

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ  
GEOTECHNOLOGY**

Научная статья

УДК 622.23.05 : 681.533

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-95-102

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ОБРАЗЦА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШАГАЮЩЕЙ КРЕПИ  
СОГЛАСОВАННЫМИ ТАКТОВЫМИ СИГНАЛАМИ УПРАВЛЕНИЯ****Худоногов Данила Юрьевич\*,  
Кизилов Сергей Александрович,  
Никитенко Михаил Сергеевич**

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

\*для корреспонденции: admolv@gmail.com

**Информация о статье**

Поступила:

06 августа 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 ноября 2024 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2024 г.

Опубликована:

05 декабря 2024 г.

**Ключевые слова:***крепь-штрек; шагающая  
крепь; распор секции;  
скоростная проходка;  
электрогидравлическая  
система управления;  
синхронизация; тактовый  
сигнал управления.***Аннотация.**

*Сдерживание развития технологий отработки мощных крутонаклонных угольных пластов сдерживается в том числе отсутствием высокопроизводительных очистных комплексов. Разработка и применение технологического оборудования типа «крепь-штрек», обеспечивающего реализации технологии отработки таких пластов с выпуском подэтажами штреками является актуальной научной задачей горнодобывающей промышленности. Перспективным вариантом технологического оборудования для отработки крутых пластов подэтажами с выпуском, а также скоростной проходки, создания эффективного отечественных очистных и проходческих комплексов является механизированная шагающая крепь. Работа посвящена разработке системы управления экспериментального образца модуля шагающей крепи посредством согласования тактовых сигналов управления для обеспечения равномерности распора в условиях отсутствия делителей потока посредством тактирования сигналов управления. Проведены работы по экспериментальному установлению корректных временных интервалов выхода каждого из гидроцилиндров для обеспечения равномерного подъема секций при распоре. Представлена гистограмма неравномерности длины хода штоков гидроцилиндров при равном суммарном времени открытия клапанов. Проведены натурные эксперименты по установлению последовательности цифровых управляющих сигналов, обеспечивающих в тактовом режиме разгрузку и распор секций. Получены графики временных зависимостей хода цилиндров секций и показаны соответствующие фактические взаимные расположения секций экспериментального образца модуля механизированной шагающей крепи. Полученные экспериментальные данные обеспечивают равномерные разгрузку и распор секций в тактовом режиме, дают возможность программного алгоритмического обеспечения работы механизированной шагающей крепи для отработки мощных крутонаклонных угольных пластов, а также скоростной проходки, реализовать полноразмерный образец крепи для проведения испытаний на экспериментальном участке проходческой выработки.*

**Для цитирования:** Худоногов Д.Ю., Кизилов С.А., Никитенко М.С. Обеспечение равномерности распора экспериментального образца механизированной шагающей крепи согласованными тактовыми

сигналами управления // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 6 (166). С. 95-102. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-95-102, EDN: SGGXIU

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0025 «Разработка научных основ создания автономных и автоматизированных горных машин, оборудования, технических и управляющих систем на базе перспективных цифровых и роботизированных технологий» (рег. №1023033000581-6).

### Введение.

Разработка мощных крутонаклонных угольных пластов исторически сдерживалась отсутствием высокопроизводительных очистных комплексов и эффективной, безопасной технологии добычи [1]. Одним из направлений решения этой проблемы является применение технологии отработки подэтажными штреками [2–4] и обеспечивающего её технологического оборудования, типа «крепь-штрек», перемещаемого по мере подсечки подэтажной толщи, по подэтажному штреку по простиранию пласта [5–7]. В технологии отработки подэтажными штреками эксплуатационными выработками являются штреки, пройденные по почве пласта в нижней части каждой эксплуатационной панели. В конце штрека установлено забойное технологическое оборудование, обеспечивающие крепление штрека и защиту скребкового конвейера для транспортировки угля [8]. Варианты

оборудования «крепь-штрек» для подэтажной выемки ранее разрабатывались и изготавливались на Киселевском машиностроительном заводе им. Черных, Сибгормаш, КуЗНИУИ и прошли успешные испытания на угольных шахтах [6]. Позднее, такой тип оборудования и технологию успешно применяли в условиях польской шахты «Казимеж Юлиуш» на пласте мощностью 20 м с углом падения  $45^\circ$  [9–10]. На сегодняшний день, в качестве одного из вариантов крепления выработки типа «крепь-штрек» для создания эффективного отечественного очистного комплекса и отработки крутых пластов подэтажами с выпуском, а также скоростной проходки является механизированная шагающая крепь (МШК) [11–12]. Конструкция представляет собой пару секции, связанных гидроцилиндрами передвижки. Для проведения тестирования и отладки алгоритмов управления [13–14] создана конструкция экспериментального

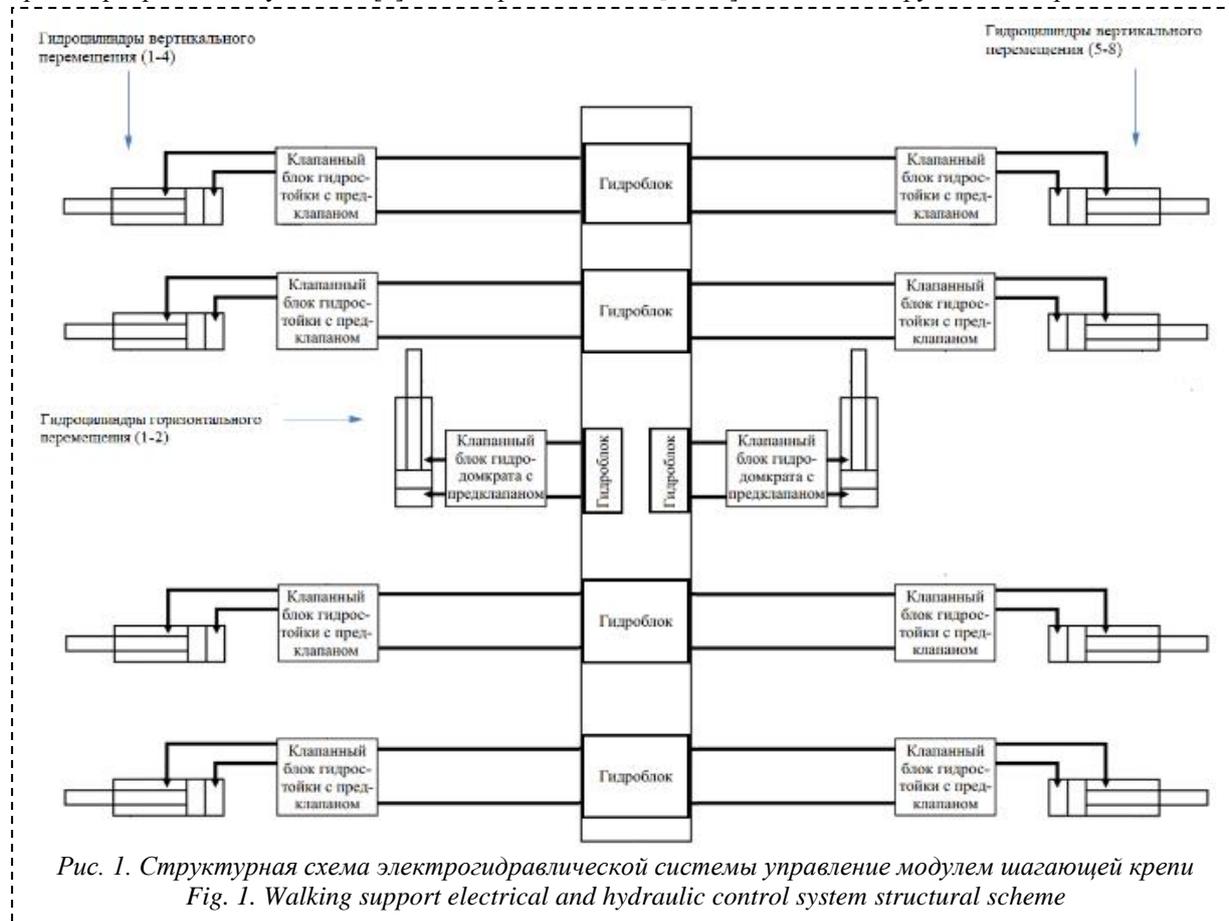


Рис. 1. Структурная схема электрогидравлической системы управления модулем шагающей крепи  
Fig. 1. Walking support electrical and hydraulic control system structural scheme

образца модуля МШК, электрогидравлическая система управления которым состоит из восьми гидравлических цилиндров, отвечающих за вертикальное перемещение (распор) двух секций (по четыре шт. на каждую) и двух гидравлических цилиндров горизонтального перемещения (рис.1). Каждый гидроцилиндр оснащен гидравлическим замком для безопасности. Управление гидроцилиндрами осуществляется с помощью двадцати электроклапанов по два (движение штока вверх и вниз) на каждый.

На входе гидравлической жидкости, подаваемой гидронасосом маслостанции через рукав высокого давления, установлен делитель потока, распределяющий поток гидравлического масла на линию гидроблоков с клапанами управления гидравлических цилиндров горизонтального перемещения (два 2-х канальных гидроблока) и линию гидроблоков с клапанами управления гидравлическими цилиндрами вертикального перемещения, собранными в гидроблоки (четыре 4-х канальных гидроблока), для управления клапанами, которые в свою очередь последовательно соединены гидравлическими линиями (прямой и обратной) с гидроцилиндрами.

Упрощение гидравлической схемы для

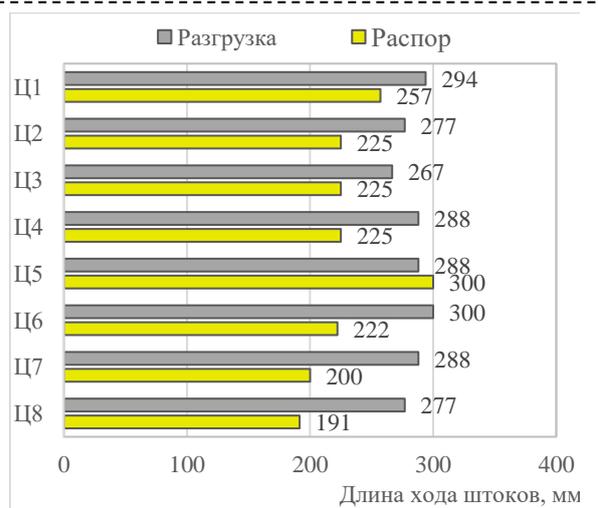
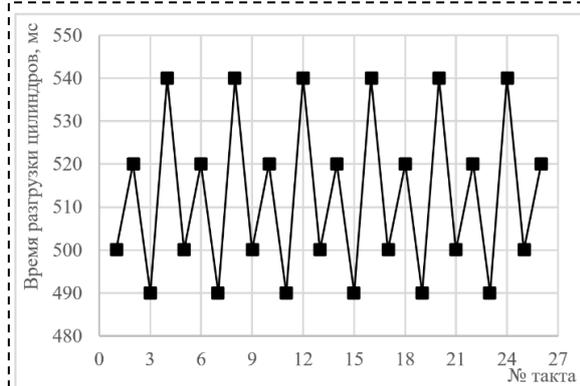
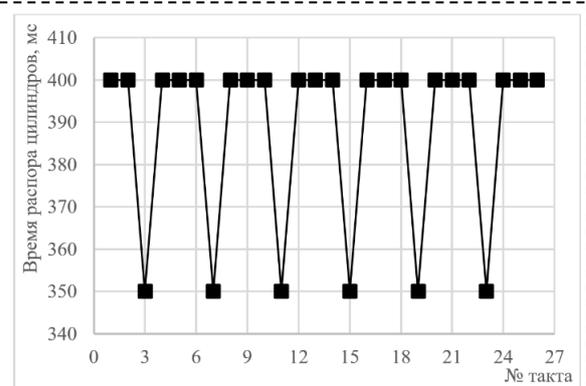


Рис. 2. Гистограмма неравномерности длины хода штоков гидроцилиндров при равном суммарном времени открытия клапанов (при распоре 300 сек, при разгрузке 480 сек)  
 Fig. 2. Histogram of hydraulic-cylinder rod stroke length in case of equal total valve opening time (with a thrust of 300 seconds, with a discharge of 480 seconds)

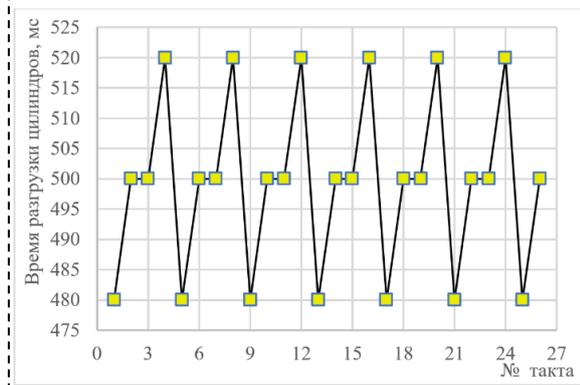
реализации системы управления на экспериментальном образце модуля МШК



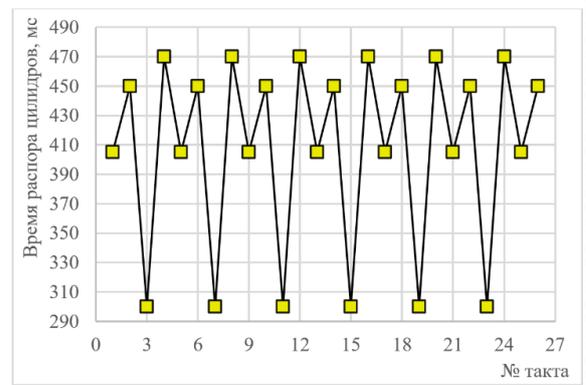
а



б



в



г

Рис. 3. График временных зависимостей хода цилиндров секций МШК, где: а – разгрузка черной секции; б – распор черной секции; в – разгрузка желтой секции; г – распор желтой секции  
 Fig. 3. Timing dependences of walking support cylinders motion graph, where: а – black section discharge; б – black section thrust; в – yellow section discharge; г – yellow section thrust

предполагало отсутствие делителей потока в линии с клапанами управления гидравлическими цилиндрами вертикального перемещения. В таких условиях управление электрогидравлической системой связано прежде всего с решением задачи синхронизации работы задействованных гидроцилиндров вертикального перемещения (опор секций), поскольку отсутствие делителей потока характеризуются их неравномерной работой. Данная особенность работы экспериментального образца модуля МШК компенсирована тактированием хода каждого цилиндра импульсным цифровым сигналом, который управляет электрогидравлическим клапаном цилиндра.

#### Методы.

Для реализации такого подхода, экспериментально, были экспериментально установлены корректные временные интервалы распора (выход каждого из вертикальных цилиндров от начальной позиции до максимального подъема) и разгрузки (опускание всех цилиндров от точки максимального подъема до начальной позиции) для обеспечения равномерного подъема секций при распоре.

Так как в распоре и разгрузке, работают одновременно группа из четырех цилиндров



*a*



*b*

*Рис. 4. Фактическое взаимное расположение секций экспериментального образца модуля МШК: а – после выполнения разгрузки черной секции и передвижки; б – после выполнения распора черной секции*

*Fig. 4. The actual relative position of the walking support experimental sample module: a – after discharge of the black section and moving; b – after thrust of the black section*

секции крепи (желтая/черная) на первом этапе были определена неравномерность выхода каждого из гидроцилиндров при равном временном выдвигании штока (рис. 2).

#### Результаты и обсуждение.

Далее, с учетом неравномерности выхода цилиндров, была составлена последовательность цифровых управляющих сигналов, обеспечивающих в тактовом режиме разгрузку и распор секций. Для получения временных зависимостей хода цилиндров были проведены натурные испытания, результаты которых



*a*



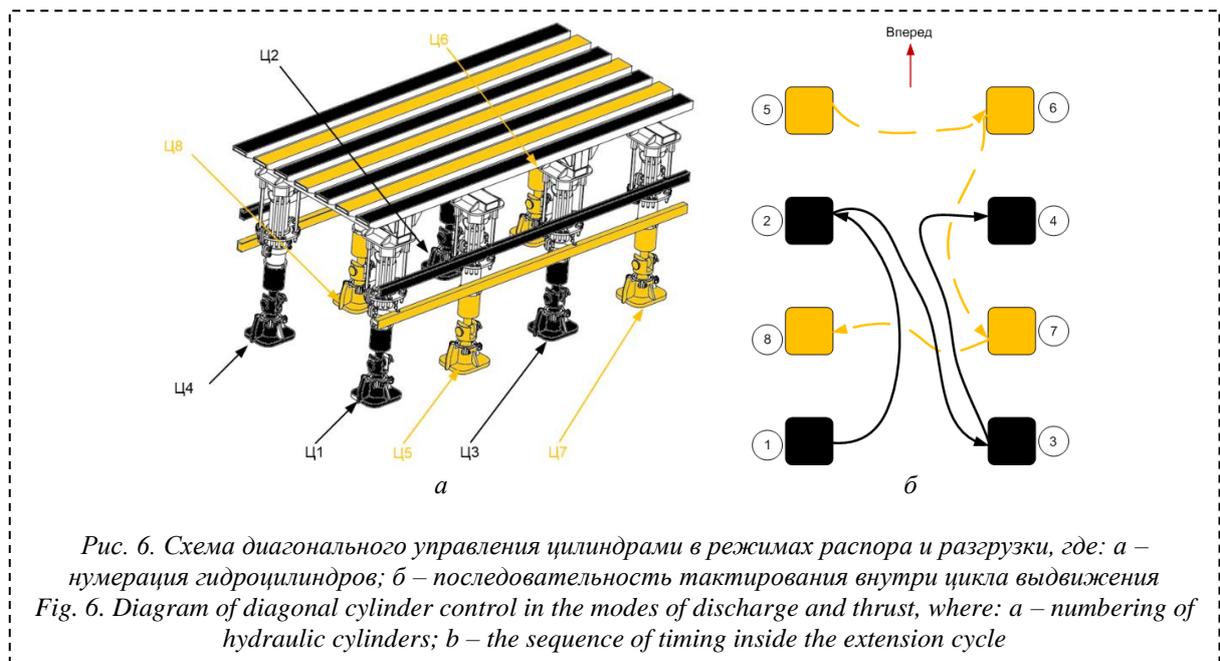
*b*

*Рис. 5. Фактическое взаимное расположение секций экспериментального образца модуля МШК: а – после выполнения разгрузки желтой секции и передвижки; б – после выполнения распора желтой секции*

*Fig. 5. The actual relative position of the walking support experimental sample module: a – after discharge of the yellow section and moving; b – after thrust of the yellow section*

представлены на рис. 3.

После выполнения тактов управления разгрузкой цилиндров Ц1-Ц4 экспериментального образца модуля МШК, он принимает положение, когда передовая секция крепи (черная) опущена и выполняется передвижка в положение, показанное на рисунке 4 а. Время выполнения разгрузки составляет 13,32 сек. После выполнения тактов управления распором цилиндров Ц1-Ц4 экспериментального образца модуля МШК, он принимает положение, когда передовая секция крепи (черная) снова поднята (рисунок 4 б) и ожидается выполнение разгрузки отстающей (желтой) секции. Время



выполнения распора черной секции составляет 10,1 сек.

После выполнения тактов управления разгрузкой цилиндров Ц5-Ц8 экспериментального образца модуля МШК, он принимает положение, когда отстающая секция крепи (желтая) опущена и выполняется передвижка в положение, показанное на рисунке 5 а. Время выполнения разгрузки составляет 12,98 сек. После выполнения тактов управления распором цилиндров Ц5-Ц8 экспериментального образца модуля МШК, он принимает положение, когда отстающая секция крепи (желтая) поднята (рисунок 5 б). На данном этапе завершается полный цикл шагания и ожидается выполнение очередного цикла. Время выполнения распора желтой секции составляет 10,61 сек.

Расчетный анализ зависимостей показал, что для равномерного распора и разгрузки секций необходимо обеспечить диагональное управление цилиндрами по схеме Ц4+Ц2+Ц1+Ц3 для черной секции крепи и Ц6+Ц7+Ц5+Ц8 для желтой секции крепи (рисунок 6). Таким образом реализовано плавное движение секций крепи в режимах работы разгрузка/распор на базе дискретного управления цифровыми сигналами, поступающих на электрогидравлические клапана.

Расчетный анализ зависимостей показал, что для равномерного распора и разгрузки секций необходимо обеспечить диагональное управление цилиндрами по схеме Ц4+Ц2+Ц1+Ц3 для черной секции крепи и Ц6+Ц7+Ц5+Ц8 для желтой секции крепи (рисунок 6). Таким образом реализовано плавное движение секций крепи в режимах работы разгрузка/распор на базе дискретного управления цифровыми сигналами, поступающих на электрогидравлические клапана.

Передвижка секций крепи, осуществляется временным таймером, время работы которого также было экспериментально установлено и составило для черной секции 4,5 сек, а для желтой 7,5 сек.

#### Выводы.

Полученные последовательности цифровых управляющих сигналов, обеспечивают в тактовом режиме равномерные разгрузку и распор секций, дают возможность постановки задачи алгоритмического обеспечения работы шагающих машин с гидравлическим приводом на примере МШК для скоростной проходки, реализовать полноразмерный образец МШК для проведения испытаний на экспериментальном участке проходческой выработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang L., Lai X., Bai R. Study of the response characteristics of the water-force coupling action of hard coal bodies in steeply inclined coal seams // *Frontiers in Earth Science*. 2023. Vol. 10, P. 1062738.
2. Skrzypkowski K., Gomez R., Zagorski K., Zagorska A., Gomez-Espina R. Review of underground mining methods in world-class base metal deposits: experiences from Poland and Chile // *Energies*. 2023. Vol. 16, issue 1, P. 148.
3. Li F., Guo J., Ma F., Li G., Song Y. The influence of different sublevel heights on the stability of faults under sublevel-filled synergistic mining. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, issue 23, P. 12906.
4. Zhironkin S., Dotsenko E. Review of transition from mining 4.0 to 5.0 in fossil energy sources production. *Energies*. 2023. Vol. 16, issue 15, P. 5794.
5. Клишин В. И., Никитенко С. М., Пфаргер Е. С. Экологические аспекты прогрессивных технологий отработки мощных угольных пластов с

выпуском подкровельной толщи // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : Сб. тр. Юрга : ЮТИ ТПУ, 2017. С. 217–220.

6. Разработка и научное обоснование технологии подэтажной выемки угля и параметров выпускного механизированного комплекса «крепь-штрек» / Л. П. Томашевский, В. П. Левочкин, П. А. Боровиков, Ю. С. Блинов, Г. С. Кузин, О. Ф. Калугин // Совершенствование технологии разработки крутых пластов Кузбасса : Сб. науч. тр. № 25. Прокопьевск : КузНИУИ, 1974. С. 55–67.

7. Klishin V., Nikitenko S., Opruk G. Longwall top coal caving (LTCC) mining technologies with roof softening by hydraulic fracturing method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. С. 012015.

8. Клишин В. И., Опрук Г. Ю., Клишин С. В. Механизированная отработка мощных крутых пластов под этажами с управляемым выпуском угля // Уголь. 2014. № 11 (1064). С. 8–11.

9. Gajos S. Experience and practical aspects of utilizing a shrinkage method of extraction at “Kazimierz-Juliusz” coal mine in Sosnowiec // International mining forum. New technologies in underground mining. Safety in mines. Cracow-Szczyrk-Wieliczka. Poland, 2004. С. 157–168.

10. Клишин В. И., Опрук Г. Ю. Расчёт газовыделения в очистной забой в системах разработки подэтажными штреками “крепь-штрек”. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. № 6 (94). С. 54–59.

11. Крепь для отработки мощных крутых пластов угля подэтажной выемкой: пат. 160472 U1 Рос. Федерация. № 2015150358/03 / Клишин В. И., Кокоулин Д. И.; заявл. 24.11.2015 : опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8. 6 с.

12. ГОСТ Р 54976-2012 Оборудование горно-шахтное. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2014. 28 с.

13. Nikitenko M. S., Malakhov Yu. V., Neogi B., Chakraborty P., Banerjee D. Robotic complex for the development of thick steeply-inclined coal seams and ore deposits. IOP conference series: Earth and environmental science, 2017. № 84. С. 012002.

14. Никитенко М. С., Журавлев С. С., Малахов Ю. В., Абабков Н. В. Разработка имитационной модели шагающей крепи с интеграцией алгоритмов управления для визуализации технологических процессов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2019. № 1(131). С. 49–59.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Худоногов Данила Юрьевич** – научный сотрудник, ФИЦ УУХ СО РАН, (650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10), e-mail: admolv@gmail.com

**Кизилов Сергей Александрович** – научный сотрудник, ФИЦ УУХ СО РАН, (650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10), к.т.н., e-mail: sergkizilov@gmail.com

**Никитенко Михаил Сергеевич** – заведующий лабораторией, ФИЦ УУХ СО РАН, (650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10), к.т.н., e-mail: ltd.mseng@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Худоногов Данила Юрьевич – постановка эксперимента, наладка оборудования, подготовка текста рукописи.

Кизилов Сергей Александрович – установление основных зависимостей, разработка схемы управления.

Никитенко Михаил Сергеевич – постановка задачи, тестирование, подготовка и проверка текста рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

## MECHANIZED WALKING SUPPORT THRUST UNIFORMITY MAINTENANCE WITH MATCHED TIMING CONTROL SIGNALS

Danila Yu. Khudonogov \*, Sergey A. Kizilov, Michail S. Nikitenko

Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Science

\*for correspondence: admolv@gmail.com

**Abstract.**

*Restraining the technologies development for mining of thick steeply inclined coal seams is hampered, among other things, by the lack of high-performance treatment facilities. The development and application of the "bord gate support" type technological equipment, which ensures the mining technology implementation such seams with the release of sub-floors by drifts, is an urgent scientific task of the mining industry. A promising option for mining technological equipment for steep layers under floors with release, as well as high-speed driving, creating effective domestic treatment and driving complexes is a mechanized walking support. The work is devoted to the development of a walking support module experimental sample control system by matching the control timing signals to ensure uniformity of the thrust in the absence of flow dividers by timing control signals. Work has been carried out to experimentally establish the correct time intervals for the output of each hydraulic cylinder to ensure uniform lifting of the sections during the thrust.*

*A unevenness histogram of the hydraulic cylinder rods motion length with an equal total valve opening time is presented. Full-scale experiments have been carried out to establish a sequence of digital control signals that ensure the sections discharge and thrust in timing mode. Time dependences of the cylinders discharge and thrust graphs are obtained and the corresponding sections actual relative positions of the mechanized walking support experimental sample sare shown. The experimental data ensure uniform discharge and thrust of sections in timing mode, make it possible to programmatically ensure the operation of a mechanized walking support for mining thick steeply inclined coal seams, as well as high-speed driving, to implement a full-size support sample for testing at an experimental site of mine.*

**Article info**

Received:

06 August 2024

Accepted for publication:

22 November 2024

Accepted:

02 December 2024

Published:

05 December 2024

**Keywords:** bord gate support; walking support; section thrust; high-speed driving; electrical hydraulic control system; synchronisation; timing control signal.

**For citation:** Khudonogov D.Yu., Kizilov S.A., Nikitenko M.S. Mechanized walking support thrust uniformity maintenance with matched timing control signals. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 6(166):95-102. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-95-102, EDN: SGGXIU

## REFERENCES

- Zhang L., Lai X., Bai R. Study of the response characteristics of the water-force coupling action of hard coal bodies in steeply inclined coal seams. *Frontiers in Earth Science*. 2023; 10:1062738. (In Eng.)
- Skrzypkowski K., Gomez R., Zagorski K., Zagorska A., Gomez-Espina R. Review of underground mining methods in world-class base metal deposits: experiences from Poland and Chile. *Energies*. 2023; 16(1):148. (In Eng.)
- Li F., Guo J., Ma F., Li G., Song Y. The influence of different sublevel heights on the stability of faults under sublevel-filled synergistic mining. *Applied Sciences*. 2023; 13(23):12906. (In Eng.)
- Zhironkin S., Dotsenko E. Review of transition from mining 4.0 to 5.0 in fossil energy sources production. *Energies*. 2023; 16(15):5794. (In Eng.)
- Klishin V. I., Nikitenko S. M., Pfarger E. S. Ecological aspects of progressive technologies of thick coal seams mining with top coal caving // Ecology and safety of the technosphere: modern problems and solutions : Collection of tr. Yurga : YUTI TPU. 2017; 217–220. (In Russ.)
- Tomashevsky L.P. et al. Development and scientific substantiation of the technology of sublevel benching and parameters of the "drift support" mechanized system for top coal caving // Improving the technology of development of steep seams of Kuzbass : Collection of scientific tr. No 25. Prokopyevsk : KuzNIUI. 1974; 55–67. (In Russ.)

7. Klishin V., Nikitenko S., Opruk G. Longwall top coal caving (LTCC) mining technologies with roof softening by hydraulic fracturing method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018; 012015.

8. Klishin V.I., Opruk G.Yu., Klishin S.V. Mechanized mining of powerful steep seams by sublevel benching with controlled coal release. Coal. 2014; 11(1064):8–11. (In Russ.)

9. Gajos S. Experience and practical aspects of utilizing a shrinkage method of extraction at “Kazimierz-Juliusz” coal mine in Sosnowiec // International mining forum. New technologies in underground mining. Safety in mines. Cracow-Szczyrk-Wieliczka. Poland. 2004; 157–168. (In Eng.)

10. Klishin V.I., Opruk G.Yu. Calculation of gas emission in the working face in the development systems of sublevel drifts “drift support”. KuzSTU bulletin. 2012; 6(94):54–59. (In Russ.)

11. Support for mining thick steep coal seams using sublevel mining: pat. 160472 U1 Russian Federation. No 2015150358/03 / Klishin V.I., Kokoulin D.I.; application 24.11.2015 ; publ. 20.03.2016, Bul. No 8. 6 p. (In Russ.)

12. GOST R 54976-2012 Mining equipment. Terms and definitions. M. : Standartinform; 2014. 28 p. (In Russ.)

13. Nikitenko M.S., Malakhov Yu.V., Neogi B., Chakraborty P., Banerjee D. Robotic complex for the development of thick steeply-inclined coal seams and ore deposits // IOP conference series: Earth and environmental science. 2017; 84:012002.

14. Nikitenko M.S., Zhuravlev S.S., Malakhov Yu.V., Ababkov N.V. Development of a walking support simulation model with control algorithms integration for technological processes visualization. KuzSTU bulletin. 2019; 1(131):49–59. (In Russ.)

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The authors declare no conflict of interest.*

*About the authors:*

**Danila Yu. Khudonogov**– researcher, FRC CCC SB RAS, (650000, Russia, Kemerovo, Leningradsky av., 10), e-mail: admolv@gmail.com

**Sergey A. Kizilov**– researcher, FRC CCC SB RAS, (650000, Russia, Kemerovo, Leningradsky av., 10), Ph. D., e-mail: sergkizilov@gmail.com

**Michail S. Nikitenko**– head of laboratory, FRC CCC SB RAS, (650000, Russia, Kemerovo, Leningradsky av., 10), Ph. D., e-mail: ltd.mseng@gmail.com

*Contribution of the authors:*

Danila Yu. Khudonogov– setting up an experiment, setting up equipment, preparing the manuscript text.

Sergey A Kizilov. – establishment of basic dependencies, development of a control scheme.

Mikhail S. Nikitenko– issue statement, testing, preparation and verification of the manuscript text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

