

Научная статья

УДК 622.23.05

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-31-38

Худынцев Евгений Александрович¹, инженер, Клишин Сергей Владимирович³, кандидат техн. наук, Клишин Владимир Иванович^{1,2}, доктор техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН,

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук Науки о Земле

E-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИТАТЕЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ ДЛЯ ВЫЕМКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВЫПУСКОМ УГЛЯ



Информация о статье

Поступила:

15 февраля 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 марта 2022 г.

Принята к печати:

15 мая 2022 г.

Ключевые слова:

питатель, управляемый выпуск, численное моделирование, лабораторные исследования.

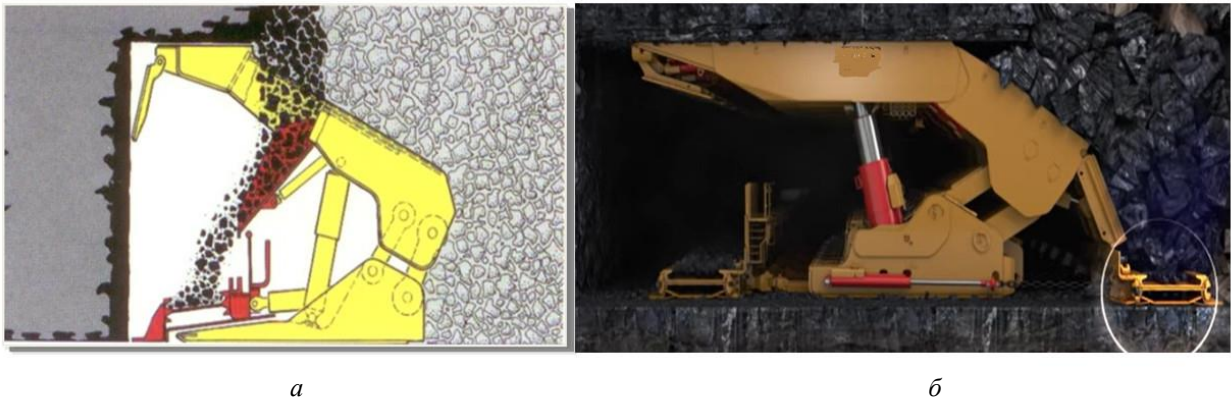
Аннотация.

В институте угля ФИЦ УУХ СО РАН предложено новое направление конструирования механизированных крепей для реализации технологии разработки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер, позволяющее увеличить производительность выработки горной массы, снизить потери и зольность угля, увеличить безопасность горных работ. Эту же крепь предусматривается использовать в комплекте оборудования при разработке крутых и крутонаклонных пластов по системе подэтажного обрушения кровли. Основным элементом механизированной крепи является управляемый питатель. В ограждении крепи выполнено выпускное окно в виде желоба с установленным питателем, его параметры определяют эффективность технологий отработки мощных пологих пластов. Питатель должен равномерно управлять выпуском угля по всей площади проема крепи. Производительность питателя регулируется в широком диапазоне, что обуславливает возможность одновременной работы группы питателей на один забойный конвейер. Теоретическими исследованиями методом дискретных элементов и лабораторными испытаниями показано влияние конфигурации питателей, установленных в механизированной крепи, на производительность выпуска угля подкровельной толщи на забойный конвейер. Рассчитаны силы, действующие на питатель и массовый расход угля в процессе выпуска горной массы.

Для цитирования: Худынцев Е.А., Клишин С.В., Клишин В.И. Исследование питателя механизированной крепи для выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2 (160). С. 31-38. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-31-38

Подземная разработка мощных пологих угольных пластов ведется во многих странах мира, таких как Китай, Россия, Казахстан, Австралия, Польша, Индия и других. Наиболее эффективной разработкой таких пластов является выемка на полную мощность с выпуском угля подкровельной толщи на забойный или завальный конвейер (Longwall top coal saving method – LTCC). В этих технологиях разрушение массива подкровельной толщи осуществляется горным давлением [1-9].

Из мировой практики известны два варианта реализации технологии отработки мощных пологих пластов на основе механизированных комплексов с выпуском угля подкровельной толщи: на забойный скребковый конвейер обрабатываемого слоя – комплексы: КТУ, КНКМ (Россия), VHP-731 (Венгрия) и др. (Рис. 1а); на дополнительный скребковый конвейер, расположенный в завальной части лавы – комплексы: ОКПВ-70, КМ81В (Россия), ZFS (Китай) и др. (рис. 1б). Реализация этой технологии



а

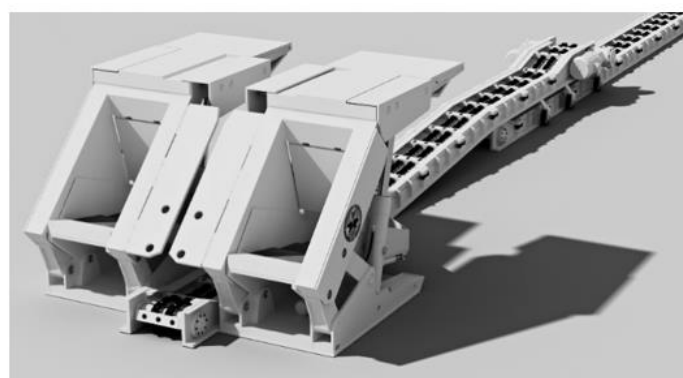
б

Рис. 1. Механизированные очистные комплексы с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер (а) и на завальный конвейер (б)

Fig. 1. Mechanized coal face system with releasing sub-roof layer coal onto the face conveyor (a) and onto the goaf conveyor (b)



а



б

Рис. 2. Секция механизированной крепи КУВ: а – для разработки пологих пластов длинным очистным забоем; б – для разработки крутых пластов с подэтажным обрушением кровли

Fig. 2. Powered support section KUV: a - for the longwall development of the flat seams; b - for sublevel roof caving development of steep seams

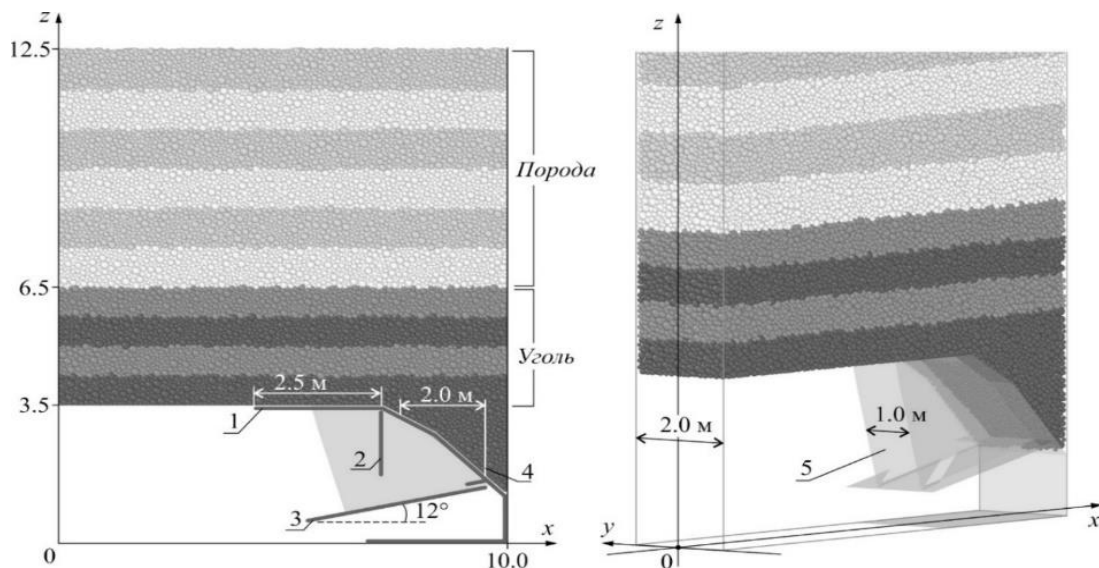
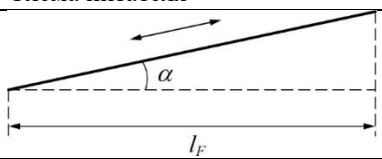
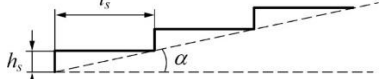


Рис. 3. Схема численного эксперимента и основные элементы модели секции механизированной крепи с выпуском подкровельной толщи. 1 – поддерживающий элемент (верхняк); 2 – неподвижный заслон; 3 – питатель; 4 – выпускное отверстие; 5 – боковые ограждения

Fig. 3. Numerical experiment layout and the main elements of the powered roof support section model with the sub-roof layer coal release. 1 - supporting element (top); 2 - fixed barrier; 3 - coal feeder; 4 - outlet window; 5 - side railings

Таблица 1. Конфигурации питателей, используемые в численных расчетах.

Table 1. Coal feeder configurations used in numerical calculations.

Схема питателя	Параметры питателя
	Плоский питатель: (ПП) угол наклона к горизонтальной плоскости $\alpha = 12^\circ$; длина проекции $l_F = 3,0$ м
	Питатель с рифлениями в виде ступенек: (ПР) $l_s = 0,25$ м; $h_s = 0,053$ м;

сдерживается требованиями полноты выпуска и механизации работ по его осуществлению, а также обеспечением безопасности и эффективности работы очистного забоя. Потери угля в обрушенном пространстве лавы приводят к его самовозгоранию, а при выпуске происходит перемешивание угля с обрушенными породами кровли и повышение его зольности.

В Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН предложено новое направление создания роботизированных комплексов с управляемым выпуском угля на забойный конвейер. В ее основе лежит использование механизированных секций крепи поддерживающе-оградительного типа (КУВ), в ограждениях которых выполнено выпускное окно, связанное с погружным желобом и питателем (рис. 2а) [10, 11]. Эту же крепь предусматривается использовать в комплекте оборудования при разработке крутых и крутонаклонных пластов по системе поэтажного обрушения кровли (рис. 2б).

Одной из особенностей конструкции является применение питателей при выпуске угля подкровельной (межслоевой) толщи, что является новым направлением в создании высокопроизводительных технологий в угольной отрасли. Питатель должен равномерно управлять выпуском угля по всей площади проема, выполненного в ограждении секции механизированной крепи. Кроме того, производительность питателя должна регулироваться в широком диапазоне, что обуславливает возможность одновременной работы группы питателей на один забойный конвейер. Количество питателей (секций), работающих в группе, определяется технической возможностью забойного скребкового конвейера. В этом случае контактная граница «уголь-порода» опускается одновременно и достигается площадно-управляемый выпуск

В предлагаемой конструкции крепи конфигурация питателя и его параметры определяют эффективность технологий отработки мощных пологих пластов. Численные исследования влияния конфигураций питателей в секции механизированной крепи на усилия, возникающие на питателе и массовый расход угля выполнены с использованием метода дискретных элементов (МДЭ) с применением программного обеспечения [12]. Во всех экспериментах длина проекции питателя l_F на горизонтальную плоскость составляла 3,0 м. Угол наклона α к горизонтальной плоскости также фиксирован и составил 12° (табл. 1).

Процессе выпуска раздробленной горной массы питатель совершает возвратно-поступательное движение по закону:

$$\bar{X}_F(t) = \bar{A}_F (1 - \cos \omega t) \quad (1),$$

где $\bar{X}_F(t) = (x_F, y_F, z_F)$ – радиус-вектор его центра тяжести; $\bar{A}_F = -a_F(\cos \alpha, 0, \sin \alpha)$ – амплитуда; ω – частота колебаний питателя. В представленном исследовании $a_F = 0,15$, $\omega = 0,5$. Таким образом, полный ход питателя составляет 0,3 м, а период его колебаний – 2 секунды.

Рассмотрена следующая трехмерная постановка задачи. В пространстве хуз задана область – параллелепипед, ограниченный плоскостями, ориентированными вдоль координатных осей; верхняя граница свободна от напряжений (рис. 3). Длина емкости составляет 10 м, ширина 2 м, высота засыпки гранулированного материала 12,5 м. Вектор силы тяжести $g = (0; 0; -9,81)$ направлен вдоль оси z вертикально вниз. Передняя и задняя стенки абсолютно гладкие, т.е. выполняется условие, близкое к условию плоской деформации в направлении оси y . Мощность угольного пласта – 6 м, высота секции механизированной крепи – 3,5 м.

На рисунке 3: поддерживающий элемент (верхняя) 1 длиной 2,5 м; неподвижный заслон 2 длиной 1,75 м, ограничивающий скорость и объем потока сыпучего материала и расположенный под углом к вертикальной плоскости yz ; питатель 3 длиной 3,575 м, расположенный под углом 12° к горизонтальной плоскости xu ; выпускное отверстие 4 шириной 1 м, закрытое на этапе создания первоначальной засыпки; боковые ограждения 5, расстояние между которыми составляет 1 м. Проведена серия численных экспериментов по исследованию процесса выпуска раздробленной горной массы при наличии неподвижного заслона, ориентированного под углами 0° или 15° к вертикальной плоскости yz , а также при работающем питателе, движение которого задавалось выражением (1). В процессе выпуска рассчитывались силовое взаимодействие выпускаемого сыпучего материала с элементами секции крепи – горизонтальная F_x и вертикальная F_z силы, действующие со стороны потока сыпучего материала на питатель секции механизированной крепи. Также исследован массовый расход угля m_c и пустой породы m_p .

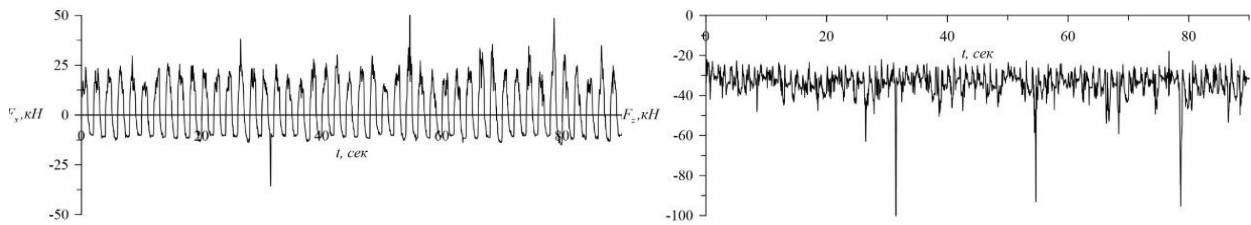


Рис. 4. Силовое взаимодействие потока горной массы с элементами секции механизированной крепи для плоского питателя

Fig. 4. Force interaction of the rock mass flow with the elements of the mechanized coal support section for a flat feeder

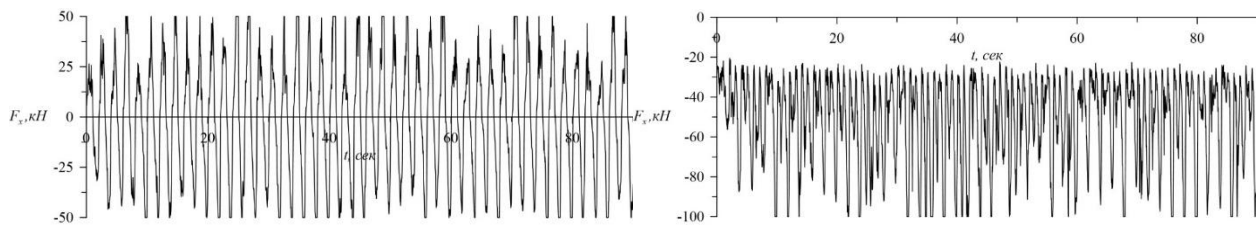


Рис. 5. Силовое взаимодействие потока горной массы с элементами секции механизированной крепи питателя с рифлением в виде ступенек

Fig. 5. Force interaction of the rock mass flow with the elements of the mechanized coal support section for a step-like corrugated feeder

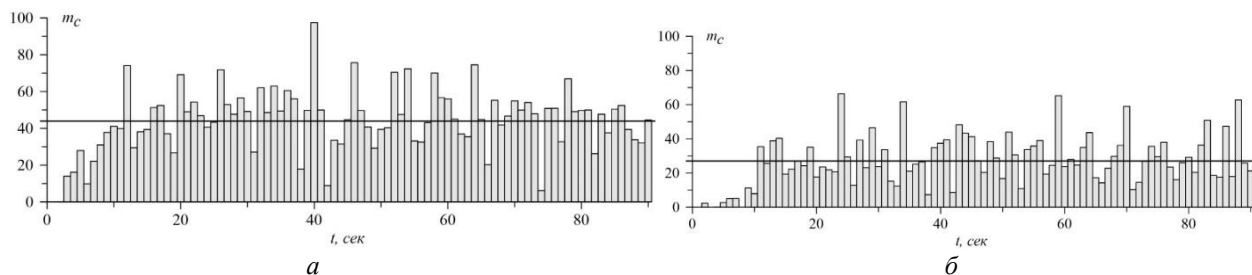


Рис. 6. Массовый расход частиц угля для плоского питателя (а) и питателя с рифлением (б)

Fig. 6. Coal particles mass flow for a flat feeder (a) and for a corrugated feeder (b)

На рисунках 4, 5 представлены характеристики силового взаимодействия потока горной массы с элементами секции механизированной крепи в случае вертикального расположения заслона ($\beta = 0^\circ$) для работающих питателей ПП, ПР (см. табл. 1).

Графики изменения силового взаимодействия сыпучего материала и элементов крепи носят ярко выраженный периодический характер, причем силовые характеристики достигают своих экстремумов в точках, соответствующих крайним положениям питателя. Массовый расход угля в процессе выпуска для представленных конфигураций питателя показан на рисунке 6.

Установлено, что при использовании ступенчатых питателей, рифления которых ориентированы параллельно горизонтальной плоскости, пиковые значения сил и напряжений, действующих со стороны горной массы, более чем в два раза превышают аналогичные показатели в случае использования гладкого питателя. При этом производительность системы с выпуском выше в случае гладкого питателя.

В рамках исследования проведены лабораторные эксперименты процесса выпуска угля питателем на специально разработанной стендовой установке Института угля ФИЦ УУХ СО РАН, выпол-

ненной в масштабе 1:4, обеспечивающей управляемый выпуск (рис. 7). Стендовая установка состоит из основания 1, корпуса с ребрами жесткости 2, также выполняющего функцию направляющего лотка, загрузочного бункера 3, подвижного питателя 4, заслона 5, гидроцилиндра 6 [18].

Выпускаемая масса поступает на питатель 4 через загрузочный бункер 3. Питатель 4 совершает возвратно-поступательные движения за счет гидроцилиндра 6. Движение питателя обеспечивает перемещение выпускаемой массы по направляющему лотку 2. Заслон 5 служит подпором выпускаемой массы для обеспечения разворота потока на питателе.

В лабораторных испытаниях по регулируемому выпуску использовались питатели конструкции ПП плоский и ПР с ребрением. В качестве выпускаемой горной массы был взят уголь с фракцией 25-50 мм «орех». Испытания проводились при угле наклона питателя 12 градусов и двух положениях заслона 0 и 15 градусов. Расстояние между питателем и заслоном – 110 мм. Выпуск угля проводился в течение 1 минуты во всех случаях. В таблице 2 представлены численные значения производительности системы выпуска.

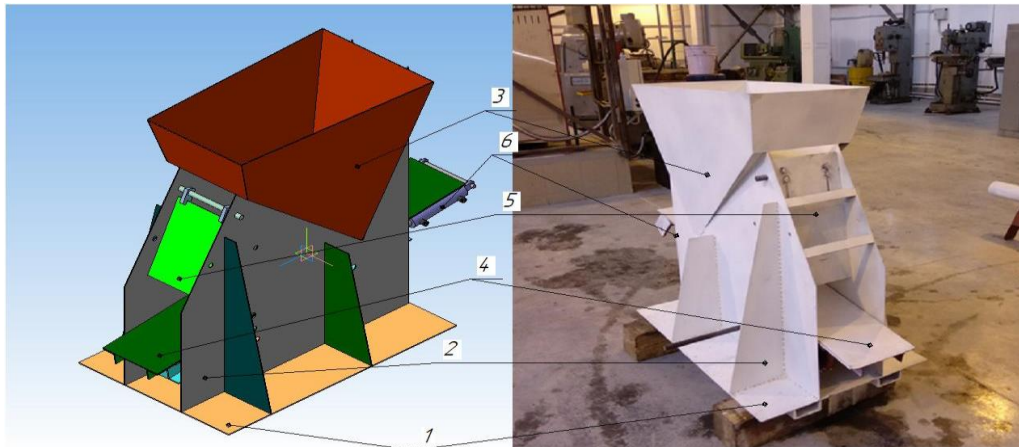


Рис. 7. Стендовая установка питателя
Fig. 7. Coal feeder testing stand

Таблица 2. Средняя производительность системы выпуска для различных конфигураций питателя.
Table 2. Average capacity of the releasing system for various configurations of the coal feeder.

Питатель	Производительность выпуска при угле наклона питателя	
	0°	15°
ПП	70,5 кг/мин	90 кг/мин
ПР	50 кг/мин	66 кг/мин

Теоретические расчеты и экспериментальные данные показывают, что при самых неблагоприятных условиях взаимодействия пиковые нагрузки не превышают 100 кН при среднем максимальном значении 40 кН. Величина давления разрушенного углеродного массива наиболее нагруженных элементов питателя не превышает 125 КПа. Наибольшей производительностью обладает плоский питатель (ПП), средняя производительность которого в 1,5 раза больше, чем у питателя с ребрением (ПР), что подтверждается теоретическими расчетами и лабораторными экспериментами.

Одна из возникающих проблем – управление выпуском угля через питатели секции крепи, обеспечивающее максимальную загрузку лавного конвейера. По результатам имитационного моделирования установлено, что волновой режим обеспечивает более стабильное, равномерное и полное заполнение конвейера по сравнению с другими режимами [19]. Данный вывод подтвержден физическими экспериментами на лабораторной установке по исследованию этих же режимов выпуска [20,21].

Полученные численные значения сил и напряжений, действующих на питатель секции крепи использованы в моделировании напряженно-деформированного состояния питателя секции крепи с выпуском угля подкровельной толщи [22].

Заключение.

1. Разработанная модель процесса гравитационного движения предварительно разупрочненной горной массы при добыче полезных ископаемых в технологии с выпуском на базе метода дискретных элементов адекватно описывает процесс выпуска угля и вмещающей породы на питатель, установленный в перекрытии механизированной крепи.

2. Наибольшей производительностью обладает плоский питатель (ПП), средняя производительность которого в 1,5 раза больше, чем у питателя с

рифлением в виде ступенек (ПР). Силовое взаимодействие сыпучего материала и элементов крепи носят ярко выраженный периодический характер, причем характеристики достигают своих экстремумов в точках, соответствующих крайним положениям питателя.

3. Моделирование взаимодействия потока разрушенного углеродного массива с элементами секции механизированной крепи для различных конструктивных устройств питателя показали, что при самых неблагоприятных условиях взаимодействия пиковые нагрузки не превышают 100 кН при среднем максимальном значении 40 кН. Величина давления разрушенного углеродного массива наиболее нагруженных элементов питателя не превышает 125 КПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клишин В. И. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля / В.И. Клишин [и др.]. Новосибирск : Наука, 2013. 248 с.
2. Ермаков А. Ю., Качурин Н. М. Обоснование аэрологически безопасной одностадийной технологии отработки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля из межслоевых и подкровельных пачек. Кемерово : АИ «Кузбассвуиздат», 2018. 290 с.
3. Калинин С. И. [и др.]. Оработка мощного угольного пласта механизированным комплексом с выпуском подкровельной пачки. Кемерово, 2011. 224 с.
4. Ning Shi and Zhizeng Huang. Application of Longwall Top Coal Caving in Challenging Geological Conditions // Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain – July 20-21, 2015 Pa-

per No. 354. URL: http://avestia.com/MCM2015_Proceedings/files/papers/MMME354.pdf (дата обращения 10.03.2021).

5. Nadia Sultana Tarakki [& other] Longwall Top Coal Caving Method for Barapukuria Coal Field, Dinajpur, Bangladesh. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, April-2016. P. 285. URL: https://www.researchgate.net/publication/303525170_Longwall_Top_Coal_Caving_Method_forBarapukuria_Coal_Field_Dinajpur_Bangladesh. (дата доступа 12.03.2021).

6. T. D. Le [& other] A Review of Roof Instabilities Associated With Longwall Top Coal Caving. 52nd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 17-20 June, 2018, Seattle, Washington. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/ARMA-2018-481>. (дата обращения 11.03.2021).

7. Adrian Moodie and James Anderson, Geotechnical Considerations for Longwall Top Coal Caving at Austar Coal Mine, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011, 29-39. URL: <http://ro.uow.edu.au/cgi/> (дата обращения 12.03.2021).

8. Tien Dung Le, Rudrajit Mitra, Joung Oh, Bruce Hebblewhite. A review of cavability evaluation in longwall top coal caving. International Journal of Mining Science and Technology/ Volume 27, Issue 6, November 2017, Pages 907-915. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617305177> (дата обращения 11.03.2021).

9. Caterpillar to supply two complete longwall top coal caving systems to mine in Turkey. Caterpillar | Jul. 2, 2014, 6:58 PM | URL: <http://www.mining.com/web/caterpillar-to-supply-two-complete-longwall-top-coal-caving-systems-to-mine-in-turkey/> (дата обращения 14.03.2021).

10. Клишин В. И. [и др.]. Разработка мощных пластов механизированными крепями с регулируем

ым выпуском угля. Новосибирск : Наука, 2007. 135 с.

11. Клишин В. И., Клишин С. В. Состояние и направление развития технологии разработки мощных угольных пластов механизированными крепями с выпуском // Известия Тульского государственного университета. 2019. С. 162-174.

12. Клишин С. В., Клишин В. И. Моделирование процесса гравитационного движения предварительно разупрочненной горной массы при добыче полезных ископаемых в технологии с выпуском / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019619590 от 19.07.2019

18 Худынцев Е. А. Разработка конструкции стенда питателя для управляемого выпуска угля из подкровельной толщи на забойный конвейер // Развитие-2019. 2019. С. 63-69.

19. Starodubov A. N., Sinoviev V. V., Klishin V. I. The development of simulating system of robotized technologies for thick and acute coal seams // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. T. 1749. №. 1. С. 012040.

20 Клишин В. И. [и др.]. Исследование выпуска угля на макетных образцах секции механизированной крепи при различных режимах управления // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск: ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН. 2018. Т. 5. № 1. С. 66-71.

21 Клишин В. И. [и др.] Взаимодействие механизированных крепей с межслоевой толщей в системах с выпуском угля // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. №. № S48. С. 87-94

22. Клишин В. И., Абабков Н. В., Пимонов М. В., Худынцев Е. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния вибропитателя секции крепи с выпуском угля подкровельной толщи // Горное оборудование и электромеханика. 2020. №. 2. С. 57-63.

© 2022 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:

Худынцев Евгений Александрович, инженер, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Советский, 18)

Клишин Сергей Владимирович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук Науки о Земле, (630091, Россия, Новосибирск, Красный пр., 54), кандидат техн. наук

Клишин Владимир Иванович, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Советский, 18), Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), доктор техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН, klishinvi@icc.kemsc.ru

Заявленный вклад авторов:

Худынцев Е.А. - научный менеджмент; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы.

Клишин С.В. - постановка исследовательской задачи; концептуализация исследования; выводы.

Клишин В.И. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; выводы;

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Evgeniy A. Khudyntsev¹, engineer, **Sergey V. Klishin**³, C.Sc in Engineering, **Vladimir I. Klishin**^{1,2}, Corresponding member of Russian Academy of Sciences, Dr. Sc. in Engineering

¹The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

³N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

E-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

RESEARCHING POWERED SUPPORT FEEDER FOR EXTRACTING THICK FLAT-LYING SEAMS WITH CONTROLLED COAL RELEASE

Abstract.

The Institute of Coal of FRC CCC SB RAN introduces a new direction for constructing powered supports meant for implementing the technology of developing powerful flat seams with the controlled sub-roof coal release on the face conveyor. This technology allows increasing rock mass production, decreasing the losses, coal ash-content, and providing safety mining. This support is supposed to be used in the equipment set during the process of steep and steeply inclined seams development applying the system of sub-level top caving. The basic element of the powered support is a controlled feeder. A releasing window in the form of a chute with the installed feeder is done in the protecting wall of the support. Its parameters define the effectiveness of a thick flat seams development method. A feeder should control the coal release throughout the whole support opening equally. The productivity of the feeder is regulated in a wide range and it conditions the simultaneous operation of a group of feeders on one face conveyor. The influence of feeders configurations, installed into a roof support canopy on roof coal release production has been demonstrated by theoretical research with discrete element method and laboratory bench testing. The forces that influence on a feeder and coal mass rate in the process of rock mass release have been calculated.



Article info

Received:

15 February 2022

Accepted for publication:

15 March 2022

Accepted:

15 May 2022

Keywords: feeder, controlled release, numerical simulation, laboratory bench testing.

For citation: Khudyntsev E.A., Klishin S.V., Klishin V.I. Researching powered support feeder for extracting thick flat-lying seams with controlled coal release. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 2(160):31-38 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-31-38

REFERENCES

1. Klishin V.I. [etc.]. Tekhnologiya razrabotki zapasov moshchnykh pologikh plastov s vypuskom uglya [The method for developing powerful flat seams reserves with coal release]. Novosibirsk: Nauka; 2013:248.

2. Yermakov A.Yu., Kachurin N.M. Obosnovaniye aerologicheskoi bezopasnoy odnostadiynoy tekhnologii otrabotki moshchnykh pologikh plastov s upravlyayemym vypuskom uglya iz mezhsloyevykh ii podkrovelnykh pachek [Substantiation of aerologically safety one-stage technology of powerful flat seams with controlled release of roof and sub roof coal bands]. Kemerovo: AI "Kuzbassvuzizdat"; 2018:290.

3. Kalinin S.I. [etc.] Otrabotka moshchnogo ugolnogo plasta mekhanisirovannym kompleksom s vypuskom podkrovelnoy pachki [Developing thick coal seam by powered support with sub-roof coal band release]. Kemerovo; 2011:224.

4. Ning Shi and Zhizeng Huang. Application of Longwall Top Coal Caving in Chal-lenging Geological Conditions. Proceedings of the World Congress on

Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain – July 20-21, 2015 Paper No. 354. URL: http://avestia.com/MCM2015_Proceedings/files/papers/MMME354.pdf (data extracted on 10.03.2021).

5. Nadia Sultana Tarakki [& other] Longwall Top Coal Caving Method for Barapukuria Coal Field, Dinajpur, Bangladesh. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, April-2016. P. 285. URL: https://www.researchgate.net/publication/303525170_Longwall_Top_Coal_Caving_Method_forBarapukuria_Coal_Field_Dinajpur_Bangladesh. (data extracted on 12.03.2021).

6. T. D. Le [& other] A Review of Roof Instabilities Associated With Longwall Top Coal Caving. 52nd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 17-20 June, 2018, Seattle, Washington. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/ARMA-2018-481>. (data extracted on 11.03.2021).

7. Adrian Moodie and James Anderson, Geotechnical Considerations for Longwall Top Coal Cav-

ing at Austar Coal Mine, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011, 29-39. URL: <http://ro.uow.edu.au/cgi/> (data extracted on 12.03.2021).

8. Tien Dung Le, Rudrajit Mitra, Joung Oh, Bruce Hebblewhite. A review of cavability evaluation in longwall top coal caving. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017; 27(6):907-915. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617305177> (data extracted on 11.03.2021).

9. Caterpillar to supply two complete longwall top coal caving systems to mine in Turkey. *Caterpillar* | Jul. 2, 2014, 6:58 PM | URL: <http://www.mining.com/web/caterpillar-to-supply-two-complete-longwall-top-coal-caving-systems-to-mine-in-turkey/> (data extracted on 14.03.2021).

10. Klishin V.I. [etc]. Razrabotka moshchnykh plastov mekhanizirovannymi krep'yami s reguliruyemyym vypuskom ugl'ya [The development of powerful flat seams by powered supports with controlled coal release] / Klishin V.I. Novosibirsk: Nauka; 2007:135.

11. Klishin V.I., Klishin S.V. Sostoyaniye ii napravleniye razvitiya tekhnologii razrabotki moshchnykh ugolnykh plastov mekhanizirovannymi krep'yami s vypuskom [The condition and direction of development for technology of powerful flat seams development by powered supports with coal release]. *Tula State University*. 2019:162-174.

12. Klishin S.V., Klishin V.I. Modelirovaniye protsessa gravitatsionnogo dvizheniya predvaritelno razuprochnyennoy gornoy massy pri dobyche poleznykh iskopayemykh v tekhnologii s vypuskom [Simulation the gravity movement process of the preliminary weakened rock mass while extracting mineral

resources in the technology with coal release]. Certificate of computer software registration No. 2019619590 dated 19.07.2019

18. Khudyntsev Ye.A. Razrabotka konstruktssii stenda pitatelya dlya upravlyayrmogo vypuska ugl'ya iz pdkrovelnoy tolshchi na aboynny konveyer [Working out the feeder test stand construction for controlled coal release out of sub-roof layer onto the face conveyor. *Razvitiye-2019*. 2019:63-69.

19. Starodubov A. N. [etc]. The development of simulating system of robotized technologies for thick and acute coal seams. *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2021; 1749(1):012040.

20. Klishin V.I. [etc]. Issledovaniye vypuska ugl'ya na maketnykh obraztsakh sektiyy mekhanizirovannoy krep'y pri razlichnykh rezhimakh upravleniya [Researching coal release on mockup test sample of powered support under different controlling modes. *Fundamental and applied issues of mining sciences*. Novosibirsk: N.A. Chinakal Institute of Mining SB RAS; 2018; 5(1):-71.

21. Klishin V.I. [etc]. Vzaimodeystviye mekhanizirovannykh krep'ey s mezhsloyevoy tolshchey v sistemakh s vypuskom ugl'ya [Interaction of the powered support with the interlayer in the systems with coal release]. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; S48:87-94.

22. Klishin V.I., Ababkov N.V., Pimonov M.V., Khudyntsev Ye. A Modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vibropitatelya sektiyy krep'i s vypuskom ugl'ya podkrovelnoy tolshchi [Modelling strain-stress state of a support section vibrofeeder with a sub-roof layer coal release]. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2020; 2:57-63.

© 2022 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:

Evgeniy A. Khudyntsev, engineer, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (1650000, Russia, Kemerovo city, prospect Sovetskiy, 18)

Sergey V. Klishin, N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, (630091, Russia, Novosibirsk, Krassniy ave. 54)

Vladimir I. Klishin, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (1650000, Russia, Kemerovo city, prospect Sovetskiy, 18), T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vessenyaya street, 28), Corresponding member of Russian Academy of Sciences, Dr. Sc. In Engineering, klishinvi@icc.kemsc.ru

Contribution of the authors:

Evgeniy A. Khudyntsev - scientific management; conceptualisation of research; writing the text, data collection; drawing the conclusions; reviewing the relevant literature.

Sergey V. Klishin – research problem statement; conceptualisation of research; data analysis.

Vladimir I. Klishin - research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis.

All authors have read and approved the final manuscript.

