

Научная статья

УДК 622.273:274

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-96-106

СОЗДАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ВЫПУСКОМ ДЛЯ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Клишин Владимир Иванович, Худынец Евгений Александрович

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

для корреспонденции: klishinvi@icc.kemsc.ru

**Информация о статье**

Поступила:

12 Ноября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

16 декабря 2022 г.

Принята к публикации:

20 декабря 2022 г.

Ключевые слова:

Подземная добыча угля, технология, механизированные комплексы, технология с выпуском, численное моделирование, стендовые испытания, имитационное моделирование.

Аннотация.

Для разработки мощных угольных пластов обосновано новое направление конструирования механизированных крепей с управляемым выпуском подкровельной толици. Приведены новые технические решения создания таких крепей для пологих и крутых угольных пластов, объединенных идеей установки в перекрытие секции крепи питателя. Питатель равномерно выпускает уголь по всей площади проема перекрытия, выполненного в секции механизированной крепи. Производительность питателя регулируется в широком диапазоне. Техническим решением предусматривается одновременная работа группы питателей на один забойный конвейер. Количество питателей, работающих в группе, определяется технической возможностью забойного скребкового конвейера. В этом случае контактная граница «уголь-порода» опускается одновременно, и достигается площадно-управляемый выпуск.

Приведены результаты численных расчетов и лабораторного моделирования процесса выпуска предварительно раздробленной горной массы через выпускное окно в секции механизированной крепи. Выполнено численное моделирование методом дискретных элементов процесса гравитационного движения предварительно разупроченной горной массы в технологии с выпуском. Описывается процесс выпуска угля и вмещающей породы на питатель, установленный в перекрытии механизированной крепи.

Показаны результаты стендовых и имитационных исследований процесса выпуска угля.

Для цитирования: Клишин В.И., Худынец Е.А. Создание механизированных комплексов с выпуском для подземной разработки мощных угольных пластов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 6 (154). С. 96-106. doi: 10.26730/1999-4125-2022-6-96-106

Введение

Наблюдаемое в настоящее время трехкратное превышение объемов погашаемых запасов угля над добываемыми на действующих предприятиях и рост затрат на добычу представляет собой «плату» за несовершенство используемых горных технологий [1]. Совершенствование технологий добычи в направлении обеспечения возможности отработки запасов в сложных условиях позволит увеличить количество пригодных к эксплуатации запасов на полях действующих предприятий и на возможных к освоению новых участках месторождений, а также повысить эффективность их отработки. В настоящее время все большее распространение получают технологии разработки мощных угольных пластов с применением механизированных

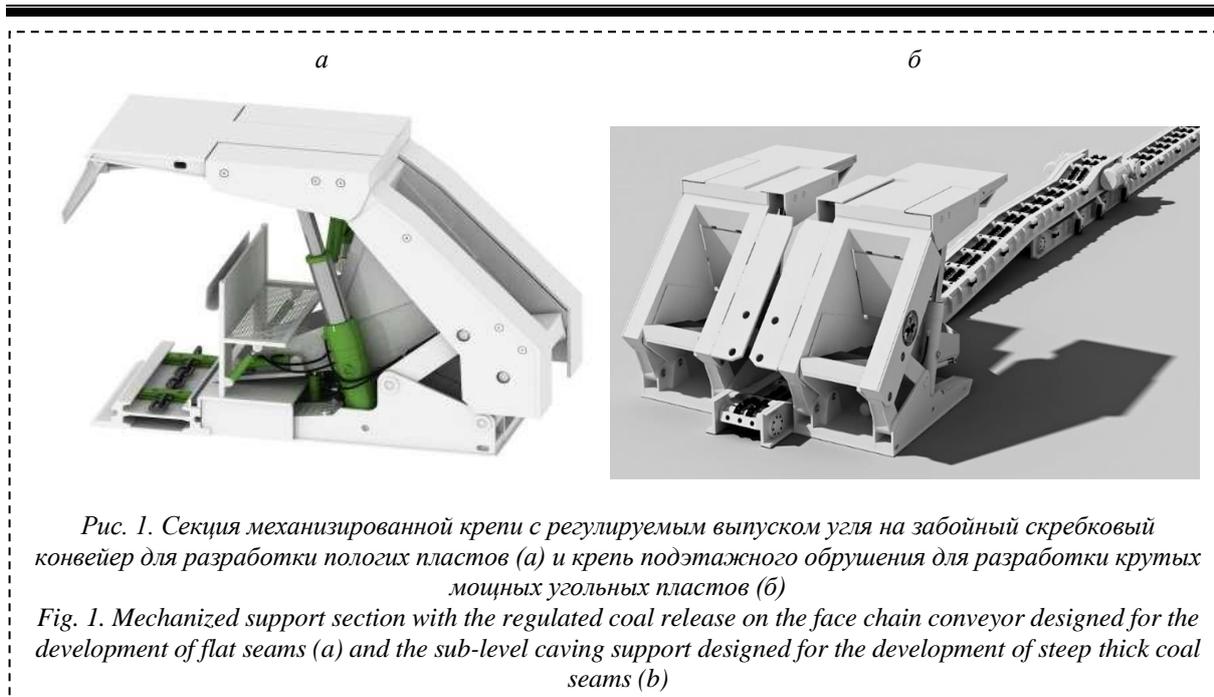


Рис. 1. Секция механизированной крепи с регулируемым выпуском угля на забойный скребковый конвейер для разработки пологих пластов (а) и крепь подэтажного обрушения для разработки крутых мощных угольных пластов (б)

Fig. 1. Mechanized support section with the regulated coal release on the face chain conveyor designed for the development of flat seams (a) and the sub-level caving support designed for the development of steep thick coal seams (b)

крепей, обеспечивающих выпуск угля из подкровельной или межслоевой толщи. В них заложен физический эффект разрушения угольной толщи, основанный на использовании сил горного давления. Этот факт позволил придать механическим комплексам дополнительные функции, связанные с управлением процесса извлечения угля, находящегося над крепью или обрушающегося позади нее.

Впервые этот способ был осуществлен на шахтах с применением комплексов типа КТУ и выпуском угля на забойный конвейер отработываемого слоя [2–6], примененный в комплексах КТУ, КНКМ (Россия), VHP-731 (Венгрия). В мировой практике известна технология выпуска на завальный и забойный конвейеры, которая применялась в основном в России, Китае, Казахстане, Франции, Чехии. Выемка на полную мощность с выпуском угля подкровельной толщи на завальный конвейер (Longwall top coal caving method – LTCC) сегодня эффективно применяется в Китае [7-11], Австралии [12,13], Турции, [14,15], Индии [16], Словакии [17], а также есть несколько шахт в бывшей Югославии. Их преимущества заключаются в значительном сокращении объемов подготовительных работ, капитальных и эксплуатационных затрат, энергоемкости системы, а также возможности разработки пластов в сложных условиях и извлечения запасов из оставленных ранее охранных целиков. Это позволяет повысить эффективность и безопасность отработки пластов, повысить нагрузку на пласт и концентрацию горных работ.

Новое направление создание механизированного комплекса с выпуском угля

Наряду с отмеченными преимуществами технологии с выпуском угля известны и трудности ее реализации. В первую очередь это относится к требованиям полноты выпуска угля, механизации работ по осуществлению его транспорта, обеспечения безопасности и эффективности работы очистного забоя. Потери угля в обрушенном пространстве приводят к его самовозгоранию. Кроме того, при выпуске угля происходит перемешивание его с разрушенными породами кровли и повышается зольность угольной массы как конечного продукта. Все это потребовало изучения процесса выпуска угля через выпускные окна в секции механизированной крепи и разработку принципиально новой конструкции всего добычного комплекса.

В настоящее время Институтом угля ФИЦ УУХ СО РАН разработаны и предлагаются технологии и конструкции механизированных крепей для подземной отработки мощных пологих и крутых угольных пластов с управляемым выпуском подкровельной толщи, объединенные общей идеей управления процессом перемещения предварительно разрушенной горной породы за счет принудительно-управляемого выпуска на забойный конвейер, что открывает новое направление конструирования крепей [18]. Предложенная новая конструкция механизированной крепи с устройством регулируемого выпуска угля на забойный конвейер содержит достоинства

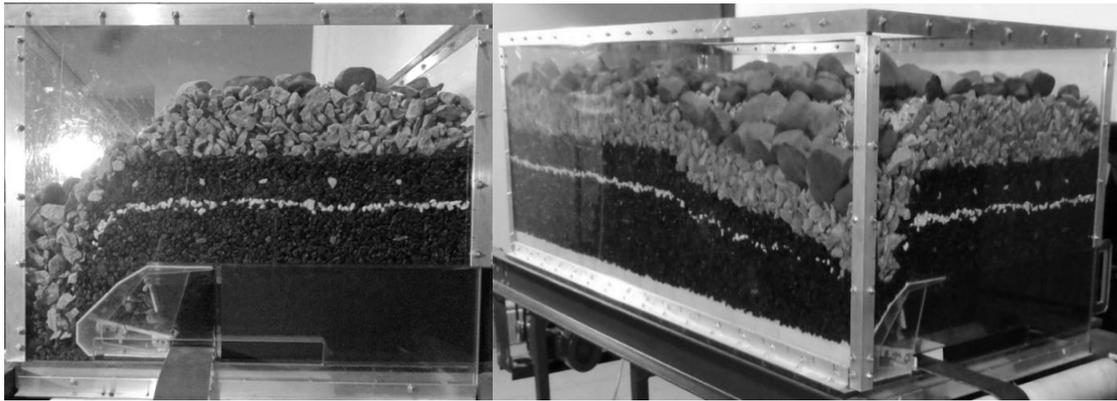


Рис. 2. Лабораторные исследования процесса выпуска в различных режимах
Fig. 2. Laboratory tests of a coal release process in different modes

известных вариантов и исключает их недостатки (рис. 1а).

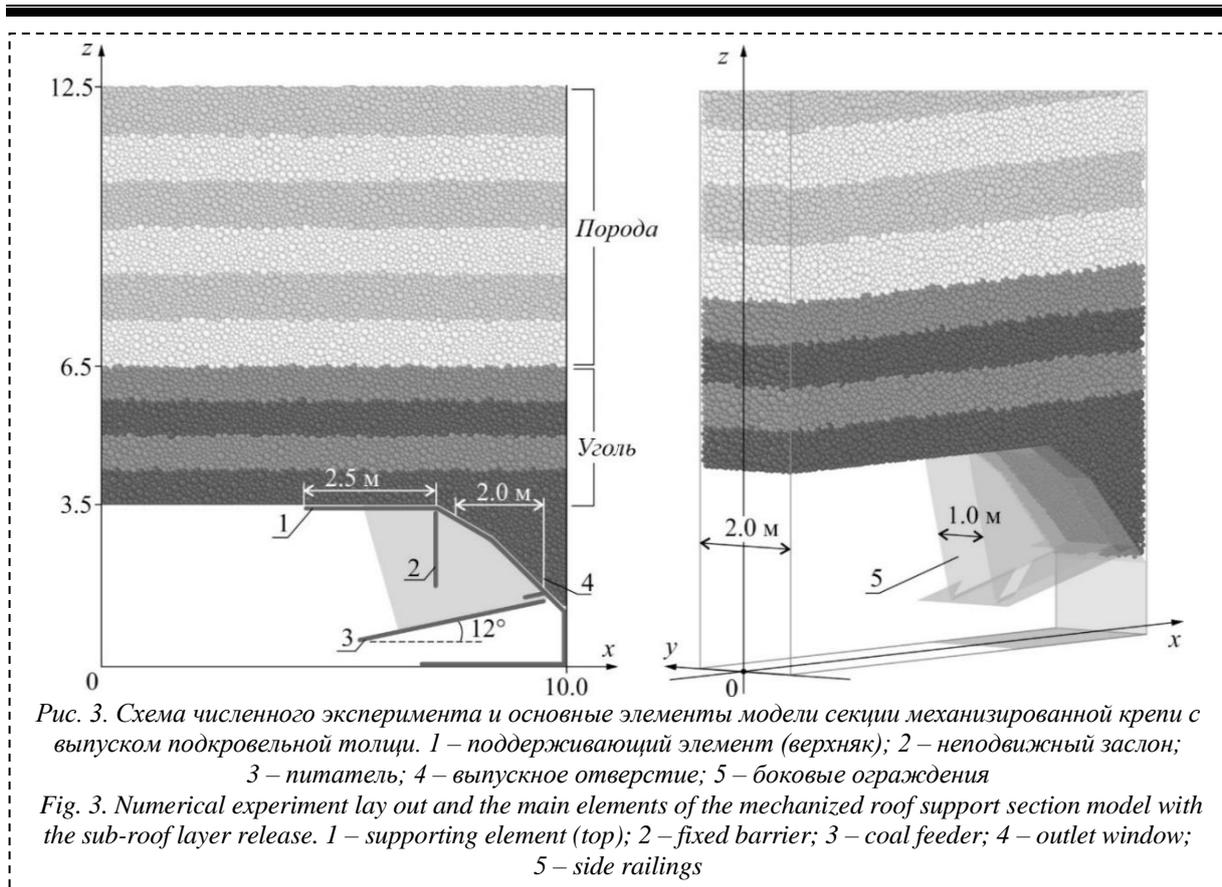
Применение питателей для управляемого выпуска подкровельной (межслоевой) толщи в механизированных крепях с выпуском самообрушающегося угля является новым направлением в создании высокопроизводительных технологий в угольной отрасли. Питатель должен равномерно выпускать уголь по всей площади проема перекрытия, выполненного в секции механизированной крепи. Кроме того, производительность питателя должна регулироваться в широком диапазоне. Техническим решением предусматривается одновременная работа группы питателей на один забойный конвейер. Количество питателей, работающих в группе, определяется технической возможностью забойного скребкового конвейера. В этом случае контактная граница «уголь-порода» опускается одновременно и достигается площадно-управляемый выпуск. Конструкция питателя рассчитана для работы в тяжелых условиях под завалом угля. Аналогичное решение предложено и для разработки мощных крутых угольных пластов (рис. 1б).

Предлагаемая технология отработки мощных угольных пластов требует изучения процесса выпуска угля в подсеичной слой, обоснования параметров технических решений и разработку принципиально новой конструкции всего добычного комплекса. Самообрушением угля управляют посредством определенного порядка и интенсивности выпуска.

Лабораторные стендовые исследования процесса управляемого выпуска угля

Для лабораторных исследований процесса выпуска были разработаны и созданы в масштабе 1:25 модели секции механизированной крепи с устройствами передвижки. Макеты секции крепи в количестве 20 штук были установлены в корпусе лабораторного стенда. Ширина короба по внутренним поверхностям прозрачных боковых стенок равна 1600 мм. Устройством удаления выпущенного угля из забойной зоны служит конвейерная лента шириной 65 мм и толщиной 4 мм, монтируемая перед основанием макетов секций. Приводом ленты служит мотор-редуктор, установленный под основанием лабораторной установки. Регулировка производительности ленты осуществляется преобразователем частоты вращения мотора. Натяжение конвейерной ленты осуществляется натяжным устройством, смонтированным с противоположной стороны короба, включающего в себя натяжной барабан и натяжные винты [19].

Система управления выпуском представляет собой аппаратно-программные средства, позволяющие осуществлять изменение параметров питателя (чистота, амплитуда) и режимов работы (индивидуальный, групповой). Лабораторная установка оснащена регистрирующей аппаратурой, обеспечивающей фото и видео фиксацию процесса управляемого выпуска. Данная установка позволяет проводить эксперименты по выпуску угля на макетных образцах секций механизированной крепи в различных режимах работы: индивидуальном, групповом, волновом, площадном. В качестве выпускной массы, имитирующей уголь, используется щебень, окрашенный в черный цвет, фракция 5÷15 мм, породу – мраморная крошка серо-розового цвета, фракция 13÷25 мм. Для визуализации потока выпускной массы материал, имитирующий угольную массу, разделен слоями белого щебня фракцией 5÷10 мм. (рис. 2).



Численное моделирование процесса гравитационного движения раздробленной горной массы методом дискретных элементов

Метод дискретных элементов (МДЭ) эффективно описывает поведение гранулированных сред, состоящих из частиц произвольного размера и формы. В настоящее время данный метод получил широкое распространение при исследованиях процессов деформирования как горных пород, так и сыпучих сред [20, 21]. Суть МДЭ состоит в том, что реальная среда заменяется набором дискретных частиц, между которыми постулируются определенные законы взаимодействия. В рамках данного метода не возникает трудностей при решении задач с большими деформациями и поворотами. Кроме того, можно без принципиальных усложнений описывать локализацию сдвигов и физически нелинейные эффекты, при этом никаких данных о континуальных определяющих уравнениях среды не требуется. Таким образом, этот метод является принципиальной альтернативой классическим методам, основанным на традиционных представлениях механики сплошных сред.

На основе разработанного программного обеспечения [22] создана динамическая схема, заключающаяся в том, что заданное начальное распределение не контактирующих друг с другом частиц движется под воздействием силы тяжести в заданной ограниченной области, после чего численно рассчитывается их равновесное состояние с учетом контактного взаимодействия элементов друг с другом и границей. Таким образом, располагая данными о законе движения и контактного взаимодействия между частицами, а также начальными и краевыми условиями, можно численно строить решения уравнений движения и определять эволюцию напряженно-деформированного состояния среды.

Численный эксперимент методом дискретных элементов

Пусть в пространстве $Oxyz$ задана область – параллелепипед, ограниченный плоскостями, ориентированными вдоль координатных осей; верхняя граница свободна от напряжений (рис. 3). Длина области составляет 10 м, ширина 2 м, а высота засыпки 12.5 м. Вектор силы тяжести $\mathbf{g} = (0; 0; -9.81)$ направлен вдоль оси Oz вертикально вниз. Передняя и задняя стенки абсолютно гладкие, т.е. выполняется условие, близкое к условию плоской деформации в направлении оси Oy . Мощность угольного пласта составляет 3 м.

Таблица 1. Параметры дискретных элементов
Table 1. Discreet elements parameters

	Уголь	Порода
Модуль упругости, МПа	$5.4 \cdot 10^3$	$1.5 \cdot 10^4$
Коэффициент Пуассона	0.16	0.21
Плотность, кг/м ³	1350	2500
Диаметр, м	0.08 – 0.16	0.08 – 0.16

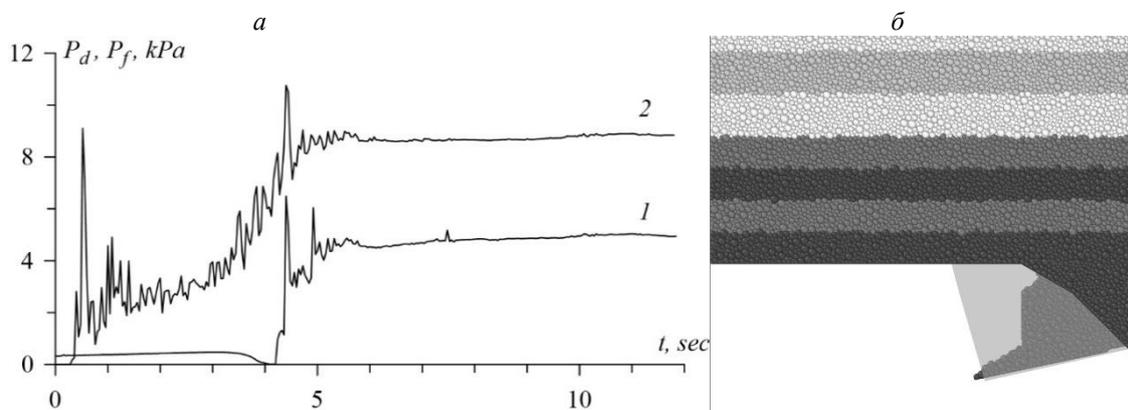


Рис. 4. Давление со стороны сыпучего материала на заслонку (1) и на неподвижный питатель (2) (а);
равновесное состояние горной массы (б)

Fig. 4. The pressure from the side of the loose material on the screen/bonnet (1) and on the fixed feeder (2) (a);
balanced state of the mined rock (b)

На рис. 3 цифрами представлены основные элементы модели секции механизированной крепи высотой 3.5 м: верхняк 1 длиной 2.5 м; неподвижная вертикальная заслонка 2 высотой 1.75 м, ограничивающая скорость и объем потока сыпучего материала; питатель 3 длиной 3.575 м, расположенный под углом 12° к горизонтальной плоскости; выпускное отверстие 4 шириной 1 м, закрытое на этапе создания первоначальной конфигурации области; боковые ограждения 5, расстояние между которыми составляет 1 м. Параметры частиц угля и породы приведены в таблице 1.

В начальный момент времени в секции крепи открывалось выпускное отверстие и сыпучий материал под действием силы тяжести приходил в движение до достижения состояния равновесия, которое было обеспечено неподвижной вертикальной заслонкой и выключенным питателем. При этом фиксировались давление на заслонку P_d (кПа) и на питатель P_f (кПа), эпюры которых представлены на рис. 4а. Равновесное состояние горной массы на данном этапе показано на рис. 4б.

Стеновые исследования питателя

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 есть контактная граница «уголь-порода». Лабораторные эксперименты процесса выпуска угля питателем были выполнены на специально разработанной стендовой установке, выполненной в масштабе 1:4, обеспечивающей управляемый выпуск (рис. 5).

Стеновая 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. 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 оребрением. В качестве выпускаемой горной массы был взят уголь с фракцией 25-50 мм «орех».

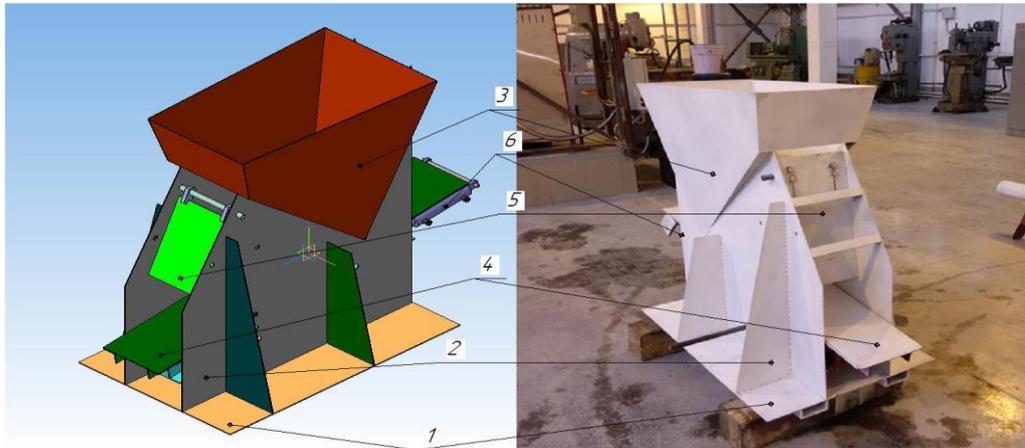


Рис. 5. Стендовая установка питателя
Fig. 5. Coal feeder testing stand

Таблица 2. Конструкции и параметры питателей, используемые в расчетах
Table 2. Constructions and parameters of the feeders used in calculations

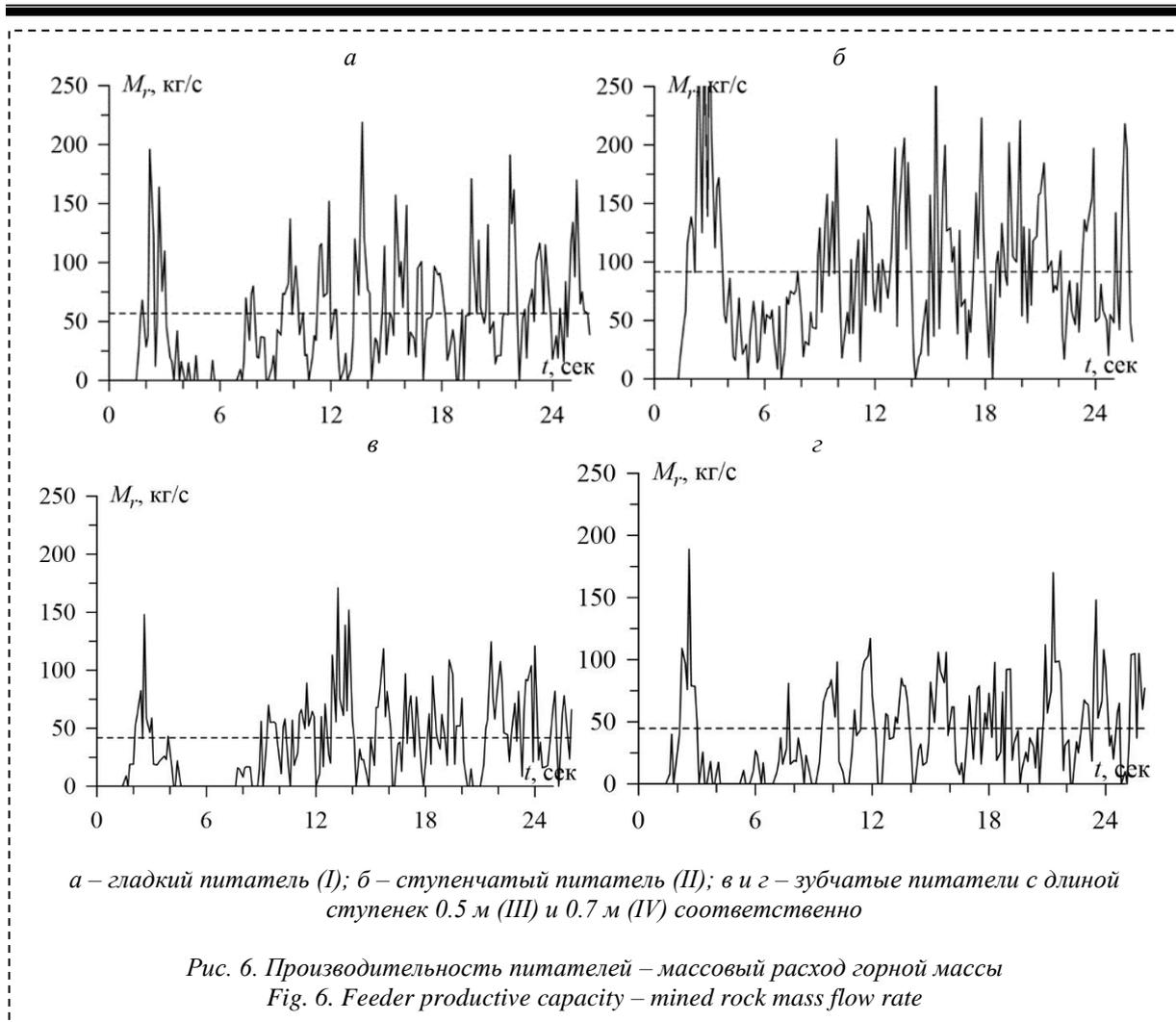
Условная схема	Параметры
	Плоский питатель (I): угол наклона к горизонтальной плоскости $\alpha = 12^\circ$; длина питателя $l_F = 3.5$ м
	Ступенчатый питатель (II): $l_s = 0.7$ м; $h_s = 0.05$ м
	Зубчатые питатели: (III) $l_s = 0.5$ м; $h_s = 0.1$ м; (IV) $l_s = 0.7$ м; $h_s = 0.1$ м

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. 2).

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

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

где $\vec{X}_F(t) = (x_F, y_F, z_F)$ – радиус-вектор его центра тяжести; $\vec{A}_F = -a_F(\cos \alpha, 0, \sin \alpha)$ – 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.



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. Средняя производительность системы выпуска для плоского и зубчатого питателей показала хорошую сходимость с теоретическими расчетами.

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 (I), средняя производительность которого в 1,5 раза больше, чем у зубчатого питателя с оребрением (III).

Учитывая достаточную сходимость теоретического расчета и лабораторных испытаний, а также новое предложение по конструкции питателя [23], разработанного в виде ступенчатого питателя (II), был выполнен теоретический расчет его производительности (или массовый расход) M_r (кг/с), определяемый как суммарная масса дискретных элементов, пройденных через плоскость Oxy за единицу времени. Изменение данного параметра для разных конструкций питателей показано на рис. 6. Пунктирным линиям на графиках соответствуют средние значения производительности.

Расчеты показали, что изменения силовых характеристик и производительности питателей в процессе выпуска имеют периодический характер. При использовании зубчатых питателей (III) и (IV), рифления которых ориентированы вдоль горизонтальной плоскости, пиковые нагрузки на конструктивные элементы секции крепи более чем в два раза превышают аналогичные показатели в случае использования питателей (I) и (II), у которых рабочие поверхности ориентированы вдоль плоскости движения. Производительность у плоского (I) питателя выше, чем у зубчатых питателей (III) и (IV). При этом производительность ступенчатого питателя (II)

более чем в два раза превышает производительность, показанную зубчатыми питателями.

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 [24].

Заключение.

1. Для подземной отработки мощных угольных пластов технологией выемки с выпуском подкровельной толщи предложены новые типы механизированных крепей с регулируемым управляемым выпуском. В основу конструкции положено использование питателей в секциях крепи, обеспечивающих управляемый площадный выпуск по длине лавы, позволяющий получить повышенные технико-экономические показатели очистных работ.

2. 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.

3. Наибольшей производительностью обладает ступенчатый питатель, у которого рабочая поверхность ориентирована вдоль плоскости движения. Его средняя производительность превышает производительности плоского и ступенчатого питателей. Силовое взаимодействие сыпучего материала и элементов крепи носит ярко выраженный периодический характер, причем характеристики достигают своих экстремумов в точках, соответствующих крайним положениям питателя.

4. Разработана лабораторная установка питателя, оснащенная регистрирующей аппаратурой, обеспечивающей фото и видео фиксацию процесса управляемого выпуска механизированной крепи, а также система управления выпуском, позволяющая изменять параметры питателя (частоту, амплитуду).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаклеин С. В., Писаренко М. В. Нетрадиционные технологии добычи угля – основа интенсивного освоения минерально-сырьевой базы Кузбасса // Горная промышленность. 2010. № 4. С. 22-25.
2. Саламатин А. Г. Подземная разработка мощных пологих угольных пластов. М. : Недра, 1997. Т. 407.
3. Шундулиди И. А. [и др.] Выбор параметров технологий отработки мощных пологих пластов с выпуском межслоевых и подкровельных пачек угля // Кемерово, 1999.
4. Гапанович Л. Н., Савченко П. Ф., Бернацкий В. А. Развитие механизированных крепей и технологии с выпуском угля // Уголь. 1986. № 11. С. 33-37.
5. Сагинов А. С., Жетесов С. С. Совершенствование технологии выемки мощных пологих угольных пластов. Алма-Ата : Казахстан, 1981.
6. Сагинов А. С., Жетесов С. С. Двухзабойная выемка угля на мощных пологих пластах. Алма-Ата : Наука, 1982. Т. 224. С. 126.
7. Yang S. [et al.] Effect of upward angle on the drawing mechanism in longwall top-coal caving mining // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2016. Т. 85. С. 92-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.03.004>
8. Wang J. Development and prospect on fully mechanized mining in Chinese coal mines // International Journal of Coal Science & Technology. 2014. Т. 1. № 3. С. 253-260.
9. Wang J. C. The theory and technique on the thick coal seam mining // China Metallurgical Industry Press, Beijing, 2009.
10. Guo J., Ma L., Wang Ye, Wang F. Hanging Wall Pressure Relief Mechanism of Horizontal Section Top-Coal Caving Face and Its Application – A Case Study of the Urumqi Coalfield, China // Energies. 2017. 10 (9). 1371.
11. Wang J. C., Zhang J. W., Yang S. L., Song, Z. Y. 3-D movement law of top-coal in near horizontal coal seam with multi-gangue under caving mining technique // Journal of China Coal Society. 2015. № 40(5). Pp. 979-987.
12. Zhang J. W., Pan, W. D., Li Z. L., Song Z. Y. Development and application of 3D simulation test device for loose top-coal drawing under caving mining technique // Chin J Rock Mech Eng. 2015. №34(s2). Pp. 3871-3879.
13. Vakili A., Hebblewhite, B. K. A new cavability assessment criterion for longwall top coal caving // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2010. №47(8). Pp. 1317-1329.
14. Le T. D., Mitra R., Oh J., Hebblewhite B. A review of cavability evaluation in longwall top coal caving // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. №27(6). Pp. 907-915. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.06.021>
15. Yasitli N. E., Unver B. 3-D numerical modelling of stresses around a longwall panel with top coal caving //

Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2005. Т. 105. №. 5. С. 287-300.

16. Kumar R., Singh A. K., Mishra A. K., Singh R. Underground mining of thick coal seams // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. №25(6). Pp. 885-896.

17. Vakili A., Hebblewhite B. K. A new cavability assessment criterion for longwall top coal caving // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2010. №47.8. Pp. 1317-1329.

18. Клишин В. И., Шундулиди И. А., Ермаков А. Ю., Соловьев А. С. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля. Новосибирск : Наука, 2013. 248 с.

19. Клишин В. И., Варфоломеев Е. Л., Борисов И. Л., Кокоулин Д. И., Худынец Е. А. Разработка макетного образца механизированной крепи и лабораторной установки для моделирования управляемого выпуска угля // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 199–203.

20. Klishin S. V., Lavrikov S. V., Mikenina O. A., Revuzhenko A. F. Discrete element method modification for the transition to a linearly elastic body model // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 973(1), 012008.

21. Klishin S. V., Lavrikov S. V., Revuzhenko A. F. Numerical simulation of abutment pressure redistribution during face advance. AIP Conference Proceedings, 2017, 1909, 020086.

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

23. Патент на полезную модель № 210 254 «Секция механизированной крепи очистного забоя с устройством регулируемого выпуска угля». Клишин В. И., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В., Клишин С. В., Худынец Е. А. БИ №10, 2022.

24. 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. Т. 1749. №. 1. С. 012040.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Клишин Владимир Иванович, доктор техн. наук, член-кор. РАН, профессор, Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты Сибирского отделения Российской академии наук (650000, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский 10), e-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

Худынец Евгений Александрович, инженер, Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты Сибирского отделения Российской академии наук (650000, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский 10), e-mail: khu-evgen@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Клишин Владимир Иванович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы.

Худынец Евгений Александрович – обзор соответствующей литературы, написание текста, научный менеджмент.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DESINING MECHANIZED SUPPORT COMPLEXES WITH COAL RELEASE FOR UNDERGROUND DEVELOPMENT OF THICK COAL SEAMS

Vladimir I. Klishin, Yevgeney A. Khudyntsev

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

for correspondence: klishinvi@icc.kemsc.ru

**Article info**

Submitted:

12 November 2022

Approved after reviewing:

16 December 2022

Accepted for publication:

20 December 2022

Keywords: underground coal mining, mechanized complexes, method with release, numerical modelling, stand test, simulation modelling

Abstract.

To develop thick coal seams, a new direction for constructing mechanized supports with controlled sub-roof coal release was substantiated. New engineering solutions for creating such supports for flat and steep coal seams were introduced. They were all united by one idea, to set a feeder into a roof support unit. The feeder releases coal evenly over the whole area of the support unit window which is made in the mechanized support section. The productivity of the feeder is regulated in a wide range. A simultaneous operation of a feeder group on one face conveyor is provided by the technical solution. The number of feeders that operate in a group is defined by technical capability of an armored face conveyor. In this case, the coal-rock contact border goes down simultaneously, this provides area-managed release. The results of numerical computations and laboratory modelling of the process for releasing previously broken rock through an outlet window made in a powered support section are given. A numerical modelling of gravitational movement process of a previously broken coal by the method of discreet elements was carried out. The process of coal and adjacent strata release on the feeder installed in a mechanized support canopy were described. The results of the stand test and simulation tests of a coal release process were shown.

For citation: Klishin V.I., Khudyntsev Ye.A. Desining mechanized support complexes with coal release for underground development of thick coal seams. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 6(154):96-106. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-6-96-106

REFERENCES

1. Shaklein S.V., Pisarenko M.V. Netradicionnye tekhnologii dobychi uglja – osnova intensivnogo osvoeniya mineral'no-syr'evoy bazy Kuzbassa. *Gornaya promyshlennost'*. 2010; 4:22-25.
2. Salamatina A.G. Podzemnaya razrabotka moshchnyh pologih ugol'nyh plastov. M.: Nedra; 1997.
3. Shundulidi I.A. [et al.] Vybora parametrov tekhnologii otrabotki moshchnyh pologih plastov s vypuskom mezhslouevykh i podkrovel'nykh pachek uglja. Kemerovo, 1999.
4. Gapanovich L.N., Savchenko P.F., Bernackij V.A. Razvitie mekhanizirovannykh krepej i tekhnologii s vypuskom uglja. *Ugol'*. 1986; 11:33-37.
5. Saginov A.S., Zhetesov S.S. Sovershenstvovanie tekhnologii vyemki moshchnyh pologih ugol'nyh plastov. Alma-Ata: Kazakhstan; 1981.
6. Saginov A.S., Zhetesov S.S. Dvuhzabojnaya vyemka uglja na moshchnyh pologih plastah. Alma-Ata: Nauka; 1982.
7. Yang S. [et al.] Effect of upward angle on the drawing mechanism in longwall top-coal caving mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2016; 85:92-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmm.2016.03.004>
8. Wang J. Development and prospect on fully mechanized mining in Chinese coal mines // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2014; 1(3):253-260.
9. Wang J. C. The theory and technique on the thick coal seam mining. China Metallurgical Industry Press, Beijing. 2009.
10. Guo J., Ma L., Wang Ye, Wang F. Hanging Wall Pressure Relief Mechanism of Horizontal Section Top-Coal Caving Face and Its Application – A Case Study of the Urumqi Coalfield, China. *Energies*, 2017; 10 (9):1371.
11. Wang J. C., Zhang J. W., Yang S. L., Song Z. Y. 3-D movement law of top-coal in near horizontal coal seam with

multi-gangue under caving mining technique. *Journal of China Coal Society*. 2015; 40(5):979-987.

12. Zhang J. W., Pan W. D., Li Z. L., Song Z. Y. Development and application of 3D simulation test device for loose top-coal drawing under caving mining technique. *Chin J Rock Mech Eng*. 2015; 34(s2):3871-3879.

13. Vakili A., Hebblewhite B. K. A new cavability assessment criterion for longwall top coal caving *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2010; 47(8):1317-1329.

14. Le T. D., Mitra R., Oh J., Hebblewhite B. A review of cavability evaluation in longwall top coal caving. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017; 27(6):907-915. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.06.021>

15. Yasitli N.E., Unver B. 3-D numerical modelling of stresses around a longwall panel with top coal caving. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2005; 105(5): 287-300.

16. Kumar R., Singh A.K., Mishra A.K., Singh R. Underground mining of thick coal seams. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015; 25(6):885-896.

17. Vakili, A., and B. K. Hebblewhite. A new cavability assessment criterion for longwall top coal caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2010; 47.8: 1317-1329.

18. Klishin V.I., Shundulidi I.A., Ermakov A.Yu., Solov'ev A.S. Tekhnologiya razrabotki zapasov moshchnykh pologih plastov s vypuskom uglia. Novosibirsk: Nauka; 2013.

19. Klishin V.I., Varfolomeev E.L., Borisov I.L., Kokoulin D.I., Hudynceev E.A. Razrabotka maketnogo obrazca mekhanizirovannoj krepki i laboratornoj ustanovki dlya modelirovaniya upravlyaemogo vypuska uglia. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2018; 4:199–203.

20. Klishin S.V., Lavrikov S.V., Mikenina O.A., Revuzhenko A.F. Discrete element method modification for the transition to a linearly elastic body model. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018, 973(1):012008.

21. Klishin S.V., Lavrikov S.V., Revuzhenko A.F. Numerical simulation of abutment pressure redistribution during face advance. *AIP Conference Proceedings*. 2017, 1909:020086.

22. Klishin S.V. Modelirovanie processa gravitacionnogo dvizheniya predvaritel'no razuprochnennoj gornoj massy pri dobyche poleznykh iskopaemykh v tekhnologii s vypuskom / S.V. Klishin, V.I. Klishin Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2019619590 ot 19.07.2019

23. Patent na poleznuyu model' № 210254 Sekciya mekhanizirovannoj krepki ochistnogo zaboya s ustrojstvom reguliruemogo vypuska uglia. Klishin V.I., Anferov B.A., Kuznecova L.V., Klishin S.V., Hudynceev E.A. BI №10, 2022.

24. 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; 1749(1):012040.

© 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:

Vladimir I. Klishin, Doctor of Engineering Science, corresponding member of RAS, professor, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (10 Leningradskey Ave., Kemerovo city 650065, Russia), e-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

Yevgeney A. Khudyntsev, engineer, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (10 Leningradskey Ave., Kemerovo city 650065, Russia), e-mail: khu-evgen@yandex.ru

Contribution of the authors:

Vladimir I. Klishin - formulation of a research problem, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions.

Yevgeney A. Khudyntsev - review of relevant literature, text writing, scientific management.

All authors have read and approved the final manuscript.

