

Научная статья

УДК 622.275

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-5-81-91

**ОБОБЩЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ
ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ****Анферов Борис Алексеевич,
Кузнецова Людмила Васильевна**

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

*для корреспонденции: b.a.anferov@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

16 сентября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 октября 2022 г.

Принята к публикации:

11 октября 2022 г.

Ключевые слова:

мощный угольный пласт, угол падения пласта, очистные работы, комплексная механизация, выпуск угля вышележащей толщи, обобщенная концепция.

Аннотация.

Актуальность работы. Задача повышения эффективности и безопасности подземной добычи угля всегда была и остается главной, ее решению посвящено большое количество научно-исследовательских работ. 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. Однако при разработке пологих пластов более 7 м и мощных пластов остальных диапазонов угла залегания в настоящее время не удается достичь таких показателей.

Цель работы. Установить перспективные технологии эффективной и безопасной разработки мощных пластов всех диапазонов углов залегания.

Методы исследования: анализ существующих технологий разработки мощных пологих, наклонных, крутонаклонных и крутых угольных пластов; систематизация перспективных технологий разработки мощных пластов в виде обобщенной концепции на основе признаков, определяющих ведущую идею и/или конструктивные принципы, реализующие безопасность и эффективность ведения очистных работ.

Результаты: в концепции представлены перспективные технологии эффективной и безопасной разработки мощных пластов всех диапазонов углов залегания, включающие, кроме выемки пологих пластов до 7 м средствами комплексной механизации без разделения на слои по системе «Длинные столбы с обрушением кровли», выемку пластов с разделением по мощности на горизонтальные и наклонные слои, отработываемые в нисходящем/ восходящем порядке, последовательно или одновременно-последовательно, с выпуском угля подкровельной или межслоевой толщи в выработанное или призабойное пространство и дезинтеграцией массива выпускаемого угля по мере продвижения очистного забоя или заблаговременно.

Для цитирования: Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Обобщенная концепция ведения очистных работ подземной разработки мощных угольных пластов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 5 (153). С. 81-91. doi: 10.26730/1999-4125-2022-5-81-91

Задача повышения эффективности и безопасности подземной добычи угля всегда была и остается главной, решению которой посвящено большое количество научно-исследовательских работ. К мощным относятся пласты более 3,5 м залегающего под углом, градусы: 0-18 – пологие, 19-35 – наклонные, 36-55 – крутонаклонные, 56-90 – крутые.

При разработке угольных месторождений подземный способ добычи в Мире составляет 35% из 7,9 млрд т от общего объема, в основном это пологие пласты [1]. В России его доля в 2021 г. составила 25,8% – 113 млн т [2].

Разработка пологих пластов

Наибольших успехов к настоящему времени удалось достичь при разработке пологих пластов мощностью до 7 м средствами комплексной механизации в один слой (КМЗ). В России удельный вес объемов добычи угля из КМЗ в общей подземной добыче составляет более 80% [2]. Остальная добыча осуществляется камерно-столбовой системой отработки (КСО). При этом добычу угля ведут по системе разработки «Длинные столбы с полным обрушением кровли» (ДСО) и различными направлениями подвигания очистного забоя: по простиранию, падению/восстанию, под углом к линии простирания [3, 4]. Данная технология является самой распространенной и эффективной в Мире и России, нагрузка на очистной забой достигает 6-8 тыс.т/сут. [5, 6]. В среднем по Кузбассу в 2021 г. она составила 5273 т/сут. [2]. Теоретические исследования доказывают, что возможна высокопроизводительная комплексно-механизированная выемка угольных пластов подземным способом с нагрузкой на очистной забой до 40-60 тыс. т/сут. [7].

Отработка остальных пластов мощностью более 7,0 м требует деления пласта по мощности на слои. При этом слои могут отрабатываться последовательно, одновременно-последовательно и с оставлением угольной пачки. Оставление угольной пачки обусловлено влиянием горно-геологических условий, ограничивающих применение эффективных средств комплексной механизации при выемке пласта на полную мощность, например, неустойчивые, легко обрушаемые породы кровли; слабые породы почвы пласта и т.п. Естественно, что оставление угольной пачки резко снижает эффективность отработки пласта и ее безопасность, так как в выработанном пространстве уголь оставленной пачки самовозгорается. В связи с этим технологические схемы с оставлением угольной пачки в группу перспективных технологий не включены и в дальнейшем не рассматриваются.

При последовательной отработке слоев в зависимости от физико-технических характеристик угля и вмещающих пород может быть принят нисходящий (с обрушением кровли и разделительным гибким перекрытием, литая твердеющая закладка) или восходящий порядок (гидрозакладка). Перечисленные технологические схемы при опытно-промышленной эксплуатации не доказали своей эффективности и в настоящее время не применяются, но при появлении надежных средств возведения на почве слоя гибкого разделительного перекрытия нисходящий порядок отработки слоев вполне может доказать свою эффективность.

Одновременно-последовательная технологическая схема предусматривает деление пласта по мощности минимум на два слоя – слой у почвы пласта и слой у кровли пласта (возможно также формирование межслоевой пачки). Слои отрабатываются одновременно. Если очистной забой слоя у кровли пласта опережает забой слоя у почвы пласта – порядок отработки слоев нисходящий (сюда относятся технологические схемы, например, с разделительным гибким перекрытием и выпуском межслоевой толщи). Если очистной забой в слое у почвы пласта опережает забой вышележащей толщи – порядок восходящий (сюда относятся все технологические схемы с выпуском угля массива подкровельной толщи [8, 9]).

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 [8]) или выработанное пространство (механизированный комплекс ZF-8000/22/35 производства КНР [9]). 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.

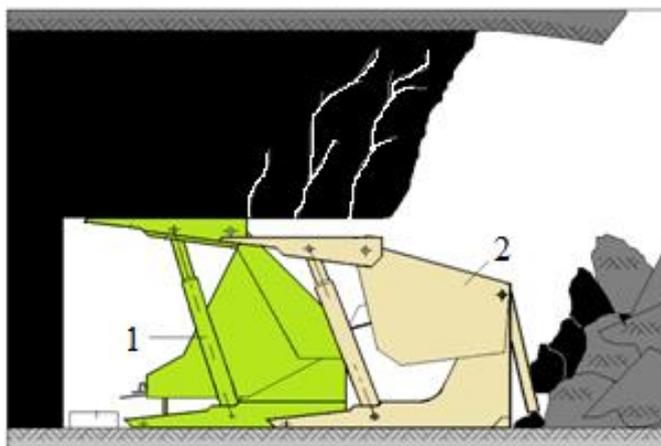


Рис. 1. Схема начала управляемого выпуска угля массива подкровельной толщи: 1 – внутренняя секция крепи; 2 – наружная секция крепи

Fig. 1. Scheme of the beginning of the controlled release of coal from the mass of the under-roofing strata: 1 – the inner section of the support; 2 – outer section of the support

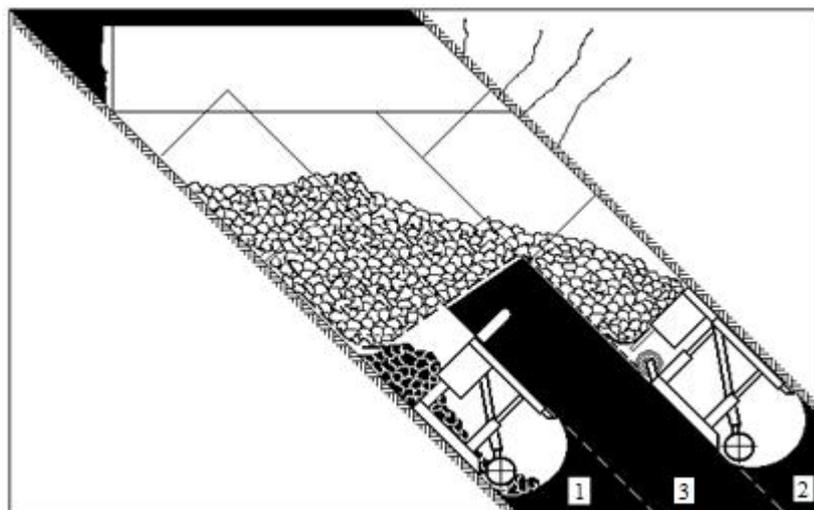


Рис. 2. Схема разработки мощного крутонаклонного пласта с выпуском угля межслоевой пакки: 1 – слой у почвы пласта; 2 – слой у кровли пласта; 3 – межслоевая пакка

Fig. 2. Scheme of development of a thick steep seam with the release of coal of the interlayer pack: 1 – layer near the soil of the seam; 2 – layer at the top of the formation; 3 – interlayer pack

Это увеличивает себестоимость добычи угля, но значительно повышает безопасность ведения очистных работ и эффективность выпуска.

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН на основе механизированной крепи КУВ разработана конструкция комплектной механизированной крепи (рис. 1), каждый комплект которой содержит внутреннюю 1 и наружную 2 секции, связанные между собой гидравлическими домкратами передвижки. При этом внутренняя секция с трех сторон окружена металлоконструкциями наружной секции и может выйти из этого окружения только в сторону очистного забоя. Обе секции одного комплекта объединены сквозным выпускным окном, выполненным в завальном ограждении, и погрузочным желобом, а приемная способность выпускного окна многократно выше исходного состояния [10].

Разработка наклонных пластов

Снижение эффективности разработки наклонных пластов средствами механизации, предназначенными для выемки пологих пластов, связано с тем, что в системе разработки ДСО отработка выемочного столба, ориентированного по простиранию пласта, приводит к аварийности очистного забоя из-за сползания оборудования, в частности секций механизированной крепи, по падению; ориентированного по линии падения пласта – из-за сложности транспортирования отбитого угля вдоль очистного забоя, удержания секций крепи

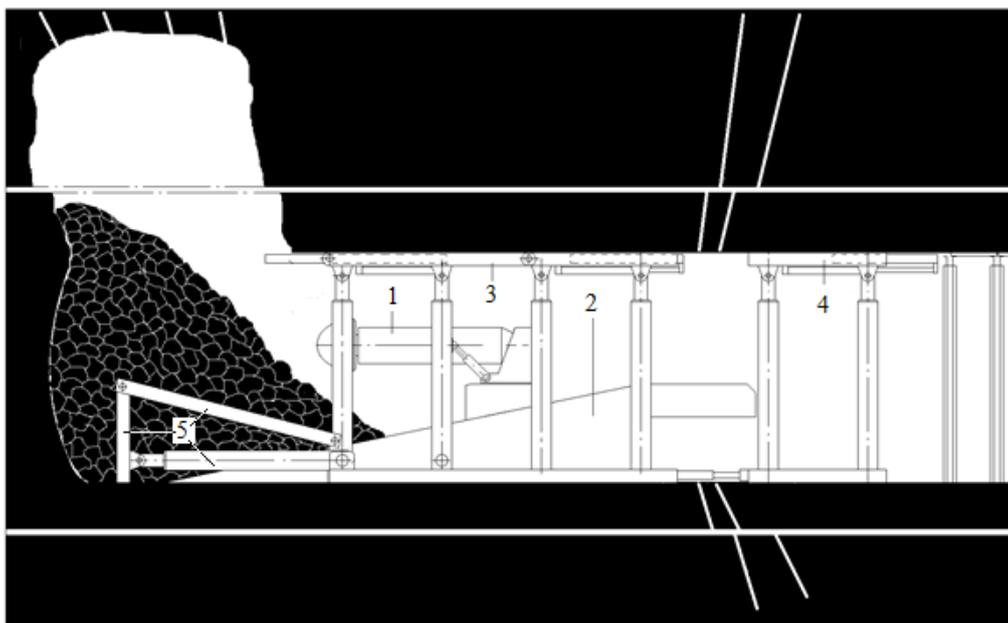


Рис. 3. Схема отработки крутого пласта с выпуском угля вышележащей толщи в приемно-погрузочную зону: 1 – режущий орган; 2 – погрузочная машина; 3 – передовая секция поддерживающей крепи; 4 – отстающая секция поддерживающей крепи; 5 – часть передовой секции крепи, преобразованная в приемно-погрузочную зону

Fig. 3. The scheme of steep seam mining with the release of overlying coal into the receiving and loading area: 1 – cutter jib; 2 – loading machine; 3 – forward section of the supporting lining; 4 – lagging section of the supporting lining; 5 – part of the forward section of the support, converted into a receiving and loading area

при передвижке и т.д.

Авторами разработана технологическая схема отработки наклонных и крутонаклонных пластов (рис. 2). Суть ее заключается в том, что пласт по мощности делят на слои у почвы и кровли с формированием межслоевой пачки. При отработке слоя у кровли пласта на его почве монтируют гибкое разделительное перекрытие (сетку). При последующей отработке слоя у почвы пласта осуществляют деление межслоевой пачки на порции и выпуск разрушаемой межслоевой пачки в призабойное пространство.

Особенностью секции агрегатированной крепи является то, что ее основание выполнено телескопическим – верхняя его часть способна выдвигаться в сторону выработанного пространства. Это означает, что выпускаемый уголь межслоевой толщи поступает самотеком в призабойное пространство слоя у почвы пласта не по почве, а по выдвинутой части основания, т.е. по металлу. В зависимости от покрытия металла, например, эмаль, возможна самотечная транспортировка угля по линии падения под углом чуть более 17 град., а это уже нижняя граница диапазона наклонных пластов, когда забой монтажного слоя должен немного больше опережать забой слоя у почвы пласта, чем при разработке крутонаклонных пластов.

Разработка крутонаклонных и крутых пластов

Разработка мощных крутонаклонных и крутых угольных пластов в настоящее время в России не ведется, закрыты все шахты Кузнецкого, Кизеловского, Печерского, Донецкого бассейнов и месторождений Сахалина. Это связано с высокими трудозатратами, низкой производительностью, сложностью эксплуатации и необходимостью постоянного присутствия людей в забое для выполнения сложных технологических операций и управления горным давлением [11]. В Кузбассе промышленные запасы в этих пластах составляют 1,2 млрд т; в странах ближнего и дальнего зарубежья выделяются месторождения Закавказья (Ткварчельское и Шаорское); Средней Азии (Шаргуньское), а также Польши, Китая, Болгарии, Индии, Турции [12].

До закрытия шахт для данных горно-геологических условий применялись преимущественно системы разработки с короткими очистными забоями: щитовая система, комбинированная с гибким перекрытием, подэтажное обрушение, слоевые системы разработки с закладкой

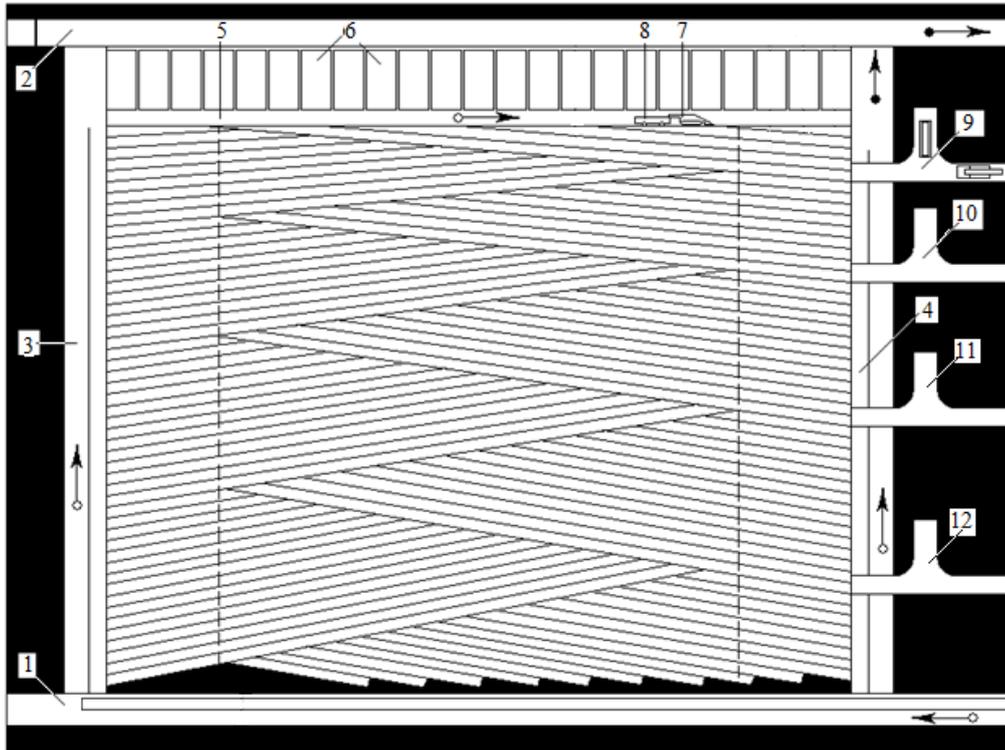


Рис. 4. Схема подготовки и отработки выемочного блока крутого или крутонаклонного пласта: 1 – транспортный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – фланговый углеспускной скат; 4 – ближний углеспускной скат; 5 – монтажная камера; 6 – секции механизированной крепи; 7 – комбайн; 8 – самоходный вагон; 9-12 – камера разворота

Fig. 4. The scheme of preparation and development of the extraction block of a steep or steeply inclined seam: 1 – transport drift; 2 – ventilation drift; 3 – flank coal discharge ramp; 4 – near coal discharge ramp; 5 – assembly chamber; 6 – sections of powered support; 7 – cutter-loader; 8 – self-propelled wagon; 9-12 – reversal camera

выработанного пространства.

Совершенствование технологий добычи угля из крутых и крутонаклонных мощных пластов в части эффективности, безопасности и надежности идет в направлении создания систем разработки с выпуском угля (LTCC), которые в основном применяются в Китае [13, 14]. Система LTCC в различных ее модификациях применялась во Франции, Испании [15, 16]. В Польше на шахте Казимеж-Юлиуш с применением серийно выпускаемых секций механизированной крепи подсецкого слоя (BME Novaky, Novaky, Slovakia) было добыто в 2003-2015 гг. более 12 млн т угля [13].

В данном направлении разработаны конструкция секции механизированной крепи и способ выемки крутого пласта с выпуском угля вышележащей толщи в приемно-погрузочную зону (рис. 3) [17].

Суть заключается в том, что самоходным комбайном (отечественным, серийно выпускаемым) под защитой секции поддерживающей крепи проводят горизонтальную или слабонаклонную выработку, сооружая приемно-погрузочную зону, в которую провоцируют к обрушению обнаженную потолочину и далее ведут работы по выпуску угля вышележащей толщи в обратном порядке.

При этом негабаритные куски угля, выпавшие из потолочины, здесь же в приемно-погрузочной зоне дробят с помощью комбайна. Погрузочное устройство осуществляет погрузку кускового угля из приемно-погрузочной зоны в транспортное средство, в качестве которого может быть принят самоходный вагон, скребковый или ленточный конвейер, а при достаточном наклоне проводимой выработки и эмалированные решетки, т.е. средства самотечного транспорта.

В плане развития щитовой системы авторами разработана технологическая схема подготовки выемочного блока с частичной присечкой пород почвы пласта для механизированной отработки крутых и крутонаклонных пластов (рис. 4) [18]. Идея заключается

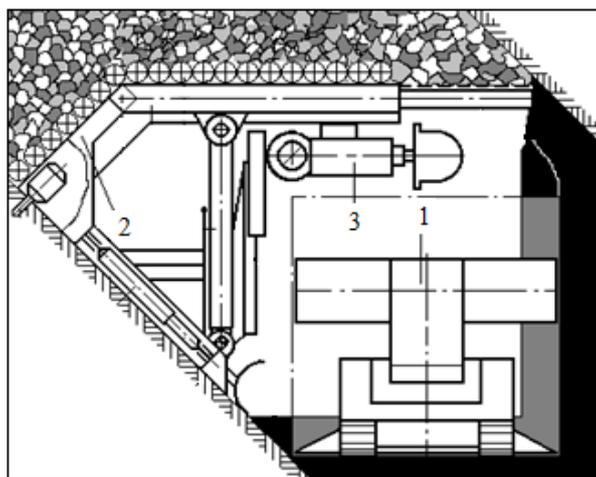


Рис. 5. Схема размещения оборудования в рабочем пространстве слоя при отработке крутонаклонного пласта: 1 – комбайн; 2 – секция механизированной крепи; 3 – стреловидный режущий орган

Fig. 5. Layout of equipment in the working space of the layer during the development of a steeply inclined seam: 1 – cutter-loader; 2 – section of powered support; 3 – arrow-shaped cutting jib

в том, что длинный выемочный столб делят на выемочные блоки проведением углеспускных скатов, между которыми организуют механизированную выемку угля слоями, наклоненными в сторону одного из скатов.

На некотором расстоянии от ближнего ската комбайн зарубают в почву монтажной камеры под углом, допустимым как для самого комбайна, так и для самоходного вагона, и вынимают тонкий слой угля с погрузкой отбитого угля в самоходный вагон и транспортировкой его к фланговому углеспускному скату. Затем вынимают следующий слой и так до тех пор, пока в монтажном слое у флангового ската не останется места, с которого комбайн можно зарубить в почву.

По окончании выемки при движении комбайна на ближний скат, комбайн выводят за пределы выемочного блока над ближним углеспускным скатом и сооружают Т-образную камеру разворота, отсекая в том числе и породы почвы пласта.

Используя Т-образную камеру, комбайн разворачивают и меняют местами с самоходным вагоном. Далее комбайн и вагон перегоняют к фланговому скату, где продолжают выемку угля в тонких слоях, но с транспортировкой отбитого угля уже на ближний углеспускной скат.

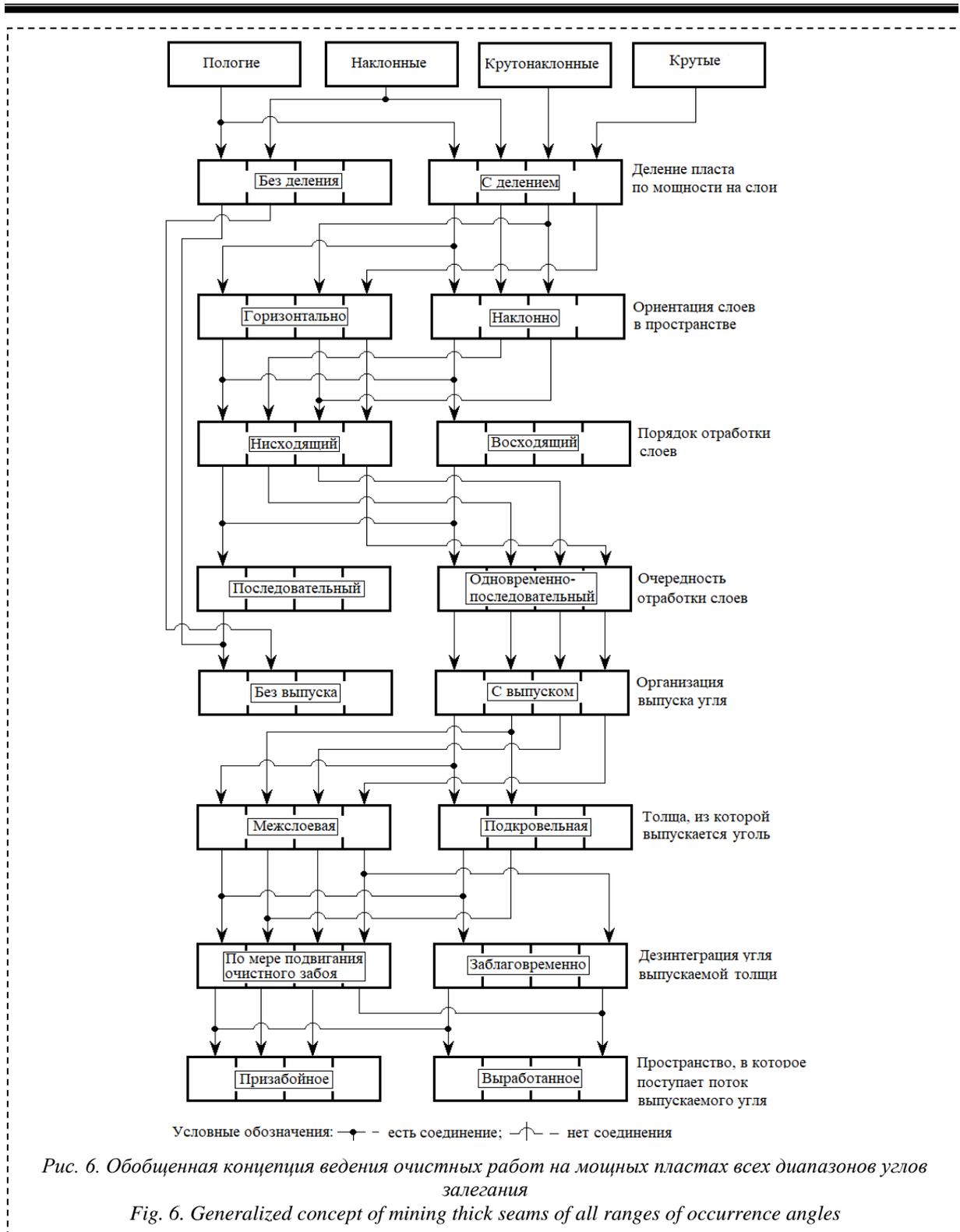
В зависимости от угла залегания обрабатываемого пласта используют различные средства механизации для поддержания рабочего пространства.

При разработке крутонаклонных пластов призабойное пространство каждого слоя поддерживается секциями механизированной крепи (рис. 5), которые, в свою очередь, могут быть оснащены стреловидным режущим органом для оконтуривания прикровельной части призабойного пространства.

При добыче угля из крутонаклонных пластов мощностью 10-15 м с использованием аналогичных секций механизированной крепи и гибкого перекрытия возможна отработка в два слоя с перепуском межслоевой пачки в пространство слоя у почвы пласта. При этом гибкое перекрытие предотвращает прорыв обрушенных пород в рабочее пространство.

При реализации данной технологической схемы комбайн и самоходный вагон перемещаются по строго заданной траектории. При отработке крутонаклонного пласта для комбайна это может быть граница угольного пласта с почвой или установленные датчики-индикаторы на секциях механизированной крепи – сверху или сбоку от комбайна. Для самоходного вагона траектория движения может быть обозначена датчиками-индикаторами на секциях крепи. Комбайн и самоходный вагон из цикла в цикл выполняют одно и то же количество операций, как в количественном, так и качественном отношении, что является серьезной предпосылкой к необходимости роботизации операции по отбойке, погрузке и доставке угля.

Заключение



Анализ существующих технологий разработки мощных пологих, наклонных, крутонаклонных и крутых угольных пластов позволил их систематизировать в виде обобщенной концепции на основе признаков, определяющих ведущую идею и/или конструктивные принципы, реализующие безопасность и эффективность ведения очистных работ (рис. 6). Под концепцией мы понимаем умозрительную систему, выражающую определенный способ представления, понимания, трактовки каких-либо предметов, явлений, процессов и презентующую ведущую идею и/или конструктивный принцип, реализующие определенный замысел в той или иной теоретической знаниевой практике, а именно технологии ведения очистных работ при разработке мощных угольных пластов [19].

В концепции представлены перспективные технологии эффективной и безопасной разработки мощных пластов всех диапазонов углов залегания, включающие, кроме выемки пологих пластов до 7 м средствами комплексной механизации без разделения на слои по системе ДСО, выемку пластов с разделением по мощности на горизонтальные и наклонные слои, отработываемые в нисходящем/ восходящем порядке, последовательно или одновременно-последовательно, с выпуском угля подкровельной или межслоевой толщи в выработанное или призабойное пространство и дезинтеграцией массива выпускаемого угля по мере подвигания очистного забоя или заблаговременно.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области-Кузбасса в рамках научного проекта № 20-45-420019. Соглашение №19/2021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уголь в Мире // Промышленность и энергетика. Красноярское промышленно-деловое издание от 29.12.2019 г. Электронный ресурс. URL: <https://dela.ru/articles/246478/> (дата обращения 17.03.2022).
2. Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. 2022. № 3. С. 9-23.
3. Syd S. Peng. Longwall Mining // West Virginia University. 2006. P. 621.
4. Демура В. Н. [и др.] Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс»: альбом. М. : Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2014. 256 с.
5. Kachurin N. M. [et al.] System Principles for Assessing the Environmental Efficiency and Safety of Underground Coal Mining // Proceedings of the Tula State University. Technical Science. 2019. №7. Pp. 312-319.
6. Jankowski J., Spies B. Impact of longwall mining on surface water-ground water interaction and changes in chemical composition of creek water // Proceedings of the XXXV IAH Congress: Groundwater and Ecosystems, Lisbon, Portugal, 17-21 September 2007, Ribeiro, Chambel, Condesso de Melo (eds), Published by International Association of Hydrogeologists, Jankowski and Spies – Impact of longwall mining on surface water-groundwater interaction and changes in chemical composition of creek water URL: https://www.waternsw.com.au/_date/assets/pdf_file/0005/56354/10 (дата доступа 27.04.2022 г.).
7. Разумов Е. А. [и др.] Пути повышения добычи угля из комплексно-механизированных лав с нагрузкой до 40-60 тыс.т/сут. на один очистной забой // Уголь. 2021. №1. С. 4-10.
8. 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.
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 22.03.2022).
10. Пат. 2763205 RU, МПК E21C 41/18. Способ разработки мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи и механизированная крепь для его осуществления / ФИЦ УУХ СО РАН; Клишин В. И., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В. Оpubл. Бюл. № 1 от 28.12.2021.
11. Мельник В. В. [и др.] Опыт отработки крутых угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. №11. С. 18-38.
12. Клишин С. В. [и др.] Моделирование процесса выпуска угля при механизированной отработке мощных крутонаклонных угольных пластов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. №6. С. 105-116.
13. Zbigniew R. [et al.] Technical Aspects of Mining Rate Improvement in Steeply Inclined Coal Seams: A Case Study. Resources 2020. №9(12). P. 138. URL: <http://www.mdpi.com/journal/resources> (дата обращения 17.05.2021).
14. Wang J., Wei W., Zhang J. Theoretical description of drawing body shape in an inclined seam with longwalltop coal caving mining. Int. J. Coal Sci. Technol. 2019. №7. Pp. 82-195. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40789-019-00286-z> (дата обращения 18.05.2022).
15. Likar J., Medved M., Lenart, M., Mayer J., Malenkovic V., Jeromel G., Dervarić E. Analysis of geomechanical changes in hanging wall caused by longwall multi top caving in coal mining. J. Min. Sci. 2012. №48. Pp. 135-145. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1062739148010157> (дата обращения 18.05.2021)
16. Toraño J., Tomo S., Alvarez E., Riesgo P. Application of outburst risk indices in the underground coalmines by sublevel caving. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2012. №50. Pp. 94-101. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160912000068?via%3Dihub> (дата обращения 19.05.2022)
17. Пат. 2709904 RU, МПК E21C 41/18. Способ разработки мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи / ФИЦ УУХ СО РАН; Клишин В. И. [и др.] Оpubл. Бюл. № 36 от 23.12.2019.
18. Пат. 2461713 RU, МПК E21C 41/18. Способ разработки мощного крутонаклонного угольного пласта / ИУ СО РАН; Анферов Б. А., Кузнецова Л. В. Оpubл. Бюл. № 26 от 20.09.2012.

19. Гуманитарный портал. Электронный ресурс. URL: <https://gtmarket.ru/concepts/6890> (дата обращения 16.08.2022)

© 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:

Анферов Борис Алексеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10), b.a.anferov@mail.ru

Кузнецова Людмила Васильевна, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10)

Заявленный вклад авторов:

Анферов Борис Алексеевич — постановка исследовательской задачи, обзор литературы, концептуализация исследования, выводы, написание текста.

Кузнецова Людмила Васильевна — постановка исследовательской задачи, обзор литературы, концептуализация исследования, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

GENERALIZED CONCEPT OF MINING UNDERGROUND DEVELOPMENT OF THICK COAL SEAMS

Boris A. Anferov,
Lyudmila V. Kuznetsova

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

*for correspondence: gartmanaa@suek.ru

Abstract.

The urgency of the discussed issue. The task of increasing the efficiency and safety of underground coal mining has always been and remains the main one, the solution of which is devoted to a large number of research works. To date, the greatest success has been achieved in the development of flat seams up to 7 m thick by means of complex mechanization in one layer according to the “Long pillars with roof collapse” system, which is the most common and effective in the world and Russia, the load on the stope reaches 6-8 thousand tons/day. However, when developing flat seams of more than 7 m and thick seams of other ranges of the angle of occurrence, it is currently not possible to achieve such indicators.

The main aim of the study: To establish promising technologies for the efficient and safe development of powerful formations of all ranges of angles of occurrence

The methods used in the study. Establish promises technologies for efficient and safe development of thick seams of all ranges of occurrence angles.

The results. Analysis of existing technologies for the development of thick flat, inclined, steeply inclined and steep coal seams. Systematization of promising technologies for the development of thick seams in the form of a generalized concept based on features that determine the leading idea and / or design principles that implement the safety and efficiency of mining. The concept includes excavation technologies: flat seams up to 7 m by means of complex mechanization without separation into layers according to the “Long pillars with roof collapse” system, with division by thickness into horizontal and inclined layers, worked out in descending / ascending order, sequentially or simultaneously-sequentially, with the release of coal from the under-roof or interlayer strata into the worked-out or bottom-hole space and the disintegration of the mass of the produced coal as the working face advances or in advance.

**Article info**

Submitted:

16 September 2022

Approved after reviewing:

01 October 2022

Accepted for publication:

11 October 2022

Keywords: thick coal seam, seam dip angle, mining, complex mechanization, overlying coal production, generalized concept.

For citation: Anferov B.A., Kuznetsova L.V. Generalized concept of mining underground development of thick coal seams. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 5(153):81-91. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-5-81-91

REFERENCES

1. Ugol' v Mire [Coal in the World]. Promyshlennost' i energetika. Krasnoyarskoe promyshlennno-delovoe izdanie ot 29.12.2019 [Industry and Energy. Krasnoyarsk Industrial and Business Edition 2019.12.29]. URL: <https://dela.ru/articles/246478/> (accessed 17.03.2022).
2. Petrenko I.E. Itogi raboty ugol'noy promyshlennosti Rossii za 2021god [The Results of the Work of the Russian Coal Industry for 2021] *Ugol' [Coal]*. 2022; 3:9-23.
3. Syd S. Peng. Longwall Mining. *West Virginia University*. 2006. P. 621.
4. Demyra V.N. Tekhnologicheskie skhemy podgotovki i otrabotki vyemochnykh uchastkov na shakhtakh OAO «SUEK-Kuzbass»: al'bom [Technological schemes for the preparation and development of excavation areas at the mines of OAO SUEK-Kuzbass: an album] Moscow: Gornoe delo OOO «Kimmeriyskiy tsentr»; 2014.
5. Kachurin N.M. [et al.] System Principles for Assessing the Environmental Efficiency and Safety of Underground Coal Mining. *Proceedings of the Tula State University. Technical Science*. 2019; 7:312-319.
6. Jankowski J., Spies B. Impact of longwall mining on surface water-ground water interaction and changes in chemical composition of creek water. Proceedings of the XXXV IAH Congress: Groundwater and Ecosystems, Lisbon, Portugal, 17-21 September

2007, Ribeiro, Chambel, Condesso de Melo (eds), Published by International Association of Hydrogeologists, Jankowski and Spies – Impact of longwall mining on surface water-groundwater interaction and changes in chemical composition of creek water URL: https://www.waternsw.com.au/_date/assets/pdf_file/0005/56354/10 (accessed 27.04.2022).

7. Razumov E.A. [et al.] Puti povysheniya dobychi uglya iz kompleksno-mekhanizirovannykh lav s nagruzkoy do 40-60 tys.t/sut. na odin ochistnoy zaboy [Ways to increase coal production from complex-mechanized longwalls with a load of up to 40-60 thousand tons per day per one working face]. *Ugol' [Coal]*. 2021; 1:4-10.

8. Klishin V.I., Klishin S.V. Sostoyanie i napravlenie razvitiya tekhnologii razrabotki moshchnykh ugol'nykh plastov mekhanizirovannymi krep'yami s vypuskom [The state and direction of development of technology for the development of thick coal seams by powered supports with the release] *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta [News of the Tula State University]*. 2019. P. 162-174.

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/> (дара обращения 22.03.2022).

10. Patent 2763205 RU, MPK E21S 41/18. Sposob razrabotki moshchnogo pologogo plasta s vypuskom uglya podkrovel'noy tolshchi i mekhanizirovannaya krep' dlya ego osu-shchestvleniya [A method for the development of a thick flat seam with the release of coal from the under-roofing layer and powered support for its implementation] / FITs UUKh SO RAN [FRC CCC SB RAS]. Klishin V.I., Anferov B.A., Kuznetsova L.V. Published in the Bulletin No 1, 28.12.2021.

11. Mel'nik V.V. [et al.] Opyt otrabotki krutykh ugol'nykh plastov [Experience in mining steep coal seams]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]*. 2018; 11:18-38.

12. Klishin S.V. [et al.] Modelirovanie protsessa vypuska uglya pri mekhanizirovannoy otrabotki moshchnykh krutopadayushchikh ugol'nykh plastov [Modeling the process of coal tapping during mechanized mining of thick steeply dipping coal seams]. *Fizikotekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Journal of Mining Sciences]*. 2013; 6:105-116.

13. Zbigniew Rak [et al.] Technical Aspects of Mining Rate Improvement in Steeply Inclined Coal Seams: A Case Study. *Resources* 2020; 9(12):138. URL: <http://www.mdpi.com/journal/resources> (accessed 17.05.2021).

14. Wang J., Wei W., Zhang J. Theoretical description of drawing body shape in an inclined seam with longwalltop coal caving mining. *Int. J. Coal Sci. Technol.* 2019; 7:82-195. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40789-019-00286-z> (accessed 18.05.2022).

15. Likar J., Medved M., Lenart M., Mayer, J., Malenkovic V., Jeromel, G., Dervarić E. Analysis of geomechanical changes in hanging wall caused by longwall multi top caving in coal mining. *J. Min. Sci.* 2012; 48:135-145. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1062739148010157> (accessed 18.05.2021)

16. Toraño J., Torno S., Alvarez E., Riesgo P. Application of outburst risk indices in the underground coalmines by sublevel caving. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2012; 50:94-101. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160912000068?via%3Dihub> (accessed 19.05.2022).

17. Patent 2709904 RU, MPK E21S 41/18. Sposob razrabotki moshchnogo pologogo plasta s vypuskom uglya podkrovel'noy tolshchi [A method for developing a thick flat seam with the release of coal from the under-roofing layer] / FITs UUKh SO RAN [FRC CCC SB RAS]. Klishin V.I. [et al.] Published in the Bulletin No 36 23.12.2019.

18. Patent 2461713 RU, MPK E21S 41/18. Sposob razrabotki moshchnogo krutonaklonnogo ugol'nogo plasta [Method for developing a thick steep coal seam] / IU SO RAN [IC SB RAS]. Anferov B.A., Kuznetsova L.V. Published in the Bulletin No 26 20.09.2012.

19. Gumanitarnyy portal [Humanitarian Portal]. URL: <https://gtmarket.ru/concepts/6890> (accessed 16.08.2022).

© 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:

Boris A. Anferov, C. Sc. in Engineering, Leading Researcher, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (10 Leningradsky avenue, Kemerovo, Russia, 650065), b.a.anferov@mail.ru

Lyudmila V. Kuznetsova, C. Sc. in Engineering, Leading Researcher, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (10 Leningradsky avenue, Kemerovo, Russia, 650065)

Contribution of the authors:

Boris A. Anferov - research problem statement; reviewing the relevant literature; conceptualization of research; data analysis; drawing the conclusions, writing the text.

Lyudmila V. Kuznetsova - research problem statement; reviewing the relevant literature; conceptualization of research; data analysis; drawing the conclusions, writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

