

Безимпульсное регулирование горного давления с рекуперацией энергии в гидросистему механизированной крепи очистного комплекса

В.В. ГАБОВ¹, Д.А. ЗАДКОВ¹ ✉, Н.В. БАБЫРЬ¹, Фангвей ХИ²

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Россия

² Университет Цзянсу, Школа машиностроения, Китай

✉ dzadkov@yandex.ru

Ссылка для цитирования оригинальной статьи: Gabov, Victor & Zadkov, Denis & Babyr, Nikita & Fangwei, Xie. (2021). Nonimpact rock pressure regulation with energy recovery into the hydraulic system of the longwall powered support. *Eurasian Mining*. 55-59. DOI: 10.17580/em.2021.02.12

Аннотация: Рассматривается целесообразность в процессе добычи угля в очистном забое осуществления непрерывного безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек секций механизированной крепи опусканию пород кровли и повышения адаптивности механизированной крепи современных высоко энерговооруженных очистных механизированных комплексов к горно-геологическим условиям, изменяющимся по мере отработки выемочных участков. Предлагается вместо типовой трехуровневой рабочей характеристики гидростойки секций крепи с импульсным регулированием ее сопротивления опусканию пород кровли четырехуровневая характеристика с безимпульсным регулированием. Такие режимы работы гидростоек с вытеснением рабочей жидкости в напорную магистраль механизированной крепи комплекса могут быть обеспечены блоком безимпульсного регулирования сопротивления. Предложены структура, схема подключения и конструктивное исполнение блока. Приведены результаты заводских и шахтных испытаний гидростойки секции механизированной крепи МКЮ2Ш13/27 с опытным образцом блока регулирования на нагрузочном стенде ООО «Завод Красный Октябрь» и в условиях шахты «Имени А.Д. Рубана» АО «СУЭК-Кузбасс». Результаты испытаний подтверждают, что блок обеспечивает непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления гидростоек секций механизированной крепи возрастающей нагрузке и доказана возможность рекуперации энергии горного давления в гидросистему механизированной крепи очистного комплекса.

Ключевые слова: уголь, подземная добыча, очистной забой, механизированная крепь, гидростойка, горное давление, безимпульсное регулирование, мультипликатор давления.

Nonimpact rock pressure regulation with energy recovery into the hydraulic system of the longwall powered support

Victor V. GABOV¹, Denis A. ZADKOV¹ ✉, Nikita V. BABYR¹, FANGWEI XIE²

¹ Saint-Petersburg Mining University, St Petersburg, Russia

² Jiangsu University, School of Mechanical Engineering, China

✉ dzadkov@yandex.ru

Abstract: The paper considers the advisability of continuous nonimpact regulation of powered support unit hydraulic props resistance to roof rock subsidence. It also examined the advisability of increasing the adaptability of the powered support within advanced high-powered mechanized longwall face complexes to mining-geological conditions that change as the blocks are extracted. A four-level characteristic with nonimpact regulation is proposed instead of a typical three-level operating characteristic of the support unit hydraulic prop with impact regulation of its resistance to roof rock subsidence. Such operation modes of hydraulic props with the power fluid displacement into the power support pressure pipe can be provided by a nonimpact resistance control unit. The paper presents the structure, connection diagram, and embodiment of the control unit. The production and in-mine testing of the MKYU 2SH13/27 powered support unit hydraulic prop equipped with a prototype control unit were carried out on ООО Zavod Krasny Oktyabr loading test bench and in the A. D. Ruban mine of AO SUEK-Kuzbass. The testing data is presented in the paper. The possibility of rock pressure energy recovery into the hydraulic system of the longwall power support has been proved.

Keywords: coal, underground mining, working face, support unit, hydraulic prop, rock pressure, nonimpact regulation, pressure multiplier.

* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2025.

Введение. Стратегия развития подземной добычи угля последних десятилетий, направленная на повышение уровня концентрации горных работ и повышение нагрузок на очистные забои, была достигнута путем оснащения очистных забоев современными надежными высоко энерговооруженными очистными механизированными комплексами (ОМК) [1-4]. Установлены очередные рекордные нагрузки на очистные забои, осуществлен переход на шахты-лавы [5], уменьшилось количество шахт, изменилась структура предприятий и организаций, связанных с подземной добычей угля [6, 7, 19], изменились и требования к самим техническим средствам механизации очистных работ [4, 8, 24].

С ростом мощности приводов, прочности и металлоемкости машин, обеспечивших заданный уровень надежности и ресурса машин и оборудования ОМК, увеличивались интенсивность процесса добычи, скорость подвигания забоев [9, 29], размеры участков, нарезаемых к выемке [7, 18], и, соответственно, диапазоны изменения горно-геологических условий (ГГУ) по мере их отработки [10, 23].

Увеличение диапазона изменения ГГУ [21, 22, 30] приводит к дальнейшему росту разрыва между технически возможной и фактической производительностью ОМК, оказывает влияние на безопасность работ [11, 25, 26] и сказывается на экономической эффективности процесса подземной добычи угля [20]. Естественно возникли новые требования к ОМК, в частности, необходимости придания им свойств адаптивности к этим изменяющимся по мере отработки выемочных участков горно-геологическим условиям [12, 27]. Существенная роль, в плане общей адаптации ОМК к условиям эксплуатации, принадлежит механизированной крепи [13-15] как основному функциональному оборудованию комплексно механизированного очистного забоя (КМОЗ), обеспечивающему необходимые условия для интенсивной и безопасной работы очистного комплекса в процессе добычи угля.

В настоящее время в КМОЗ угольных шахт, оснащенных механизированными очистными комплексами, с энергетической точки зрения, процесс управления горным давлением построен на энергозатратной компенсационной основе: 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 [16, 17].

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

- компенсационный энергозатратный метод регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи (СМК) опусканию пород кровли, заключающийся в потреблении электрической энергии, ее преобразовании в гидравлическую и затем в механическую, реализуемую гидростойками СМК при взаимодействии с непосредственной кровлей в КМОЗ [33];
- импульсный силовой характер взаимодействия гидростоек секций механизированной крепи с кровлей при управлении горным давлением (ГД) [28], обуславливающий высокую вероятность разрушения пород непосредственной кровли и высыпания ее в межсекционное пространство [35];
- большой перепад давлений, сопровождающий срабатывания предохранительных клапанов с перепуском рабочей жидкости в сливную магистраль в процессе регулирования ГД, приводящий к динамическим воздействиям на элементы гидросистемы и к снижению их ресурса [31-33];
- недостаточная кинематическая и контактная адаптивности СМК к ГГУ, изменяющимися по мере отработки выемочных участков [13, 14], 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 металлоемкостью, импульсным способом регулирования их сопротивления опусканию пород кровли [33, 34], большим диапазоном изменения давлений рабочей жидкости в напорных магистралях. Они не адаптивны

к изменяющимся горно-геологическим условиям, не энергосберегающие, а при передвижке секций механизированной крепи и срабатывании предохранительных клапанов осуществляют статическое и динамическое топтание пород кровли.

Анализ и метод. В типовой рабочей характеристике режимов работы гидропривода стоек СМК предусмотрены уровни давлений, которые устанавливаются в поршневых полостях стоек при выполнении операций цикла, обеспечивающие необходимый подпор секции при их передвижении ($P_{\text{пн}}$), 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 (рис.1, а) четырехуровневая рабочая характеристика (рис.1, б) [14]. Совмещенный уровень регулирования – «равного сопротивления» и защиты СМК от перегрузок (участок 2-3 рис.1, а) типовой характеристики заменен независимо функционирующими уровнями регулирования сопротивления гидростойки $P_{\text{пер}}$ и уровнем защиты гидростойки от перегрузок $P_{\text{пк1}}$ в предлагаемой рабочей характеристике (рис.1, б), что обеспечивает независимость и повышение точности настройки и эффективности функционирования гидростойки.

Нагрузки гидростоек при выполнении операций цикла (рис. 1): 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» [16].

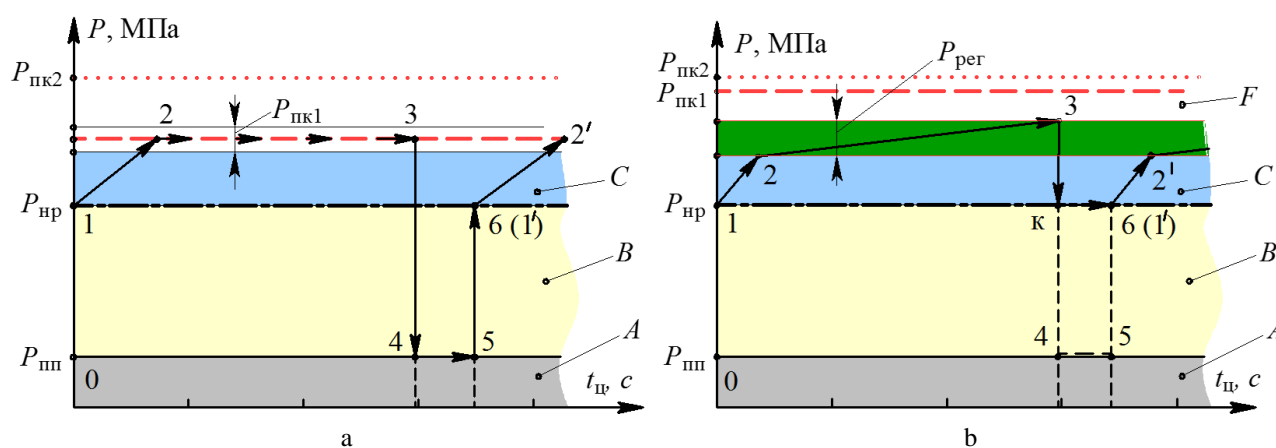


Рис. 1. Идеализированные рабочие характеристики гидростоек секций механизированной крепи:
а – трехуровневая по давлению типовая рабочая характеристика гидростойки;
б – четырехуровневая по давлению рабочая характеристика гидростойки

Верхней и нижней границами зоны регулирования сопротивления ($P_{\text{пер}}$) гидростойки (рис. 1, б) задается диапазон адаптации секции механизированной крепи к процессу опускания пород непосредственной кровли.

Все устанавливаемые уровни по давлению разделены промежуточными зонами *A*, *B*, *C* и *F* (рис. 1) 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 $P_{\text{пн}}$ при передвижке СМК поднять до уровня начального распора $P_{\text{нр}}$, тогда разгрузка и передвижение секции крепи – участок 3-к-6 (рис. 1, 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 [14] и могут быть обеспечены блоком безимпульсного регулирования сопротивления стоек опусканию пород кровли (далее блок регулирования). Следует отметить, что гидростойка СМК представляет собой идеальный преобразователь механической энергии конвергенции боковых пород в гидравлическую энергию и передачи ее в напорную магистраль гидросистемы механизированной крепи.

Блок регулирования 5, включающий (рис.2, а) мультипликатор 6, дроссель 7, обратный клапан 8, подсоединяется к клапанному блоку гидростойки 1, содержащему предохранительный клапан 2, гидрозамок 3 и датчик давления 4 [14]. Вентиль 10 необходим для удобства подключения БРС к действующим гидромагистралям насосной станции и к гидростойке. При повышении давления в поршневой полости первой ступени гидростойки до уровня регулирования блок поршней мультипликатора 6 начнет смещаться вытесняя рабочую жидкость через дроссель 7, подпорный клапан 9 и вентиль 10 в напорную магистраль 11 гидросистемы механизированной крепи (МК).

При разгрузке и передвижке СМК рабочая жидкость под давлением в напорной магистрали будет поступать в мультипликатор 6 и переместит его блок поршней в заряженное состояние, чем обеспечит согласованную работу БРС и СМК при выполнении ею вспомогательных операций.

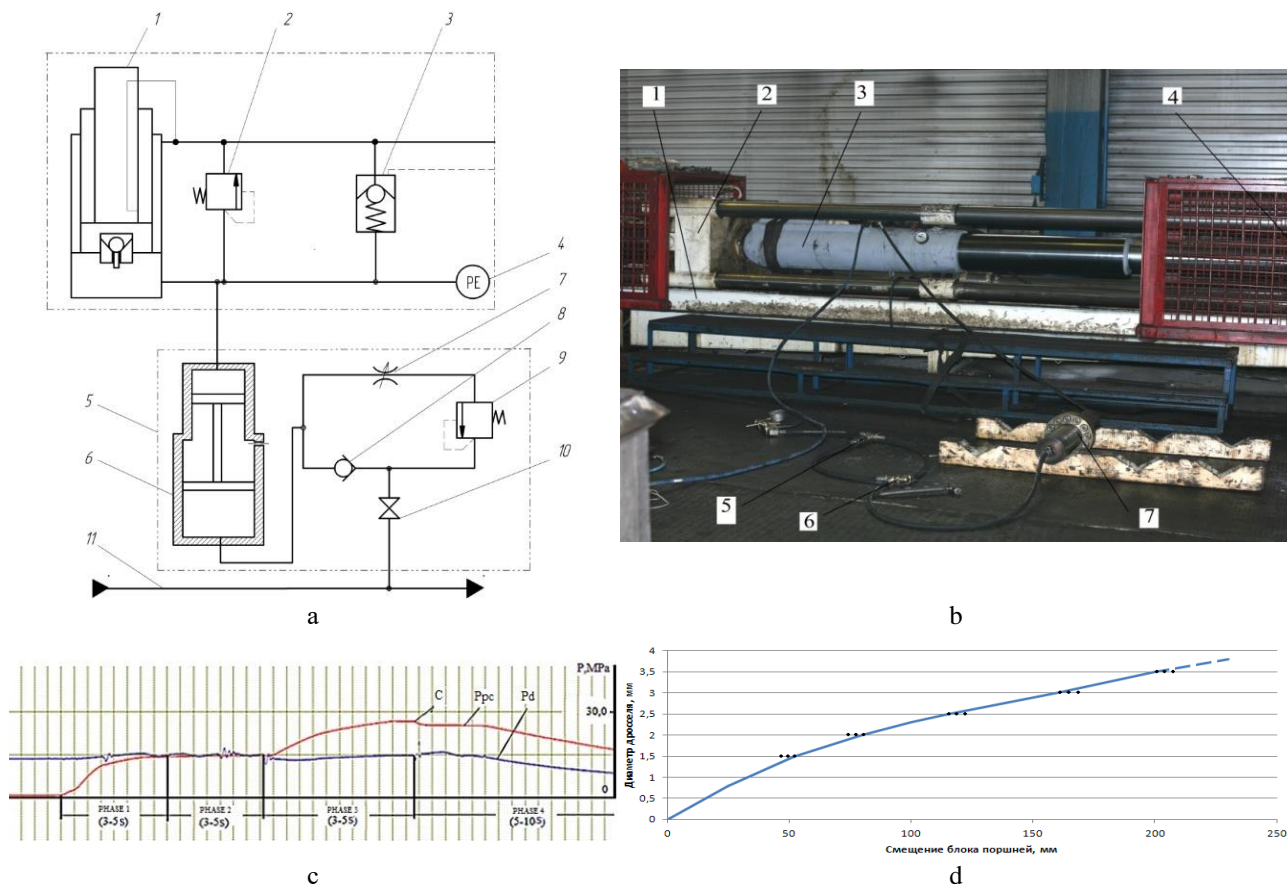


Рис.2. Испытание блока безимпульсного регулирования:

- а – схема подключения блока к гидростойке МКЮ-2Ш 13/27; б – нагрузочный стенд;
- с – осциллограмма процесса: диаметр дросселя 3,5 мм, ход поршня 200 мм;
- д – зависимость смещения блока поршней мультипликатора от диаметра отверстия дросселя

Предложенное техническое решение, по заложенным в него возможностям, может обеспечить не только непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления гидростоек СМК опусканию пород непосредственной кровли, но также преобразование и передачу энергии ГД в напорную магистраль гидросистемы механизированной крепи ОМК.

При поддержке АО «СУЭК-Кузбасс» предприятием ООО «Завод Красный Октябрь» г. Ленинск-Кузнецк изготовлен и испытан образец блока регулирования, предназначенный для экспериментальной проверки самой идеи безимпульсного регулирования горного давления с возможностью извлечения, преобразования и использования энергии конвергенции боковых пород в процессе добычи угля в КМОЗ угольных шахт.

Испытания и исследования экспериментального образца блока регулирования совместно с гидростойкой секции крепи МКЮ2Ш13/27 проводились совместно с электромеханической службой АО «СУЭК-Кузбасс» и ООО «Завод Красный Октябрь» на нагрузочном стенде (рис. 2, б). Испытываемая гидростойка 3 установлена в двух встречно движущихся по направляющим 1 нажимных каретках 2 и 4. Элементы блока регулирования: мультипликатор – 7, дроссель с обратным клапаном – 5, вентиль – 6 подсоединены высоконапорными рукавами к магистралям насосной станции стенда и к испытываемой гидростойке МКЮ-2Ш 13/27.

При проведении испытаний, оценивалась устойчивость протекания фаз процесса в режиме повышения нагрузки на испытываемую гидростойку: 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. Как видно из осциллограммы (рис. 2, с) продолжительность фазы в опыте удерживалась в назначенных пределах, четко зафиксирован момент срабатывания предохранительного клапана и реакция устройства по давлению в полости мультипликатора. Здесь P_{pc} – давление в поршневой полости гидростойки, P_d – давление в напорной магистрали гидросистемы.

При проведении опытов определялись значения параметров режима работы блока регулирования с устанавливаемыми калиброванными дросселями с разными диаметрами отверстий. Изменение диаметра дросселя приводит к пропорциональному изменению смещения блока поршня мультипликатора при неизменной разности давлений (рис. 2, д), что подтверждает возможность эффективного формирования рабочих характеристик гидростоек СМК.

Результаты стендовых испытаний показали, что блок обеспечивает непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления гидростойки при возрастающей нагрузке с рекуперацией энергии в гидросистему стенда при этом срабатывания предохранительного клапана не сопровождались резкими изменениями давления и волновыми процессами в гидростойке или в мультипликаторе. Проведенные исследования подтвердили работоспособность блока и эффективность способа регулирования

Эксперимент. 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». Цель шахтных испытаний – оценка работоспособности блоков регулирования в производственных условиях с учетом фактического состояния гидросистем механизированной крепи МКЮ 2Ш13/27 и значений ее параметров.

Два опытных образца блока безимпульсного регулирования были установлены в лаве 12-06 в секциях крепи № 97, 105. Полости высокого давления блока безимпульсного регулирования были подключены к поршневой полости гидростойки секций крепи МКЮ 2Ш13/27, а полость низкого давления через обратный клапан, дроссель и вентиль – к напорной магистрали гидросистемы комплекса (рис.2, а). При испытаниях блока регулирования давление рабочей жидкости в напорной магистрали гидросистемы и в поршневой полости гидростойки секции крепи контролировалось датчиками давления PS1, PS2 (рис.3, а) с визуальным контролем в блоке управления секцией ОНЕ (рис.3, б): слева – давление в поршневой полости гидростойки, справа – давление в напорной магистрали.

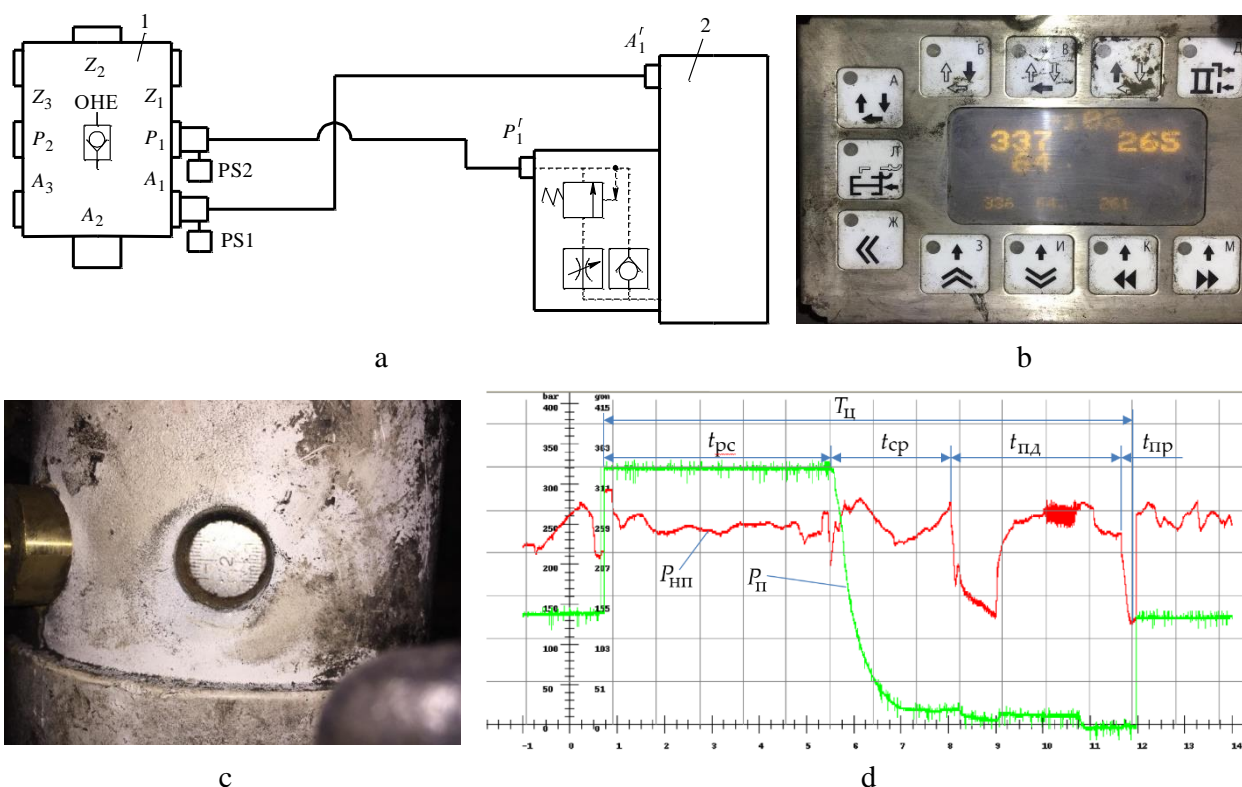


Рис. 3. Шахтные испытания блока регулирования:
 а – схема внешних соединений клапанного блока ОНЕ гидростойки и блока регулирования;
 1 – клапанный блок ОНЕ; 2 – блок регулирования с мультипликатором;
 б – блок управления секцией; с – смотровое окно блока регулирования с измерительной линейкой;
 д – осциллограмма давлений в поршневой полости гидростойки и напорной магистрали секции крепи МКЮ 2Ш13/27 за цикл

Смещение блока поршней мультипликатора в блоке регулирования в течение цикла операций контролировалось визуально по положению измерительной линейки, закрепленной на штоке поршней относительно отметки смотрового окна (рис.3, с).

Результаты и обсуждение. На рис. 3, d представлена осциллограмма давлений за цикл операций: $P_{п}$ – давление в поршневой полости гидростойки секции крепи МКЮ 2Ш13/27; $P_{м}$ – давление в напорной магистрали. На осциллограмме четко отражены во времени особенности процессов при выполнении всех операций цикла: поддержание кровли и регулирование горного давления ($t_{p,c}$), снятие распора ($t_{c,p}$), передвижка секции крепи (t_{nd}) и начальный распора (t_{np}).

Таким образом, можно судить о циклических процессах, происходящих в гидроприводе гидростойки секции механизированной крепи: время снятия распора составило $t_{c,p} = 2,5-2,7$ с, время передвижки СМК $t_{nd} = 4-5$ с, время начального распора гидростойки СМК $t_{np} \leq 1$ с, время регулирования сопротивления $t_{p,c}$ определяется временем операции выемки угля.

При выполнении операций передвижки происходят резкие изменения давления в поршневой полости стойки, в гидродомкрате передвижки и в напорной магистрали крепи МКЮ 2Ш13/27. Достаточно большая динамика процессов по давлению и наличие переходных процессов в гидроприводе стойки и в напорной магистрали, обусловили необходимость установки подпорного клапана на выходе из блока регулирования в месте подключения к напорной магистрали.

При достижении давления в поршневой полости стоек СМК уровня регулирования наблюдались устойчивые смещения блока поршней мультипликатора блока регулирования, что фиксировалось по перемещениям измерительной линейки (рис. 3, с). Суммарное перемещение блока поршней составляло 20-30 мм, что подтверждало факт о передаче энергии конвергенции боковых пород в напорную магистраль гидросистемы очистного комплекса.

При разгрузке стойки и передвижке секции крепи блок поршней блока регулирования возвращался в исходное положение, что подтверждает работоспособность блока при выполнении циклически повторяющихся операций.

Заключение. На основании результатов проведенных исследований можно утверждать, что блок регулирования предложенной структуры обеспечивает:

- в режиме управления горным давлением – непрерывное безимпульсное регулирование сопротивления гидростойки возрастающей нагрузке, при этом снижается динамика нагрузок на породы непосредственной кровли, уменьшается интенсивность процесса трещинообразования в поддерживаемых перекрытиями секций породах непосредственной кровли и вероятность их разрушения и высыпания в межсекционное пространство;
- устойчивые циклические перемещения блока поршней в блоке регулирования в соответствии с операциями, выполняемыми секциями крепи в лаве;
- рекуперацию энергии конвергенции боковых пород в напорную магистраль гидросистемы очистного механизированного комплекса;
- снижение динамики, средних и максимальных рабочих нагрузок на гидростойки секций крепи, что способствует повышению их ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.S. Peng. Longwall Mining. 2nd edition. October 2006. p. 621.
2. Jonathon C. Ralston, David C. Reid, Mark T. Dunn, David W. Hainsworth. Longwall automation: Delivering enabling technology to achieve safer and more productive underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. November 2015. Vol. 25, Iss. 6. pp. 865–876.
3. Slusage R., Falat S. Face supports of production of mining machines «GLINIK» plant for Russian coal industry. *Ugol'*. 2006. No. 4. p. 21-24.
4. Linnik Yu. N., Krashkin I. S., Merzlyakov V. G. et al. Concept of development of purification, sinking, conveyor and drilling equipment for the period to 2020. *Mining equipment and electromechanics*. 2006. No. 2. pp. 2–12.
5. Ремезов А. В., Климов В. Г., Лупий С. М. Эффективность работы шахт, созданных по прогрессивной схеме шахта-пласт, шахта-очистной забой // Уголь. – 2007. – №10. – С. 48-50.
6. Kazanin O. I. On the design features of underground multiple gassy coal seam mining. *Zapiski Gornogo instituta*. 2015. Vol. 215. pp. 38-45.
7. Zubov V. P. Status and directions of improvement of development systems of coal seams on perspective Kuzbass coal mines. *Zapiski Gornogo instituta*. 2017. Vol. 225. pp. 292-297 DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.
8. Ralston Jonathon C., Reid David C., Dunn Mark T., Hainsworth David W. Longwall automation: Delivering enabling technology to achieve safer and more productive underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. November 2015. Vol. 25, Iss. 6. pp. 865–876. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.09.001.
9. Sidorenko A. A., Sirenko Yu. G., Sidorenko S. A., Influence of face advance rate on geomechanical and gas-dynamic processes in longwalls in gassy mines. *Eurasian Mining*. 2018. No.1. pp. 3-8. DOI: 10.17580/em.2018.01.01.
10. Remezov A. V., Klimov V. V. Issledovanie vliyaniya opornogo davleniya ot ochistnogo zaboya i zon PGD na gornye vyrabotki (Research of abutment pressure influence of production face on mine workings). *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Kuzbass State Technical University*. 2011. Iss. 4. pp. 40-43.
11. Тарасов В.М., Буялич Г.Д., Тарасова Н.И., Тарасов Д.В. Повышение безопасности ведения горных работ в процессе взаимодействия секций механизированных крепей с боковыми породами в лаве. *Уголь*. 2016. No. 10. С. 26–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2016-10-26-30>.
12. Babyr N. V., Korolev A. I., Neupokoeva T. V. Enhancement of powered cleaning equipment with the view of mining and geological conditions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. 194 032004. DOI: 10.1088/1755-1315/194/3/032004.
13. Klishin V. I. *Adaptatsiya mekhanizirovannykh krepey k usloviyam dinamicheskogo nagruzheniya* (Adaptation of mechanized supports to the conditions of dynamic loading). Novosibirsk: Nauka, 2002. 199 p.
14. Buevich V. V., Gabov V. V., Zadkov D. A., Vasileva P. A. Adaptation of the mechanized roof support to changeable rock pressure. *Eurasian Mining*. 2015. No. 2. pp. 11-14. DOI: 10.17580/em.2015.02.03.
15. Szurgacz D., Brodny J. Adapting the Powered Roof Support to Diverse Mining and Geological Conditions. *Energies*. 2020. 13, 405. DOI: 10.3390/en13020405.
16. Gabov V.V., Zadkov D.A., Stebnev A.V. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control. *Eurasian mining*. 2016. No. 2. pp. 37-40. DOI: dx.doi.org/10.17580/em.2016.02.09.
17. Stebnev A.V., Buevich V.V. Improvement of Performance Indicators of Hydraulic Drive of Props of Powered Support Units of Heading Complexes. *Journal of Mining Institute*. 2017. Vol. 227. pp. 576-581. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.576.
18. Martens P.N., Rattmann L., Janssen S., Kratz T. Advances in Longwall Mining. *22nd World Mining Congress & Expo, Istanbul*. 2011. Vol. 1, P. 85-96.
19. Ютяев Е.П. Современные вызовы и перспективы развития технологии подземной отработки пологих газоносных угольных пластов // Уголь. 2017. № 5. С. 30-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-5-30-36>.

20. Казанин О.И., Сидоренко А.А., Мешков А.А. Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования. *Уголь*. 2019. No. 12, С 4-13.
21. Zubov V.P., Nikiforov A.V. Features of development of superimposed coal seams in zones of disjunctive geological disturbances. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. No. 5. pp. 765 – 768.
22. Zubov V.P., Nikiforov A.V., Kovalsky E.R. Influence of geological faults on planning mining operations in contiguous seams. *Ecology, Environment and Conservation*. 2017. Vol. 23. No. 2. pp. 1176-1180.
23. Шабаров А.Н., Цирель С.В. Обеспечение геодинамической безопасности при подземной разработке месторождений. *Горный журнал*. 2017. № 9. С 65-70. DOI: 10.17580/gzh.2017.09.12.
24. Nguyen V. X., Nguyen K. L., Lykov Y. V. Increasing the coarse coal fractions yield during coal mining using shearer cutting drums. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. 378 012095. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012095.
25. Kharitonov, I.L., Tereshkin, A.I., Kornev, A.V., Korshunov, G.I., Korneva, M.V. Development of measures on the improvement of dust environment in the coal mines working faces. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2019. No. 12. С 53-59. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-12-53-59.
26. Kazanin, O.I., Korshunov, G.I., Rudakov, M.L. The implementation of modern occupational safety and health system as an element of sustainable development of coal mining enterprises. *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th conference of the Russian-German Raw Materials*, 2018. pp. 571-578.
27. Petr Novak, Jan Babjak. Roof support control in longwall technology. *4th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia*. 2014. pp. 34-41.
28. Buyalich G.D., Buyalich K.G., Umrikhina V.Yu. Study of Falling Roof Vibrations in a Production Face at Roof Support Resistance in the Form of Concentrated Force. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. 142 012120. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012120.
29. Pavlenko M.V., Khaidina M.P., Kuziev D.A., Pihtorinskiy D., Muratov A.Z. Impacts of the combine harvester in the production of coal to increase methane recovery array in the workspace lava. *Ugol'*. 2019. No. 4, pp. 8-11. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-8-11.
30. Торпо В.О., Супруненко А.Н., Ремезов А.В., Кузнецов Е.В. Определение тенденций развития технологий отработки мощных пологих пластов угля подземным способом. *Известия Тульского государственного университета. Науки о земле*. 2019. No. 2. С. 204-220.
31. Buyalich, G.; Buyalich, K.; Byakov, M. Factors Determining the Size of Sealing Clearance in Hydraulic Legs of Powered Supports. *E3S Web Conf*. 2017. Vol. 21. 03018. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103018.
32. Stoinski K., Mika M. Dynamics of Hydraulic Leg of Powered Longwall Support. *J. Min. Sci*. 2003. Vol. 39. No 1. pp. 72–77. DOI: 10.1023/A:1025765328193.
33. Szurgacz D., Brodny J. Analysis of the Influence of Dynamic Load on the Work Parameters of a Powered Roof Support's Hydraulic Leg. *Sustainability*. 2019. 11. 2570. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11092570>.
34. Liang Y., Li L., Li X., Wang K., Chen J., Sun Z., Yang X. Study on Roof-Coal Caving Characteristics with Complicated Structure by Fully Mechanized Caving Mining. *Shock Vib*. 2019. 6519213. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/6519213>.
35. Guo W.B., Wang H.S., Dong G.W., Li L., Huang Y.G. A Case Study of Effective Support Working Resistance and Roof Support Technology in Thick Seam Fully-Mechanized Face Mining with Hard Roof Conditions. *Sustainability*. 2017. 9. 935. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9060935>.