

Разработка мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи роботизированным комплексом

В.И. Клишин, Б.А. Анферов✉, Л.В. Кузнецова

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Кемерово, Российская Федерация
✉b.a.anferov@mail.ru

Резюме: *Актуальность.* При разработке угольных месторождений подземным способом наибольших успехов удалось достичь для пластов мощностью до 7 м средствами комплексной механизации в один слой. Нагрузка на очистной забой достигает 6–8 тыс. т/сут. Для разработки пластов большей мощности применяют технологию с выпуском угля подкровельной толщи. Сдерживающим фактором является неуправляемость процесса выпуска и, как следствие, значительные эксплуатационные потери.

Цель. Разработать перспективные технологии эффективной и безопасной отработки мощных пологих угольных пластов роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи.

Методы. В работе использован метод аналогий.

Результаты и выводы. Путем закрывания во время работы комбайна и открывания во время осуществления выпуска шибберов, установленных на дополнительных бортах секций рештачного става конвейера, исключается проникновение отбитого угля в «карманы» секций крепи. Это снижает эксплуатационные потери угля, вероятность «всплывания» секций крепи, возникновения аварийной ситуации. За счет наличия дополнительного бункера со стороны выработанного пространства уголь подкровельной толщи улавливается, временно удерживается, затем самотеком подается в выпускной проем. Исключение заблаговременной подготовки массива подкровельной толщи в зоне над планируемой демонтажной камерой предотвращает искусственное нарушение сплошности массива над демонтажной камерой, что повышает ее устойчивость. Проведение демонтажной камеры под углом к очистному забою обеспечивает последовательный вход секций крепи в демонтажную камеру, по одной, что позволяет своевременно осуществлять подготовку и выпуск угля.

Ключевые слова: мощный пологий угольный пласт, подземный способ добычи, очистные работы, комплексная механизация, выпуск угля подкровельной толщи, забойный конвейер, роботизация

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук»: проект FWEZ-2021-0002 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы» (рег. №ААААА21-121012290021-1).

Для цитирования: Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Разработка мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи роботизированным комплексом. *Горная промышленность*. 2023;(S2):26–31. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-26-31>

Development of a thick flat seam with coal extraction from the top coal layer using a robotic complex

V.I. Klishin, B.A. Anferov✉, L.V. Kuznetsova

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo,
Russian Federation
✉b.a.anferov@mail.ru

Abstract: *Introduction.* When developing coal deposits using underground method, the greatest success was achieved for the seams with the thickness of up to 7 m by means of complex mechanization in one layer. The productivity of a cleared face reaches 6–8 thousand tons per day. A method of coal extraction from the top coal layer is used to mine seams of greater thickness. The limiting factor is the inability to control of the extraction process and, as a result, significant operational losses.

Objective. The research aims to develop promising technologies for efficient and safe mining of thick flat coal seams using a robotic complex with controlled extraction from the top coal layer.

Methods. The research is based on the analogy method.

Results. By closing the gates installed on the extended sides of the line conveyor sections during the operation of the coal cutter-loader and opening them during the release of coal, penetration of the loosened coal into the “pockets” of the support sections

is eliminated. This reduces the operational loss of coal, the likelihood of “floating” sections of the support, as well as risks of emergencies. Due to the presence of an additional bunker on the side of the mined-out space, the coal from the top layer is collected, temporarily withheld, and then gravity fed into the outlet opening. Elimination of the advance preparation of the top coal layer in the area above the planned break-down chamber prevents man-induced discontinuities inside the rock mass above the break-down chamber, which increases its stability. Construction of the break-down chamber with an inclination against the working face provides a sequential introduction of the support sections into the break-down chamber, one at a time, which allows timely preparation and release of coal.

Keywords: thick coal seam, underground method, mining, complex mechanization, coal extraction from the top coal layer, face conveyor, robotization

Acknowledgments: The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, : Project FWEZ-2021-0002 'Development of efficient technologies of coal mining by robotic mining complexes operating without permanent presence of personnel in mining zones, design of control systems and methods to assess their technical condition and operating life as well as justification of the mineral resource base reproduction' (Reg. No. AAAAA21-121012290021-1).

For citation: Klishin V.I., Anferov B.A., Kuznetsova L.V. Development of a thick flat seam with coal extraction from the top coal layer using a robotic complex. *Russian Mining Industry*. 2023;(S2):26–31. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-26-31>

Введение

При разработке угольных месторождений подземный способ добычи в мире составляет 35% из 7,9 млрд т от общего объема, в основном это пологие пласты¹. В России его доля в 2022 г. составила 23,2% – 102,9 млн т [1].

Наибольших успехов к настоящему времени удалось достичь при разработке пологих пластов мощностью до 7 м средствами комплексной механизации в один слой по системе «Длинные столбы с обрушением кровли», которая является самой распространенной и эффективной в мире и России, нагрузка на очистной забой достигает 6–8 тыс. т/сут [2]. Однако при разработке пологих пластов более 7 м и мощных пластов остальных диапазонов угла залегания в настоящее время не удается достичь таких показателей. Сдерживающим фактором применения технологии является неуправляемость процесса выпуска и, как следствие, значительные эксплуатационные потери. Как показал опыт [3], на участках вывода комплекса из монтажной камеры они ориентировочно составляют 50%, при переходе уклонов – 23,6%, на линейных участках – 12%. Средневзвешенные потери угля в контуре выемочного столба при выпуске составляют 14–15%.

Для разработки пластов большей мощности применяются технологию с выпуском угля подкровельной толщи с применением механизированных крепей. Научные исследования интенсивно проводятся в КНР, Австралии, Индии, Польше, Чехии, Германии, Бангладеш, России² [4–7]. В ее основе заложен физический эффект разрушения угольной толщи силами горного давления. Данная технология позволяет придать механизированным комплексам дополнительные функции, связанные с управлением процессом извлечения угля, находящегося над крепью или обрушающегося позади нее.

Преимущества ее использования заключаются в значительном сокращении объемов подготовительных работ, капитальных и эксплуатационных затрат, энергоемкости системы, снижении опасности самовозгорания угля, а также дополнительной возможности разработки пластов в сложных горно-геологических условиях. Это позволяет повысить эффективность и безопасность отработки пластов, повысить нагрузку на пласт и концентрацию горных работ.

В зависимости от применяемых средств комплексной механизации выпуск угля вышележащей (межслоевой или подкровельной) толщи может быть направлен в призабойное (сюда относятся технологические схемы с использованием крепей с управляемым выпуском типа КУВ (разрабатывается в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН) или выработанное пространство (механизированный комплекс ZF-8000/22/35 производства КНР³). При выпуске угля подкровельной толщи в выработанное пространство подготовка массива толщи осуществляется по мере подвигания очистного забоя подсечного слоя горным давлением вышележащих пород; при выпуске угля подкровельной толщи в призабойное пространство подготовку выпускаемого массива производят не только по мере подвигания очистного забоя подсечного слоя, но и заблаговременно, например, выбуриванием компенсационных скважин, предварительной дегазацией, гидроразрывом угольного массива. Это увеличивает себестоимость добычи угля, но значительно повышает безопасность ведения очистных работ и эффективность выпуска.

Результаты и обсуждение

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разработаны новые технические решения, направленные на повышение эффективности разработки мощных пологих пластов с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер [8–10].

Для исключения поступления отбитого угля с конвейера через пропускные окна, выполненные в дополнительном борту рештачного става конвейера, в «карманы» секций крепи под желобом кабелеукладчика каждой секции става конвейера установлен поворотный гидродвигатель, на оси которого закреплен шибер (рис. 1) [8]. Площадь шибера не меньше площади пропускного окна. Поворотный гидродвигатель гидравлическими шлангами связан с гидравлической системой управления секцией механизированной крепи. Предполагается, что длина секции рештачного става скребкового конвейера равна ширине секции механизированной крепи с устройством выпуска угля, каждый рештак снабжен дополнительным бортом, в котором выполнено окно для пропуска выпускаемого угля.

Для более полного улавливания потока саморазрушаю-

¹ Уголь в Мире. Промышленность и энергетика. Красноярское промышленно-деловое издание от 29.12.2019 г. Режим доступа: <https://dela.ru/articles/246478/>

² Caterpillar to supply two complete longwall top coal caving systems to mine in Turkey. Caterpillar, July 2, 2014. Available at: <https://www.mining.com/web/caterpillar-to-supply-two-complete-longwall-top-coal-caving-systems-to-mine-in-turkey/>

³ Caterpillar to supply two complete longwall top coal caving systems to mine in Turkey. Caterpillar, July 2, 2014. Available at: <https://www.mining.com/web/caterpillar-to-supply-two-complete-longwall-top-coal-caving-systems-to-mine-in-turkey/>

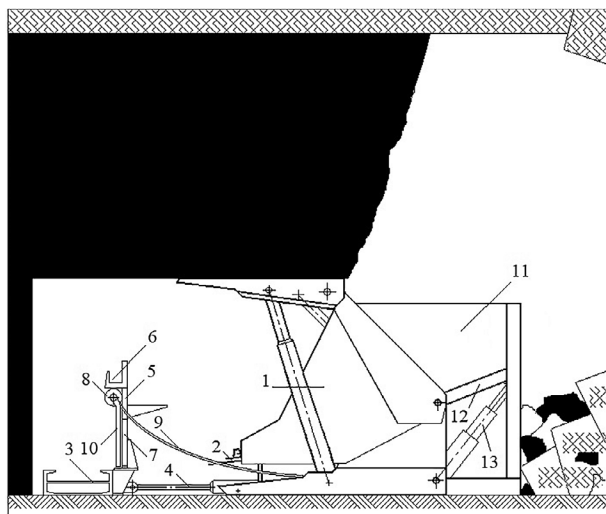


Рис. 1
Схема расстановки оборудования в рабочем пространстве подсечного слоя:
1 – секция механизированной крепи; 2 – питатель;
3 – скребковый конвейер;
4 – гидравлический домкрат передвижки;
5 – дополнительный борт решетчатого става конвейера;
6 – желоб кабелеукладчика;
7 – окно для пропуска выпускаемого угля;
8 – поворотный гидродвигатель;
9 – шланг; 10 – шибер;
11 – завальный бункер;
12 – днище;
13 – гидравлический домкрат управления днищем

Fig. 1
Layout of equipment in the working space of the undercut layer:
1 – section of the powered roof support;
2 – feeder;
3 – scraper conveyor;
4 – hydraulic jack of the movement;
5 – extended board of the conveyor section;
6 – cable layer chute;
7 – window to release the produced coal;
8 – rotary hydraulic motor;
9 – hose; 10 – gate;
11 – bunker;
12 – bottom;
13 – hydraulic bottom control jack

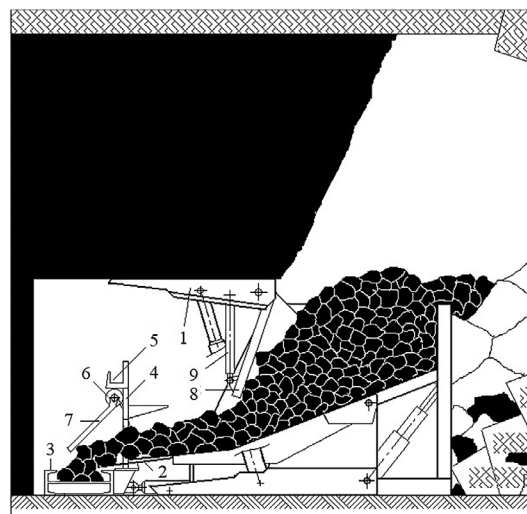


Рис. 2
Схема организации выпуска угля подкровельной толщи:
1 – секция механизированной крепи;
2 – питатель;
3 – скребковый конвейер;
4 – дополнительный борт решетчатого става конвейера;
5 – желоб кабелеукладчика;
6 – поворотный гидродвигатель;
7 – шибер;
8 – заслон;
9 – гидравлический домкрат управления заслоном

Fig. 2
Layout of the coal extraction from the top layer:
1 – section of powered roof support;
2 – feeder;
3 – scraper conveyor;
4 – extended board of the conveyor section;
5 – cable layer chute;
6 – rotary hydraulic motor;
7 – gate;
8 – barrier;
9 – hydraulic jack control barrier

щегося угля подкровельной толщи на каждой секции механизированной крепи с завальной стороны устанавливается специальный бункер, выполненный в виде короба, имеющего один вход сверху и два выхода. Один выход выполнен в створе с выпускным окном секции крепи, другой – с днищем, которым этот выход и закрывается. Боковые борта бункера, ориентированные вертикально в верхней части, плавно сужаются к выпускному окну в ограждении секции крепи. Завальный край бункера подпирают двумя металлическими стойками с лыжами, являющимися продолжением основания секции крепи в сторону выработанного пространства. При этом ширину бункера по верхнему краю принимают равной ширине секции крепи, длину – равной длине проекции в плане от верхнего края проема до завального края днища, форму днища принимают плоской.

Ведение очистных работ начинают с выемки угля очистным комбайном в слое у почвы пласта. Двигаясь по ставу забойного скребкового конвейера, очистной комбайн отбивает уголь и грузит его на забойный конвейер. Так как пропускные окна закрыты шиберами, отбитый уголь не может проникнуть в пространство за конвейером.

После двух-трех циклов выемки угля комбайном в слое у почвы пласта приступают к организации выпуска угля подкровельной толщи. При одиночном выпуске угля – поворотным гидродвигателем поворачивают шибер и тем самым открывают пропускное окно и в это окно выдвигают питатель секции крепи, с которой данная секция става кон-

вейера связана домкратами передвижки; затем включают его в работу (рис. 2) [9]. Поток выпускаемого угля проходит во внутреннем пространстве секции крепи и по питателю через пропускное окно поступает на забойный конвейер. По окончании выпуска питатель выводят из окна, возвращая в исходное состояние, пропускное окно закрывают шибером.

При организации выпуска угля одновременно 3–5 секциями (групповой выпуск) или 7 и более секциями механизированной крепи (площадной выпуск) открывают окна выбранной группы секций става конвейера и выдвигают питатели соответствующих секций механизированной крепи. Далее, как при одиночном выпуске.

С началом выпуска нижняя часть массива подкровельной толщи под действием гравитации устремляется вниз и поступает в бункер. Так как бункер находится непосредственно под массивом подкровельной толщи, то высота падения отбитого угля относительно небольшая, но тогда невелика и кинетическая энергия падающего потока угля подкровельной толщи. Так как заслон выпускного окна закрыт, этот уголь задерживается в бункере, образуя демпфирующую подушку. Следом начинает поступать уголь из слоев подкровельной толщи, расположенных на большей высоте; кинетическая энергия этого потока значительно выше, но он попадает на демпфирующую подушку, не нанося вреда конструкции секции крепи. В этот момент открывают заслон выпускного окна и осуществляют выпуск угля через проем по желобу на забойный конвейер.

Так как поперечное сечение проема значительно меньше приемного сечения бункера, то во время выпуска демпфирующая подушка сохраняется некоторое время, защищая устройства выпуска.

В случае заполнения бункера обрушенными породами кровли, с началом передвижки секции крепи поворачивают днище, открывая выход из бункера в сторону выработанного пространства (при закрытом заслоне) – порода самотеком выходит из бункера в выработанное пространство, предотвращая разубоживание потока угля подкровельной толщи.

Конструкция ограждения секции механизированной крепи, оснащенной дополнительным завальным бункером для более полного улавливания выпускаемого угля, как и установка секций крепи боковыми сторонами вплотную друг к другу, исключают возможность визуального контроля не только состояния выработанного пространства, но и процесса выпуска потока угля подкровельной толщи на стадии его входа в выпускное окно. В связи с этим необходимо роботизировать: контроль состояния массива подкровельной толщи, процессы выпуска угля и заполнения дополнительного бункера углем или породой, а также управление устройствами, обеспечивающими нормальное течение технологических операций, в частности выпуска.

Контроль состояния угольного массива подкровельной толщи предусматривает своевременное выявление характерных проявлений его поведения: нарушение сплошности нижней части массива (при передвижке секций крепи без организации выпуска необходимо, чтобы нарушений сплошности не было, а при организации выпуска, наоборот, чтобы нарушений сплошности было как можно больше); зависание прикровельной угольной пачки характеризует недостаточную заблаговременную подготовленность массива к выпуску (в этом случае необходимо принимать меры по его подготовке к выпуску по мере подвигания очистного забоя); крупно-блочное саморазрушение угольного массива, также указывающее на необходимость его подготовки по мере подвигания очистного забоя.

Выпуск угля подкровельной толщи характеризуется временем начала движения потока разрушенного угля в выпускное окно (выпуск угля организуется не в каждом цикле передвижки секций крепи, а через два-три, в связи с этим и время начала движения потока выпускаемого угля должно соответствовать положению секции крепи, через которую осуществляется выпуск), длительностью (отклонение от средней длительности свидетельствует о нарушении нормального течения процесса, в частности, включении в поток породы кровли пласта), полнотой (объем выпускаемого угля ограничен мощностью подкровельной пачки, неполный выпуск ведет к повышению эксплуатационных потерь), крупностью кусков выпускаемого угля (выпускное окно в ограждении секции крепи имеет строго определенные размеры, в связи с этим выпуск возможен только тех кусков угля, геометрические параметры которых не превышают размеров выпускного окна), наличием породы.

Заполнение дополнительного завального бункера выпускаемым углем предусматривает создание демпфирующей подушки, поддержание её толщины в течение всего времени движения потока, временное накопление объема угля.

В связи с этими задачами роботизации являются контроль и управление (в зависимости от выполняемой техно-

логической операции) [11; 12]:

- положением поворотного шибера;
- положением и работой питателя;
- положением заслона;
- уровнем заполнения завального бункера выпускаемым углем;
- составом выпускаемой массы в завальном бункере;
- положением днища завального бункера в зависимости от состава выпускаемой массы.

Не менее важной с точки зрения снижения аварийности и повышения безопасности ведения горных работ является задача ввода оборудования механизированного комплекса в демонтажную камеру. Сложность заключается в том, что для эффективного выпуска угля необходимо, чтобы массив подкровельной толщи был подготовлен к выпуску заблаговременно или по мере подвигания очистного забоя подсечного слоя, а для безопасного проведения работ по демонтажу оборудования, наоборот, чтобы массив подкровельной толщи был монолитным, без нарушений сплошности, что обеспечит устойчивость кровли демонтажной камеры.

В рамках решения этой технической задачи предусмотрено заблаговременную подготовку массива подкровельной толщи в зоне над планируемой демонтажной камерой не проводить, демонтажную камеру проводить не параллельно очистному забоя, а под некоторым углом (рис. 3) [10], величина которого не превышает допустимого угла изгиба става скребкового конвейера. В этом случае вход секций механизированной крепи в демонтажную камеру будет осуществляться последовательно, по одной; обрушение нависающей части массива подкровельной толщи необходимо проводить принудительно, именно над выпускным окном секции крепи, входящей в демонтажную камеру.

Принудительный выпуск порции угля массива подкровельной толщи осуществляют его дезинтеграцией методом гидроразрыва. Для этого из пространства демонтажной камеры в массив подкровельной толщи над секцией

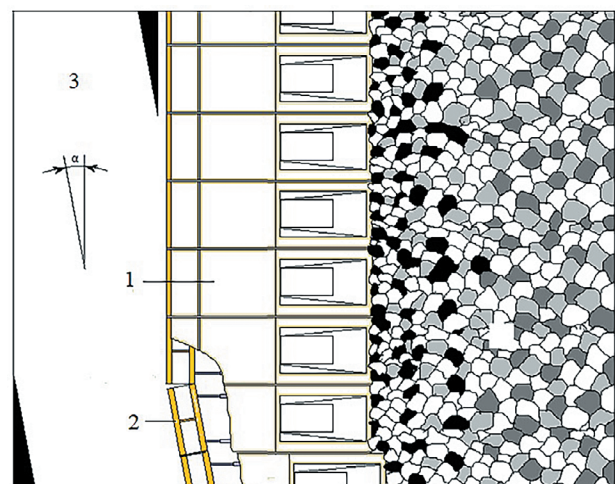


Рис. 3
Схема захода комплекса оборудования в демонтажную камеру:
 1 – секция механизированной крепи;
 2 – решетчатый став забойного конвейера;
 3 – демонтажная камера

Fig. 3
Schematic view of introducing the equipment complex into the break-down chamber:
 1 – section of the powered roof support;
 2 – section of the face conveyor;
 3 – break-down chamber

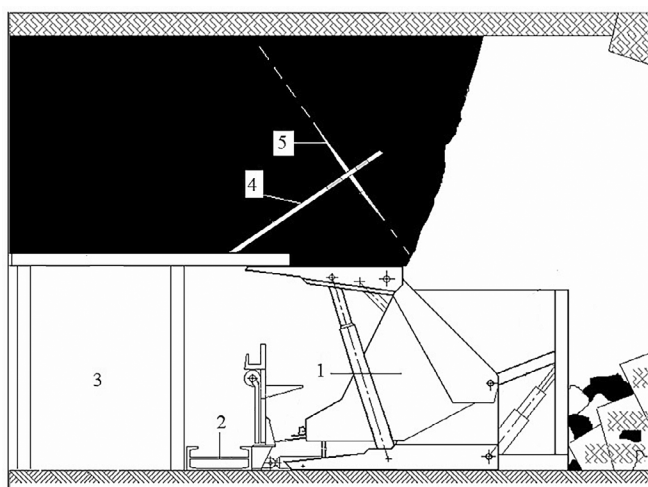


Рис. 4
Схема формирования
дополнительной плоскости
обнажения:
1 – секция механизированной
крепи;
2 – забойный конвейер;
3 – демонтажная камера;
4 – скважина;
5 – дополнительная плоскость
обнажения

Fig. 4
Schematic view
of an additional outcrop
plane formation:
1 – section of the powered
roof support;
2 – face conveyor;
3 – break-down chamber;
4 – borehole;
5 – additional outcrop plane

крепи входящей в демонтажную камеру бурят наклонную скважину, которую затем пакеруют (рис. 4). Подачей воды высокого давления осуществляют гидроразрыв подкровельной пачки угля, создавая дополнительную поверхность обнажения в виде плоскости, по которой происходит поступление части угля подкровельной толщи в выпускное окно секции крепи и далее на забойный конвейер.

Выводы

Путем закрывания во время работы комбайна и открывания во время осуществления выпуска шиберов, установленных на дополнительных бортах секций решетчатого става забойного конвейера, исключается проникновение отбитого угля в «карманы» секций крепи. С одной стороны, это снижает эксплуатационные потери угля, с другой – снижает вероятность «всплывания» секций крепи и возникновения аварийной ситуации.

За счет наличия дополнительного бункера со стороны выработанного пространства уголь подкровельной толщи улавливается, временно удерживается, затем самотеком подается в выпускной проем, обеспечивая непрерывный выпуск и снижение эксплуатационных потерь.

За счет вертикально ориентированных бортов верхней части бункера и его опоры на металлические стойки обеспечивается требуемая устойчивость к динамическим нагрузкам. Кроме того, со стороны выработанного пространства днище защищено металлическими стойками, что снижает вероятность выхода его из строя при обрушении пород кровли, а при заполнении бункера породой, ее оставляют в выработанном пространстве между металлическими стойками, поддерживающими бункер, выпуская ее по днищу.

Исключение заблаговременной подготовки массива подкровельной толщи в зоне над планируемой демонтажной камерой предотвращает искусственное нарушение сплошности массива над демонтажной камерой, что повышает ее устойчивость.

Проведение демонтажной камеры под углом к очистному забою обеспечивает последовательный вход секций крепи в демонтажную камеру, по одной, что позволяет своевременно осуществлять подготовку и принудительный выпуск порции угля.

Список литературы

- Петренко И.Е. Итоги Работы угольной промышленности России за 2022 г. *Уголь*. 2023;(3):21–23. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-21-33>
- Демура В.Н., Артемьев В.Б., Ясюченя С.В., Копылов К.Н., Ютяев Е.П., Мешков А.А., Лупий М.Г., Феофанов Г.Л. *Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс»: альбом*. 2-е изд., испр. М.: Горное дело; ООО «Киммерийский центр»; 2014. 256 с.
- Калинин С.И., Новосельцев С.А., Галимарданов Р.Х. и др. *Отработка мощного угольного пласта механизированным комплексом с выпуском подкровельной пачки*. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет; 2011. 224 с.
- Jangara H., Atilla Ozturk C. Longwall top coal caving design for thick coal seam in very poor strength surrounding strata. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2021;8(4):641–658. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00397-y>
- Wang Z., Tang Y., Gong H. Longwall top-coal caving mechanism and cavability optimization with hydraulic fracturing in thick coal seam: A case study. *Energies*. 2021;14(16):4832. <https://doi.org/10.3390/en14164832>
- Мельник В.В., Суцев Р.А. Технология отработки мощных пологих угольных пластов с выпуском подкровельной толщи. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009;(5):198–210.
- Liang M., Hu C., Yu R., Wang L., Zhao B., Xu Z. Optimization of the process parameters of fully mechanized top-coal caving in thick-seam coal using bp neural networks. *Sustainability*. 2022;14(2):1340. <https://doi.org/10.3390/su14031340>
- Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В., Никитенко С.М. *Способ разработки мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи и решетчатый став скребкового конвейера для его осуществления*. Патент РФ №2800180. 2023. Бюл. №20.
- Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В., Борисов И.Л. *Секция механизированной крепи очистного забоя с устройством принудительного выпуска угля*. Патент РФ №182240. 2018. Бюл. №22.
- Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В., Клишин С.В. *Способ разработки мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи*. Патент РФ №2760270. 2021. Бюл. №33.
- Никитенко М.С., Кизилов С.А., Захаров Ю.Н., Худогонов Д.Ю., Игнатова А.Ю. Измерение производительности питателя при выпуске угля из подкровельной толщи на основе технологии машинного зрения. *Горные науки и технологии*. 2022;7(4):264–273. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-09-22>

12. Nikitenko S., Kiessling U., Kizilov S., Nikitenko M. Longwall top coal caving automation concept. *E3S Web of Conferences*. 2021;330:02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133002001>

References

- Petrenko I.E. Russia's coal industry performance for January – December, 2022. *Ugol'*. 2023;(3):21–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-21-33>
- Demura V.N., Artemiev V.B., Yasyuchenya S.V., Kopylov K.N., Yutyayev E.P., Meshkov A.A., Lupii M.G., Feofanov G.L. *Technological schemes for the preparation and development of excavation areas at the mines of OAO SUEK-Kuzbass: an album*. 2nd ed. Moscow: Gornoe delo; Kimmeriyskiy tsentr; 2014. 256 p. (In Russ.)
- Kalinin S.I., Novoseltsev S.A., Galimardanov R.Kh. et al. *Development of a thick coal seam by a mechanized complex with the release of a under-roofing pack*. Kemerovo: Kuzbass State Technical University; 2011. 224 p. (In Russ.)
- Jangara H., Atilla Ozturk C. Longwall top coal caving design for thick coal seam in very poor strength surrounding strata. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2021;8(4):641–658. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00397-y>
- Wang Z., Tang Y., Gong H. Longwall top-coal caving mechanism and cavability optimization with hydraulic fracturing in thick coal seam: A case study. *Energies*. 2021;14(16):4832. <https://doi.org/10.3390/en14164832>
- Melnik V.V., Sushev R.A. The technology of the thick coal layer extraction with the discharge of underroof mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2009;(5):198–210. (In Russ.)
- Liang M., Hu C., Yu R., Wang L., Zhao B., Xu Z. Optimization of the process parameters of fully mechanized top-coal caving in thick-seam coal using bp neural networks. *Sustainability*. 2022;14(2):1340. <https://doi.org/10.3390/su14031340>
- Klishin V.I., Anferov B.A., Kuznetsova L.V., Nikitenko S.M. *A method for developing a thick flat seam with the release of coal from the under-roofing layer and a grate line of a scraper conveyor for its implementation*. Patent RF No.2800180. Publication date 2023, bull. No.20. (Russ.)
- Klishin V. I., Anferov B.A., Kuznetsova L.V., Borisov I.L. *Section of mechanized support of a working face with a device for forced release of coal*. Patent RF No.182240. Publication date 2018, bull. No.22. (Russ.)
- Klishin V.I., Anferov B.A., Kuznetsova L.V., Klishin S.V. *A method for developing a thick flat seam with the release of coal from the under-roofing layer*. Patent RF No.2760270. Publication date 2021, bull. No.33. (Russ.)
- Nikitenko M.S., Kizilov S.A., Zakharov Yu.N., Khudonogov D.Yu., Ignatova A.Yu. Measurement of feeder performance during coal discharge from an underroof seam using machine vision. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(4):264–273. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-09-22>
- Nikitenko S., Kiessling U., Kizilov S., Nikitenko M. Longwall top coal caving automation concept. *E3S Web of Conferences*. 2021;330:02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133002001>

Информация об авторах

Клишин Владимир Иванович – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор Института угля, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: klishinvi@ic.sbras.ru

Анферов Борис Алексеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: b.a.anferov@mail.ru

Кузнецова Людмила Васильевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.07.2023

Поступила после рецензирования: 31.08.2023

Принята к публикации: 02.09.2023

Information about the authors

Vladimir I. Klishin – Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director of the Institute of Coal, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: klishinvi@ic.sbras.ru

Boris A. Anferov – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: b.a.anferov@mail.ru

Lyudmila V. Kuznetsova – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

Article info

Received: 23.07.2023

Revised: 31.08.2023

Accepted: 02.09.2023