялич, В.С. Верин, В.Н. Гетопанов, А.В. Докукин, В.И. Клишин, Ю.А. Коровкин, С.Т. Кузнецов, Б.К. Мышляев, Н.Л. Разумняк, Е.И. Рогов, В.И. Солод, Б.А. Фролов, В.Н. Хорин, Г.И. Ягодкин и др.

Несмотря на значительный объем теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию режима работы СМК не

найденны способы и технические решения, обеспечивающие безымпурсное регулирование рабочего сопротивления гидростоек секций, снижение интенсивности разрушения пород непосредственной кровли и высыпания их в призабойное пространство, повышение адаптивности режима работы СМК к изменяющимся ГГУ. Поэтому необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований процесса сопротивления гидростоек СМК опусканию пород непосредственной кровлей, для обоснования их параметров.

Целью исследования является установление закономерностей процесса циклического силового взаимодействия гидростоек секций механизированных крепей с опускающимися породами кровли в комплексно-механизированных очистных забоях угольных шахт для научного обоснования структуры, параметров и режимов работы секции механизированной крепи, адаптированной к изменяющимся силовым воздействиям кровли, что способствует снижению статического и динамического топания кровли и повышению устойчивости работы очистных механизированных комплексов в изменяющихся по мере отработки выемочных столбов горно-геологических условиях.

Идея исследования заключается в уменьшении разности сил сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород кровли за время выполнения циклически повторяемых операций, достигаемой заменой импульсной деформационно-силовой характеристики на непрерывную безымпурсную, что приведет к снижению динамического и статического «топания» пород непосредственной кровли.

Задачи исследования:

1. Анализ особенностей этапов развития СМК и их влияния на режимы добычи угля в КМОЗ.
2. Обоснование деформационно-силовой характеристики гидростоек секций механизированной крепи.
3. Обоснование структуры и параметров блока безымпурсного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород непосредственной кровли.

4. Разработка методики выбора параметров блока безымпulseного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород кровли с вытеснением рабочей жидкости в напорную магистраль комплекса с попутной утилизацией потенциальной энергии кровли.

Научная новизна исследования:

1. Обоснованы функциональные зависимости режима работы секции механизированной крепи, адаптированной к медленно изменяющимся силовым воздействиям кровли в соответствии с трехуровневой структурой деформационно-силовой характеристики гидростоек секции крепи, влияющие на уменьшение диапазона изменчивости сил сопротивления гидростоек безударному опусканию пород непосредственной кровли.

2. Обоснован непрерывный безымпulseный способ регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород кровли в комплексно-механизированном очистном забое.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлена зависимость количества передаваемой в гидросистему комплекса энергии в процессе конвергенции боковых пород от фактических значений параметров режима работы секций механизированной крепи.

Обоснована методика выбора параметров блока безымпulseного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород кровли с вытеснением рабочей жидкости в напорную магистраль комплекса с попутной утилизацией потенциальной энергии кровли (патенты на изобретения RU 2503816 от 10.01.2014 Бюл. № 1, RU 2510460 от 27.03.2014 Бюл. № 9).

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач в ходе работы над диссертацией принят комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение результатов известных теоретических исследований и производственного опыта эксплуатации секций механизированных крепей очистных комплексов, синтез новых схемных и конструктивных технических решений секции механизированной крепи, разработку методики проведения

испытания блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.05.06 – «Горные машины» по: 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», 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. Предлагаемая трехуровневая деформационно-силовая характеристика гидростойки СМК с выделением диапазонов регулирования и защиты, разделённых буферными зонами, работающая в условиях повторно-кратковременного режима, вместо одноуровневой с импульсным регулированием сопротивления в современных секциях крепи, обеспечивает безимпульсное регулирование рабочего сопротивления гидростоек, возможность раздельной настройки режима работы в каждой зоне, повышение четкости выполнения функций защиты и регулирования рабочего сопротивления при снижении количества срабатываний предохранительного клапана и, следовательно, снижения топания кровли и повышение устойчивости процесса добычи.

2. Обоснована гидравлическая схема, включающая гидротрансформатор, подключаемый к поршневой полости гидростойки, причем схема подключения гидравлически разомкнута, что позволяет не снижая общей надежности гидравлической системы осуществить безимпульсный способ регулирования рабочего сопротивления гидростойки секции механизированной крепи, при этом статическая составляющая режима работы оценивается средневзвешенным значением ее сопротивления опусканию пород кровли, а динамическая составляющая оценивается отношением среднеквадратичного отклонения к средневзвешенному значению с учетом всех операций цикла.

3. Блоки безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи в процессе управления сопротивлением гидростоек опусканию пород непосредственной кровли обеспечивают одновременно отбор, передачу и использование энергии горного давления гидросистемой комплекса в количестве пропорциональном произведению давлению рабочей жидкости в поршневой полости гидростойки, смещению поршня за цикл операций, количеству стоек в секции и секций в комплексе.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов работы подтверждается корректностью постановки задач исследований, непротиворечивостью результатов фундаментальным законам и зависимостям, применением апробированных научных методов исследований и обработки полученных результатов, анализом информации о работе секций механизированных крепей в очистных забоях угольных шахт.

Основные положения диссертации докладывались на международном форум-конкурсе молодых учёных «Проблемы недропользования» 2012 (Санкт-Петербург), международных симпозиумах горнодобывающей отрасли — «Неделя горняка» (Москва, 2014 – 2016 г.), международной научно-практической конференция «Горная и нефтяная электромеханика: проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромышленного оборудования», 2015 г. Пермь.

Личный вклад соискателя состоит: в получении исходных данных и теоретическом обосновании методики выбора параметров рабочей характеристики гидростойки секции крепи; в разработке схемных и технических решений устройств непрерывного безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек СМК опусканию пород непосредственной кровли с передачей энергии в гидросистему комплекса; в установлении связи параметров рабочей характеристики и силовых взаимодействий гидростоек механизированной крепи с кровлей; в подготовке публикаций по выполненной работе.

Данные о публикациях автора. По результатам исследования опубликовано 9 печатных трудов, в том числе 3 статьи в двух российских изданиях, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования России, в том числе 2 патента РФ на изобретения,

в том числе 1 статья в издании, индексируемом БД Scopus.

Объем и структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и четырех приложений. Материалы работы изложены на 146 страницах машинописного текста, в том числе содержат 8 таблиц и 40 рисунков. Список цитируемой литературы включает 126 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены: актуальность и степень разработанности темы исследований, цель, идея, задачи и научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, соответствие темы исследований паспорту специальности, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов работы, личный вклад соискателя и данные о публикациях автора.

В первой главе проведен обзор состояния изученности рассматриваемых вопросов и обоснованы цель и задачи исследований. Представлен анализ и обобщение этапов развития секций крепей и взаимодействия их с боковыми породами в очистных забоях. Выполнен обзор публикаций, посвященных проблеме повышения адаптивности секций механизированных крепей к изменяющимся ГГУ в комплексно-механизированных очистных забоях. Установлено, что при добыче угля в КМОЗ за последнее время в среднем наблюдается снижение величины суточной добычи угля на фоне роста производительности единичных забоев. Определяющим фактором является слабая адаптивность режима работы СМК, как основной машины, обеспечивающей условия для эффективной и безопасной работы очистного механизированного комплекса (ОМК) в КМОЗ в изменяющихся горно-геологических условиях. Намечены пути повышения адаптивности СМК изменением ее деформационно-силовой характеристики.

Во второй главе представлен анализ особенностей объекта исследования.

Объектом исследования является процесс циклического взаимодействия гидростоек линейных секций механизированной крепи с медленно (безударно) опускающимися породами непосредственной кровли в КМОЗ по мере отработки выемочных столбов, характеризующихся переменными горно-геологическими условиями.

На характер циклического взаимодействия гидростоек СМК с породами кровли и почвы горных выработок и на значения его параметров оказывают влияние внешние и внутренние факторы, особенности предмета исследований, регулируемые параметры и степень влияния на процесс оператора механизированного комплекса (рисунок 1).

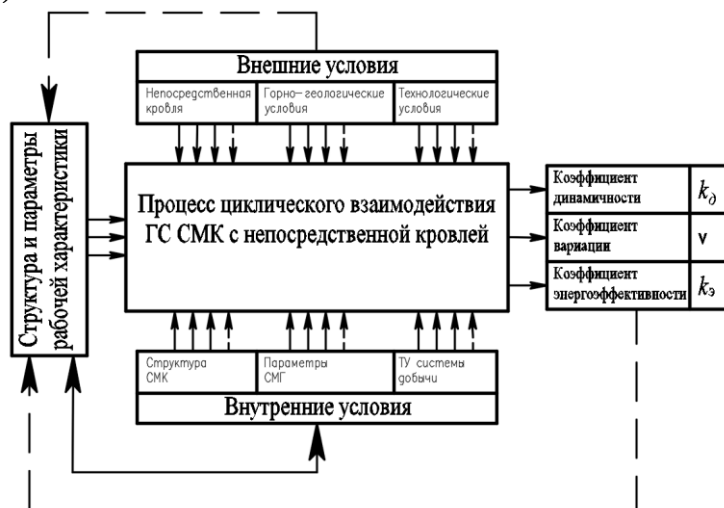


Рисунок 1 - Структурная модель объекта исследования

При этом первая группа факторов представлена значениями параметров, характеризующих непосредственную кровлю, горно-геологические условия и технологические условия. А вторая группа факторов представлена значениями параметров, характеризующих СМК и технологические условия отработки забоя. В результате анализа вышеуказанных факторов установлено, что по изменчивости сил и количеству циклов и переключений режим работы СМК следует отнести к повторно-кратковременному с частными переключениями, с существенной долей вероятностной составляющей. Многократные силовые воздействия СМК на породы кровли, вследствие импульсного регулирования сопротивления гидростоек (ГС), повышают интенсивность процесса возникновения и развития трещин и вероятность разрушения и высыпания пород в межсекционное пространство, что приводит к нарушению устойчивости процесса добычи угля в КМОЗ.

Для уменьшения негативного влияния явления «топтения» кровли на ее состояние и на процесс выемки угля в КМОЗ в целом, необходимо уменьшить диапазон изменчивости силовых циклических воздействий гидростоек на породы непосредственной кровли. Для этого необходимо усовершенствовать деформационно-силовую характеристику, как часть рабочей характеристики, и изменить ее структуру. Недостатками существующей деформационно-силовой характеристики (рисунок 2) являются:

- объединение функций регулирования и защиты от перегрузок ограничивает возможности совершенствования процесса взаимодействия СМК с непосредственной кровлей в целом;

- импульсное регулирование сопротивления гидростоек (точки 3-8) вызывает быстрое изменение напряжений в породах непосредственной кровли, что в технической литературе получило название «статическое топтение» кровли.

Для устранения указанных недостатков в деформационно-силовой характеристике выделены независимые друг от друга зоны по назначению (рисунок 2): I – зона регулирования сопротивления ($P_{рег.}$), II – зона защиты от перегрузок (настройки предохранительного клапана), III – зоны разделительные (буферные), исключающие взаимовлияние режимов работы гидростоек в зонах защиты и регулирования (I и II). Причем изменение уставок на одном из уровней силового взаимодействия не должны влиять на уставки силового взаимодействия на других уровнях.

Настройки предохранительного клапана (ПК) определяются из условий предельно допустимой нагрузки на крепь или значением предельной нагрузки на непосредственную кровлю по ее прочности. При этом одновременно достигается минимизация частоты срабатываний ПК.

Для выполнения технологической функции регулирования сопротивления гидростойки безимпульсным непрерывным способом предлагается блок безимпульсного регулирования сопротивления (ББРС). ББРС включает гидротрансформатор (ГТ), регулируемый дроссель с обратными клапанами, гидролинии. Малая камера ГТ соединена с поршневой полостью ГС. Большая камера ГТ соединена че-

рез регулируемый дроссель и обратные клапаны с напорной магистралью гидросистемы СМК.

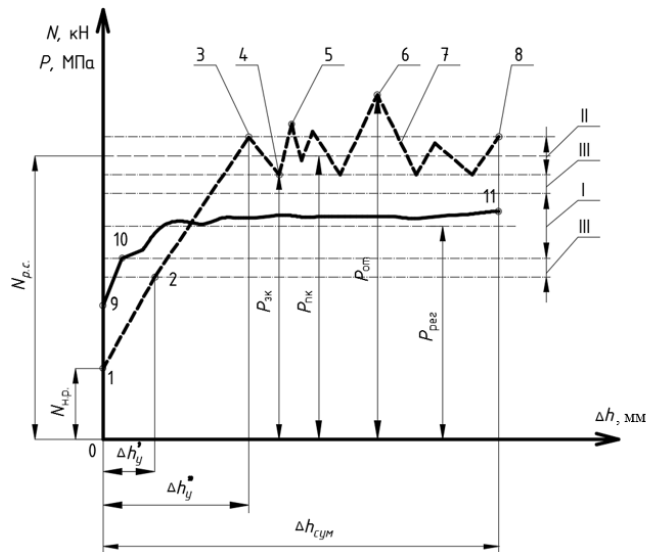


Рисунок 2 – Деформационно-силовая характеристика гидростойки

На рисунке 2 показано: 1-8 – деформационно-силовая характеристика существующих ГС; 9-11 – предлагаемая деформационно-силовая характеристика; 3-8 – открытие и закрытие ПК; $P_{зк}$, $P_{от}$, $P_{пк}$, $P_{рег}$ – давления открытия и закрытия ПК, давление настройки ПК, регулируемое блоком давление ББРС, МПа; Δh_y , Δh_y^* – упругие деформации, мм; $\Delta h_{сум}$ – суммарная деформация гидростойки, мм; $N_{н.р.}$ – усилие начального распора, кН; $N_{р.с.}$ – усилие равного сопротивления, кН.

Значения давлений, соответствующих нижней и верхней границам диапазона регулирования $P_{рн}$ и $P_{рв}$, определяются из соотношений:

$$P_{рн} = P_n + K_n P_n = P_n(1 + K_n), \quad (1)$$

$$P_{рв} = P_{пк} + K_v P_{пк} = P_{пк}(1 + K_v), \quad (2)$$

где K_n , K_v – коэффициенты запаса устойчивости для нижней и верхней границы зон регулирования соответственно. Соотношение параметров режима работы гидростоек СМК в зависимости от выполняемых

операций цикла представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение значений параметров рабочих характеристик

Параметры режимов работы гидростоек СМК		Соотношение параметров рабочих характеристик		
		Типовой	Предлагаемой	В сравнении
1	Давление подпора при передвижке	$P_{\text{ннI}} = \begin{cases} 0 \\ P_{\text{пп}} \end{cases}$	$P_{\text{ннII}} = \begin{cases} 0 \\ P_{\text{пп}} \end{cases}$	$\frac{P_{\text{ннI}}}{P_{\text{ннII}}} = 1,0;$
		—	$P_{\text{ппII}} = P_{\text{нр}}$	$\frac{P_{\text{ппII}}}{P_{\text{ппI}}} \gg 1,0$
2	Приращение давления начального подпора	$\Delta P_{\text{нрI}} = P_{\text{нр}} - P_{\text{пп}}$	$\Delta P_{\text{нрII}} \approx P_{\text{нр}} - P_{\text{пп}}$	$\Delta P_{\text{нрII}} \ll \Delta P_{\text{нрI}}$
3	Нарастающее сопротивление	$\Delta P_{\text{нсI}} \geq P_{\text{пк}} - P_{\text{нр}}$	$\Delta P_{\text{нсII}} \geq P_{\text{рег}} - P_{\text{нр}}$	$\Delta P_{\text{нсII}} \ll \Delta P_{\text{нсI}}$
4	Регулируемое сопротивление	$\Delta P_{\text{регI}} = \Delta P_{\text{пк}}$ Импульсное воздействие	$\Delta P_{\text{регII}} < \Delta P_{\text{регI}}$ Непрерывное воздействие	Раздельная настройка защиты и регулирования
		Защитная ф-я $\Delta P_{\text{пк}}$	$\Delta P_{\text{регII}} = \Delta P_{\text{регI}}$ Статическое силовое воздействие	
5	Снятие распора перед передвижкой	$\Delta P_{\text{срI}} \geq P_{\text{пк}} - P_{\text{пп}}$	$\Delta P_{\text{срII}} = P_{\text{регII}} - P_{\text{нр}}$	$\Delta P_{\text{срII}} \ll \Delta P_{\text{срI}}$

Снижение негативного эффекта статического «топтанья», отмеченного точками 3-8, возникающего вследствие импульсного срабатывания ПК, вызванного реализацией энергии упругой деформации стоек и пород непосредственной кровли, осуществляется переходом на непрерывное плавное регулирование, отмеченное точками 9-11 (рисунок 2).

Снижение негативного влияния динамического «топтанья» на породы непосредственной кровли в моменты снятия нагрузок (открывания гидрозамка клапанного блока) перед передвижкой СМК, свойственного типовой рабочей характеристике, осуществляется снижением разности давлений ΔP (таблица 1). Наибольшее снижение дина-

мического топтания пород кровли при передвижке может быть достигнуто повышением давления подпора до уровня начального распора.

Секции крепи могут передвигаться: с активным или пассивным подпором, или, в относительно благоприятных ГГУ, с разрывом контакта с кровлей. Давление подпора принимается соответствующим конкретным классам кровли и почвы. Снижение разности динамических и статических сил и, следовательно, динамического и статического топтания кровли при выполнении операций цикла с использованием ББРС и без него приведено в таблице 1.

Трехуровневая структура деформационно-силовой характеристики:

- уменьшает время работы СМК в режиме нарастающего сопротивления и увеличивает время режима регулирования сопротивления;
- расширяет диапазон регулирования вследствие перехода от регулирования последовательным срабатыванием ПК к непрерывному регулированию в зоне I (рисунок 1);
- снижает число срабатываний ПК, что увеличивает его ресурс работы;
- повышает устойчивость непосредственной кровли в режиме регулирования сопротивления гидростойки за счет уменьшения статического «топтания» кровли.

Таким образом, первое положение, вынесенное на защиту, следует считать доказанным.

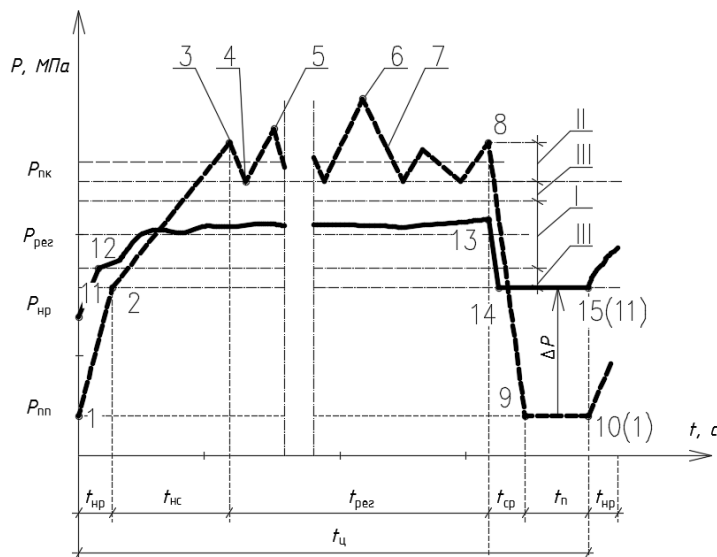
Силовое взаимодействие с кровлей при управлении горным давлением изменяется случайным образом в некотором диапазоне и зависят от времени выполнения конкретной операции, которое может изменяться от цикла к циклу. В целом режим функционирования СМК соответствует повторно-кратковременному режиму. Для такого режима сопротивление ГС следует оценивать средневзвешенным значением с учетом значения сил и времени их действия за цикл, которое более точно отражает его влияние на состояние кровли.

Величина средневзвешенного сопротивления определяется с учетом значений нагрузок и их действия за время цикла:

$$F_{св} = \frac{\overline{F}_{нр}t_{нр} + \overline{F}_{нс}t_{нс} + \overline{F}_{пер}t_{пер} + \overline{F}_{ср}t_{ср} + \overline{F}_{пп}t_{пп}}{t_{нр} + t_{нс} + t_{пер} + t_{ср} + t_{пп}}, \quad (3)$$

где $\overline{F}_{нр}$, $\overline{F}_{нс}$, $\overline{F}_{рег}$, $\overline{F}_{ср}$, $\overline{F}_{пп}$ – осредненные распорные усилия гидростоек за время выполнения операций цикла: начального распора, нарастающего и регулируемого сопротивлений, снятия распора, кН; $t_{нр}$, $t_{нс}$, $t_{рег}$, $t_{ср}$, $t_{пп}$ – длительность выполнения операций цикла: начального распора, нарастающего сопротивления, регулируемого сопротивления, снятия распора секции крепи, времени передвижки, с.

На рисунке 3 представлена рабочая характеристика СМК.



I – зона регулирования сопротивления, II – зона настройки предохранительного клапана (зона защиты), III – буферная зона

Рисунок 3 - Рабочие характеристики гидростойки СМК

По сравнению с типовой характеристикой соотношения времени по выполняемым операциям цикла (таблица 1) отличаются: начальный распор $t_{нр} = 0$, нарастающее сопротивление меньше по времени, снятие распора происходит быстрее, передвижка секции крепи также происходит быстрее. Время работы секции в режиме регулируемого сопротивления определяется по длительности цикла операций по выемке угля в КМОЗ.

Динамическую составляющую нагрузок гидростоек СМК следует оценивать отношением среднеквадратичного отклонения сил за

цикл, к средневзвешенному значению. То есть по аналогии с коэффициентом вариации нагрузок, коэффициент динамичности нагрузок следует определять по формуле:

$$k_d = \frac{\sigma_{F_{cb}}}{F_{cb}}. \quad (4)$$

При этом среднеквадратическое отклонение определяется по формуле:

$$\sigma_{F_{cb}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - F_{cb})^2}, \quad (5)$$

где F_i – усилия операций цикла работы СМК включающие: начальный распор, нарастающее и регулируемое сопротивление, усилие подпора при передвижке секции крепи, кН.

Полученные зависимости однозначно характеризуют силовой режим работы ГС секции механизированной крепи за цикл ее взаимодействия с породами непосредственной кровли и являются его оценкой как по среднему значению сил F_{cb} и времени их действия, так и по динамике нагрузок k_d .

Таким образом, второе положение, вынесенное на защиту, следует считать доказанным.

Отбор и передача части потенциальной энергии происходит при выполнении операции регулирования рабочего сопротивления ГС СМК. Схема подключения ББРС с ГТ обратными клапанами и регулируемым дросселем к гидросистеме стойки СМК представлена на рисунке 4.

Малая камера гидротрансформатора соединена с поршневой полостью гидростойки, а его большая камера соединена с напорной магистралью гидросистемы комплекса через регулируемый дроссель ДР с двумя обратными клапанами. Переток рабочей жидкости из поршневой полости ГС в малую камеру ГТ и из большой камеры ГТ в напорную магистраль реализует, при опускании пород непосредственной кровли, преобразование и передачу энергии горного давления для дальнейшего использования в напорной магистрали гидросистемы механизированной крепи.

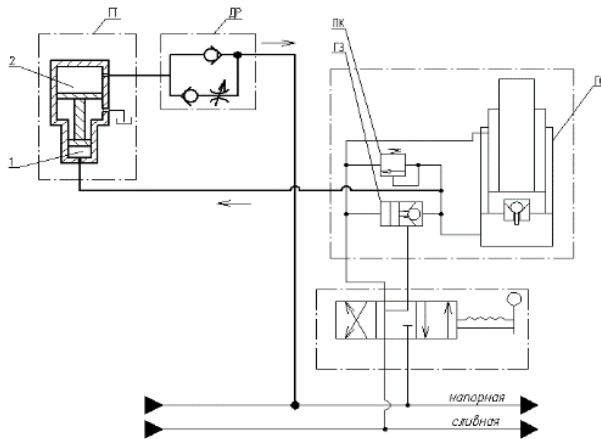


Рисунок 4 - Гидросистема гидростойки с блоком безимпульсного регулирования сопротивления

Расход Q рабочей жидкости объемом V под давлением P из большой камеры ГТ в каждом цикле работы через регулируемый дроссель будет равен:

$$Q = \beta \xi S \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{\text{п}} - P_{\text{н}})}, \quad (6)$$

где β – коэффициент расхода, ξ – степень открытия дросселя, S – площадь сечения отверстия дросселя, м^2 ; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; $P_{\text{п}}$ – давление в поршневой полости гидростойки, МПа; $P_{\text{н}}$ – давление в напорной магистрали, МПа.

При резком блоковом опускании кровли и недостаточной пропускной способности регулируемого дросселя предусмотрен упор поршня ГТ в верхнюю часть его корпуса (полость 2, рисунок 4). Однако быстрый переток жидкости при максимально открытом дросселе в напорную магистраль снизит амплитудное значение давления в поршневой полости по сравнению со схемой без ББРС.

При этом количество энергии, передаваемой вытесняемой жидкостью равно работе $A_{\text{ГС}}$ ГС за цикл, Дж:

$$A_{\text{ГС}} = P_{\text{п}} S_{\text{п}} \Delta l \eta, \quad (7)$$

где P_{Π} – давление в поршневой полости гидростойки, МПа; S_{Π} – площадь поршня гидростойки, м^2 ; Δl – ход поршня гидростойки при осадке кровли за цикл, м; η – коэффициент полезного действия (кпд) гидротрансформатора и линий связи.

Количество энергии горного давления $A_{\text{ОМК}}$, передаваемой механизированной крепью за цикл в гидросистему ОМК будет равно:

$$A_{\text{ОМК}} = A_{\text{Гс}} n_{\text{Гс}} n_{\text{СМК}}, \quad (8)$$

где $n_{\text{Гс}}$ – количество гидростоек в СМК, шт.; $n_{\text{СМК}}$ – количество секций крепи в ОМК, шт, $A_{\text{Гс}}$ – работа гидростойки, Дж.

Для оценки энергоэффективности гидросистемы СМК предложен коэффициент энергоэффективности $k_{\text{э}}$, представляющий отношение рекуперированной (возвращаемой) энергии $E_{\text{рек}}$ за цикл срабатывания ББРС в СМК в гидросистему комплекса к потребленной ОМК энергии $E_{\text{пот}}$ за цикл, Дж:

$$k_{\text{э}} = \frac{E_{\text{рек}}}{E_{\text{пот}}} \leq 1. \quad (9)$$

По предварительным расчетам величина рекуперированной энергии четырехстоечной СМК за один цикл с учетом КПД составляет порядка 50 кДж. При этом необходимо учитывать, что процесс работы СМК является циклическим и в среднем составляет 5-15 циклов, а количество секций достигает порядка 200 шт. Рекуперация энергии в технологическом процессе регулирования сопротивления СМК при помощи ББРС представляет особый интерес и существенно превосходит плотностью энергию, добываемую из альтернативных источников.

Таким образом, третье положение, вынесенное на защиту, следует считать доказанным.

В третьей главе сформулированы требования к конструкции блока безимпульсного регулирования сопротивления с гидротрансформатором. Обоснованы методика выбора структуры и параметров ББРС, кинематические, геометрические и силовые параметры ГТ в зависимости от параметров и режимов работы ОМК.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В диссертации приведены, разработанные автором, теоретические и практические положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной задачи обоснования режима работы секции механизированной крепи, адаптированной к медленно изменяющимся силовым воздействиям кровли, имеющей существенное значение для повышения устойчивости режимов работы очистных механизированных комплексов и эффективности подземной добычи угля.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Обоснованы безымпulseный способ регулирования сопротивления гидростоек секций механизированных крепей опусканию пород непосредственной кровли и трехуровневая деформационно-силовая характеристика работы гидростоек секции крепи.

2. Установлена зависимость средневзвешенного сопротивления гидростойки опусканию непосредственной кровли за цикл операций от параметров рабочей характеристики, силовых и временных параметров режимов работы секции за цикл.

3. Обосновано схемное техническое решение блока безымпulseного регулирования сопротивления гидростойки секции крепи очистного механизированного комплекса опусканию пород кровли, защищенное двумя патентами, и разработана методика выбора его параметров.

4. Установлена зависимость количества энергии, передаваемой в процессе регулирования сопротивления гидростойки секции механизированной крепи в ее гидросистему, от силовых и временных параметров рабочей характеристики, конструктивных параметров гидростоек и режимов работы комплексно-механизированного очистного забоя.

5. Разработанные методики выбора структуры и параметров блока безымпulseного регулирования сопротивления гидростойки крепи опусканию пород кровли рекомендуется к использованию при проектировании механизированных крепей и выборе их режимов работы для конкретных горно-геологических условий шахт

Кузбасского региона.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ:

1. **Буевич В.В.** Безимпульсное управление режимом работы гидростоек секций гидрофицированной крепи очистного механизированного комплекса / В.В. Буевич, В.В. Габов, Д.А. Задков, О.В. Кабанов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 3. – С. 26-30.

2. **Буевич В.В.** Адаптация секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики гидропривода ее гидростоек / В.В. Буевич, В.В. Габов, Д.А. Задков, А.В. Стебнев, Н.В. Бабырь // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 3. – С. 28-34.

3. Габов В.В. Выемочные модули фронтальных модульных комплексов для подземной добычи угля / В.В. Габов, Д.А. Задков, **В.В. Буевич**, С.А. Пальцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2015. – Специальный выпуск № 60-1. – С. 31-41.

Публикации в других отечественных изданиях:

4. **Буевич В.В.** Адаптивность секций механизированных крепей и их режимы работы / **В.В. Буевич**, В.В. Габов, Д.А. Задков, О.В. Кабанов // Сборник трудов «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в НИУ», СПб, Политехнический университет. – 2014. – Т. 3. – С. 23-28.

5. **Буевич В.В.** Статически адаптируемая секция крепи механизированного комплекса / **В.В. Буевич**, В.В. Габов, О.В. Кабанов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования. – Пермь: Изд-во ПНИПУ. – 2014. – С. 66-70.

6. **Буевич В.В.** Безимпульсное управление режимом работы гидростоек секций гидрофицированной крепи очистного механизированного комплекса / **В.В. Буевич**, В.В. Габов, Д.А. Задков, О.В. Кабанов // «Технологическое оборудование для

горной и нефтегазовой промышленности», Сборник трудов 12-ой Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», г. Екатеринбург, УГГУ. – 2014. – С. 43-47.

Публикации в изданиях, входящих в БД Scopus:

7. 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. TU Bergakademie Freiberg, Germany – 2012. – Vol. 1. – P. 135-140 (Габов В.В. Адаптация секции механизированной крепи к изменяющемуся горному давлению / В.В. Габов, В.В. Бувич, Д.А. Задков, П.А. Васильева // Eurasian Mining. Технический университет Фрайбергская горная академия, Германия – 2012. – Вып. 1. – С. 135-140).

Результаты интеллектуальной деятельности:

8. Пат. 2503816 Российская Федерация, МПК E21D23/16. Гидрофицированная крепь с дросселирующим распределителем и рекуперацией энергии / Габов В.В., Кабанов О.В., Бувич В.В.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – № 2012124418/03; заявл. 13.06.2012; опубл. 27.03.2014, бюл. № 9.

9. Пат. 2510460 Российская Федерация, МПК E21D23/16. Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии / Бувич 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.