

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-91-101

УДК 622.272

РАЗРАБОТКА ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ УГЛЯ КРУТЫХ И КРУТОНАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ

Анферов Борис Алексеевич,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, 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



Информация о статье

Поступила:
03 сентября 2021 г.

Рецензирование:
30 сентября 2021 г.

Принята к печати:
25 октября 2021 г.

Ключевые слова:

уголь, трудноизвлекаемые запасы, крутые и крутонаклонные пласты, технология добычи, схема подготовки и отработки

Аннотация.

Актуальность работы. В России из-за низкой эффективности были закрыты все шахты Кузнецкого, Кизеловского, Печерского, Донецкого бассейнов и месторождений Сахалина, разрабатывающие крутые и крутонаклонные угольные пласты. 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.

Цель работы. Создание эффективных и безопасных технологий разработки мощных крутых и крутонаклонных угольных пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое на базе роботизированных комплексов оборудования.

Методы исследования. Обобщение и анализ существующих технологий разработки крутых и крутонаклонных угольных пластов.

Результаты. Для России освоение месторождений с трудноизвлекаемыми запасами угля является перспективным направлением, в первую очередь с мощными крутыми и крутонаклонными пластами. Технология добычи угля из мощных крутых и крутонаклонных пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое может быть осуществлена за счет раскройки выемочного поля с использованием камер разворота выемочного комбайна, что позволяет использовать мобильные средства механизации в процессе добычи. Разработаны технологические схемы подготовки и отработки выемочного поля, позволяющие применять мобильные средства механизации очистных работ с элементами роботизации и обеспечить выпуск угля вышележащей толщи.

Для цитирования: Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Разработка трудноизвлекаемых запасов угля крутых и крутонаклонных пластов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 5 (147). – С. 91-101 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-91-101

Развитие технологий добычи трудноизвлекаемых запасов полезных ископаемых в России определяется факторами времени и целесообразности. На сегодняшний день большинство недропользователей хорошо обеспечены легко извлекаемыми запасами. Однако рано или поздно они будут истощены, и для развития компаниям придется осваивать трудноизвлекаемые запасы, а для этого понадобятся новые технологии [1].

В России из-за низкой эффективности были закрыты все шахты Кузнецкого, Кизеловского, Печерского, Донецкого бассейнов и месторождений Сахалина, разрабатывающие крутые и крутонаклонные угольные пласты. 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 [2]. Добыча осуществлялась морально устаревшими технологиями и оборудованием (различные варианты щитовой системы разработки и подэтажные штреки [3]), в связи с чем крутые и крутонаклонные угольные пласты в настоящее время относятся к трудноизвлекаемым.

Совершенствование технологий добычи угля из крутых и крутонаклонных мощных пластов в части эффективности, безопасности и надежности идет в направлении создания систем

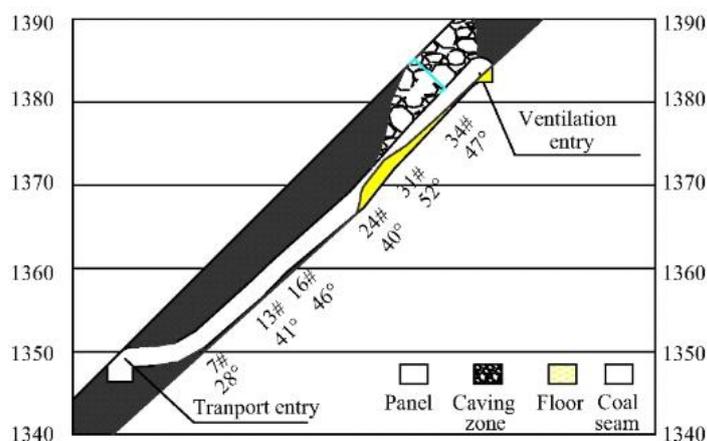


Рис. 1. Схема разработки крутонаклонного угольного пласта по системе разработки LTCC на шахте Dayuan Coal Mine [10]

Fig. 1. Diagram of a steeply inclined coal seam mined by the longwall top coal caving (LTCC) system in the Dayuan Coal Mine [10]

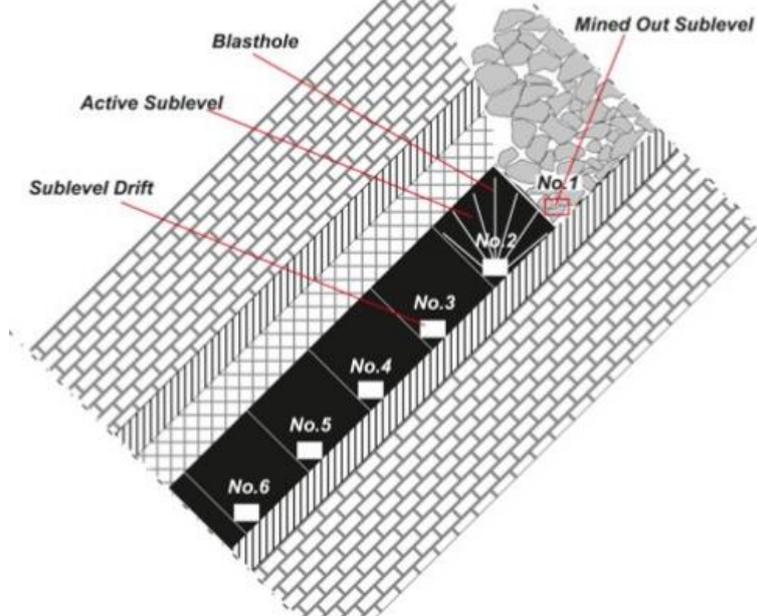


Рис. 2. Схема разделения пласта 510 на выемочные блоки и последовательность их отработки

Fig. 2. Subdivision of Seam 510 into mining panels with extraction sequence

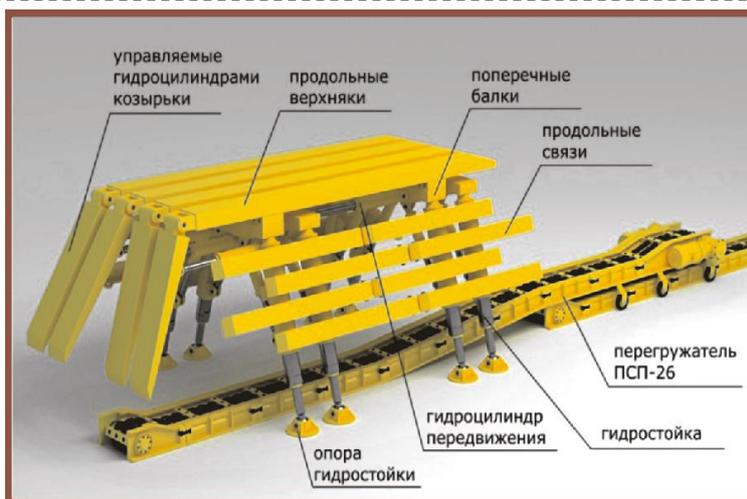


Рис. 3. Общий вид шагающей крепи
 Fig. 3. General view of walking support

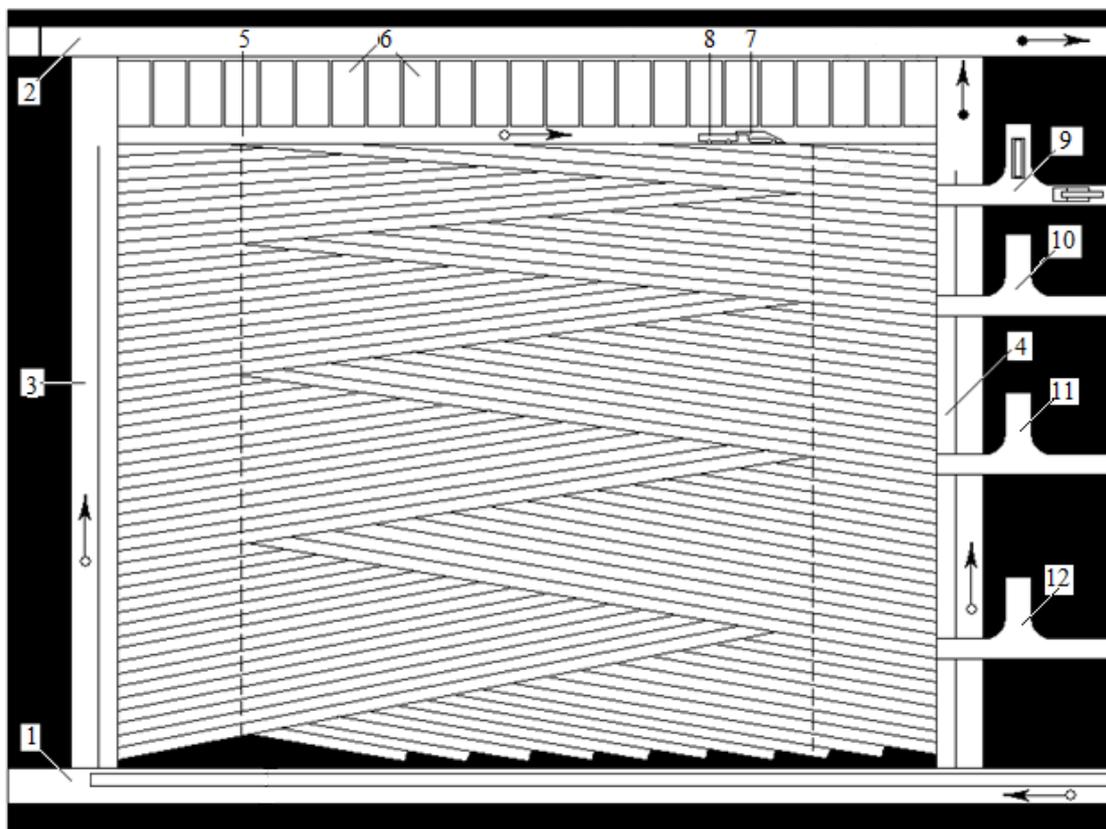


Рис. 4. Схема подготовки и отработки выемочного блока крутого или крутонаклонного пласта:

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, 10, 11, 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, 10, 11, 12 – turn-around room

разработки с выпуском угля (ЛТСС), которые в основном применяются в Китае [4-7] (рис. 1). Система ЛТСС в различных ее модификациях применялась во Франции, Испании [8-9]. В Польше на шахте Казимеж-Юлиуш с применением серийно выпускаемых секций

механизированной крепи подсечного слоя (ВМЕ Novaky, Novaky, Slovakia) в 2003-2015 гг. было добыто более 12 млн т угля (рис. 2) [4, 11].

Сегодня развитие угледобывающей отрасли ориентируется на минимизацию постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ за счет применения современных автоматизированных и роботизированных горнодобывающих комплексов. В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН в настоящее время ведутся работы по созданию роботизированного комплекса для отработки мощных крутонаклонных пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое системой подэтажного обрушения и управляемым выпуском угля [12]. Роботизированный комплекс включает: специальную шагающую гидрофицированную крепь, перемещаемую по подэтажному штреку по мере выемки вышележащей толщи (рис. 3) [13]; серийно выпускаемое горное оборудование – проходческий комбайн, перегружатель, конвейер, насосную станцию; АСУ ТП шагающей крепью (вновь разрабатывается [14]).

Другими направлениями современных исследований в области развития технологий выемки тонких и средней мощности крутых и крутонаклонных пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое являются: бурошнековая выемка [15]; скважинная гидродобыча, в т.ч. с применением тяжелых жидкостей [16, 17]; подземная газификация [18, 19]; гидродобыча [20]; агрегатная выемка конвейеростругом [21].

Одним из технологических аспектов разработки крутых и крутонаклонных пластов является сложность организации работ, осуществляемых существующими эффективными средствами механизации. Например, комбайн фронтального действия, обладающий большой производительностью по сравнению с проходческими комбайнами с режущим органом избирательного действия, для эффективной работы требует большой протяженности фронта работ; при проведении горных выработок это обеспечивается проектной длиной проводимой выработки, а при ведении очистных работ в условиях относительно коротких выемочных полей такого обеспечения нет.

При разработке мощных пластов стараются проводить подготовительные выработки только по углю (там, где это возможно), обеспечивая тем самым повышение эффективности разработки, и примером тому служит щитовая система разработки [3].

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.

Идея заключается 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 (рис. 4).

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.

Когда в слое у ближнего ската не останется места, с которого комбайн можно зарубить в почву, мобильные средства механизации выводят за пределы выемочного блока и в той же камере разворота опять меняют местами.

Далее продолжают вести добычу в тонких слоях с транспортировкой отбитого угля на фланговый скат, затем сооружают следующую камеру разворота и т.д. После отработки запасов данного выемочного блока осуществляют подготовку соседнего, зеркально симметричного, блока с учетом того, что требуемое количество камер разворота уже есть.

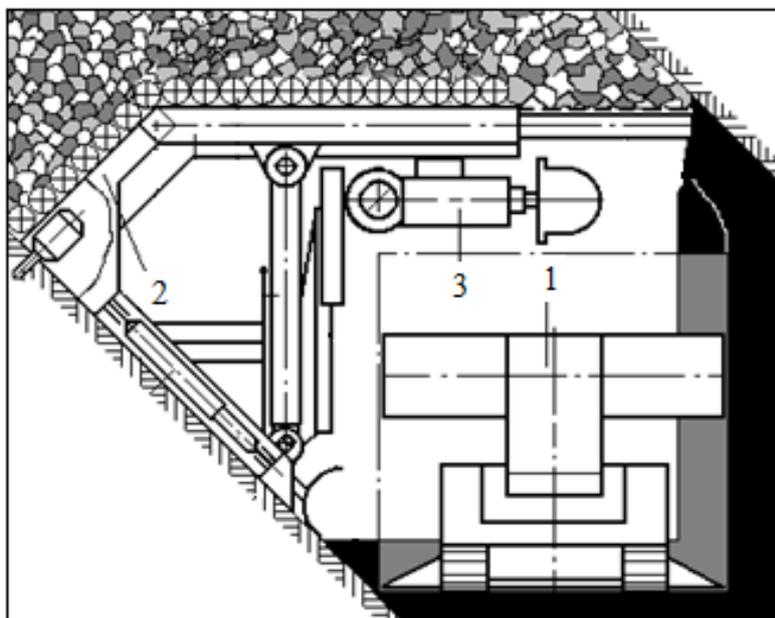


Рис. 5. Схема размещения оборудования в рабочем пространстве слоя при отработке крутонаклонного пласта:

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 – boom cutting unit

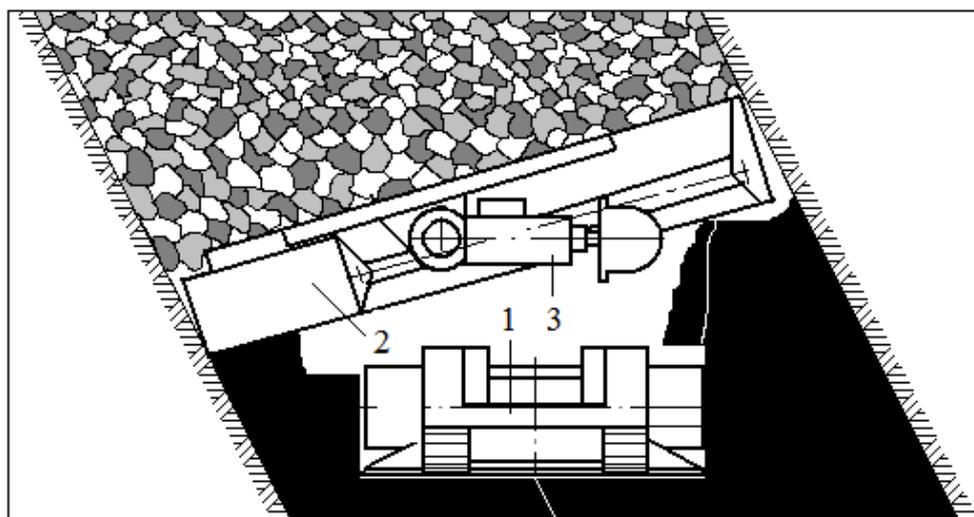


Рис. 6. Схема размещения оборудования в рабочем пространстве слоя при отработке крутого пласта:

1 – комбайн; 2 – секция раздвижного щитового перекрытия; 3 – стреловидный режущий орган
Fig. 6. Layout of equipment in the working space of the layer when mining a steep seam:

1 – cutter-loader; 2 – section of an expanding shield canopy; 3 – boom cutting unit

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 [22].

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 добыче угля из крутых пластов призабойное пространство поддерживают секциями щитового раздвижного перекрытия (рис. 6), каждая из которых оснащена стреловидным режущим органом для оконтуривания верхней части призабойного пространства и управления перекрытием.

Во всех вариантах 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 маячки на секциях механизированной крепи – сверху или сбоку от комбайна; при добыче угля крутого пласта – маячки на секциях щитового раздвижного перекрытия. Для самоходного вагона траектория движения может быть обозначена маячками на секциях крепи или перекрытия. В этом направлении разработано техническое решение, защищенное патентом Российской Федерации на изобретение, по частичной роботизации процесса добычи угля, в котором транспорт угля вдоль очистного забоя осуществляют самоходным вагоном с автоматизированной системой управления [23]. Для этого с перекрытия каждой секции агрегатированной крепи в сторону почвы слоя подают сигнал, соответствующий порядковому номеру секции крепи, этот сигнал принимают приемным устройством, установленным на самоходном вагоне, и передают в автоматизированную систему управления. После изменения направления наклона слоя осуществляют настраивание системы управления самоходного вагона, которая в зависимости от комбинации номеров поступивших сигналов и степени загрузки кузова обеспечивает включение исполнительных механизмов самоходного вагона – движение вперед-назад, разгон-торможение, загрузка-разгрузка, стоп. Однако и комбайн из цикла в цикл выполняет одно и то же количество операций как в количественном, так и качественном отношении, что является серьезной предпосылкой к необходимости роботизации операции по отбойке и погрузке угля.

Для оценки объема вынудой породы, приходящегося на тонну добытого угля, можно принять длину камеры разворота 15-16 м, ее ширину – 4 м, высоту – 2-2,5 м; тогда объем породы, вынудый из одной камеры, составит 120-160 м³. При отработке крутонаклонного пласта мощностью 5 м в двух выемочных блоках длиной до 150 м, зеркально расположенных относительно комплекта камер разворота, состоящего из 5-6 штук, будет извлечено до 165-166 тыс. т угля. Это означает, что удельный объем вынудой из камер разворота породы составит 4-6 м³/тыс. т. Отработка крутонаклонного пласта мощностью 15 и более метров по данной технологической схеме вообще не требует присечки пород почвы для формирования камеры разворота.

Другим технологическим аспектом разработки крутых и крутонаклонных пластов является реальная возможность организации самотечного транспорта своевременно дезинтегрированного угля в подготовленную зону улавливания и погрузки, как это было в период расцвета классической щитовой системы разработки крутых пластов. В современных условиях этот аспект преобразуется в технологическую схему отработки мощного крутого пласта с выпуском угля вышележащей толщи.

Суть ее заключается в том, что средствами механизации, включающими режущий стреловидный орган, погрузочное устройство и секции поддерживающей крепи, проводят горизонтальную или слабонаклонную выработку, например, до границы горного отвода или до нарушения, где трансформируют часть передовой секции поддерживающей крепи, сооружая тем самым приемно-погрузочную зону. Затем обнаженную потолочину провоцируют к обрушению в эту приемно-погрузочную зону и далее ведут работы по выпуску угля вышележащей толщи в обратном порядке (рис. 7) [24]. При этом негабаритные куски угля, выпавшие из потолочины, здесь же в приемно-погрузочной зоне дробят режущим стреловидным органом. 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.

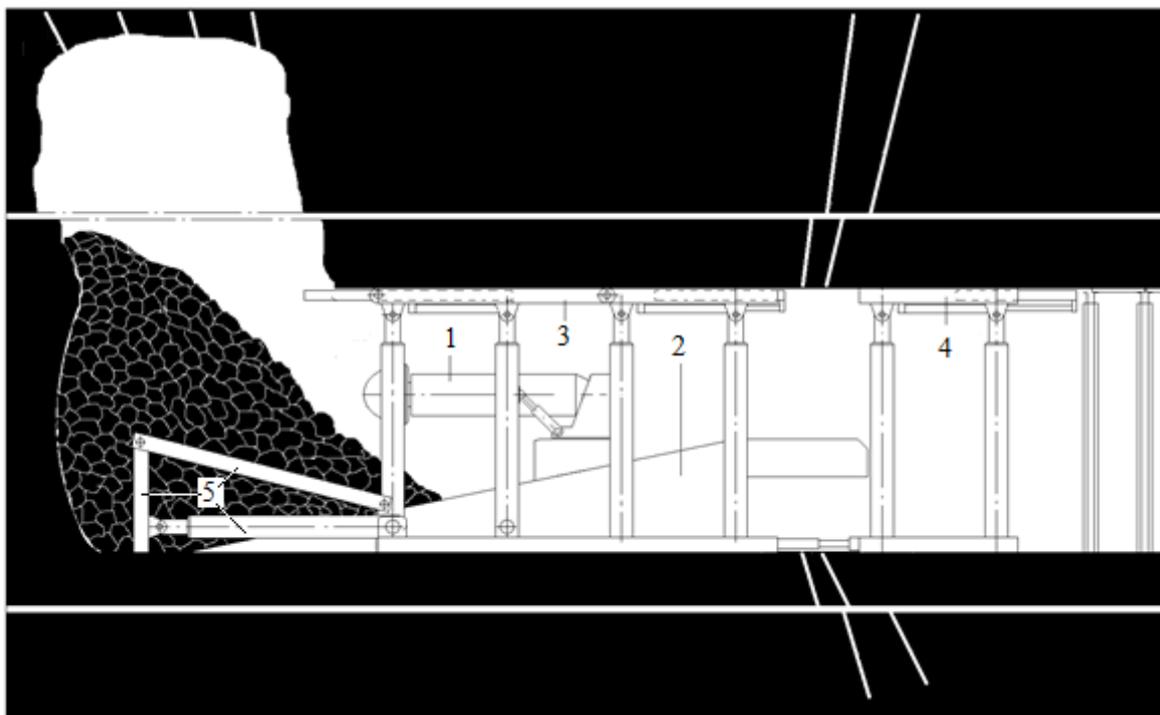


Рис. 7. Схема отработки крутого пласта с выпуском угля вышележащей толщи в приемно-погрузочную зону:

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. 7. The scheme of steep seam mining with the release of overlying coal into the receiving and loading area:

1 – cutting unit; 2 – loading machine; 3 – advancing section of the standing support; 4 – lagging section of the standing support; 5 – part of the advancing section of the support, converted into a receiving and loading area

По мере движения оборудования обратным ходом подготавливают и вышележащую и нижележащую толщи к обрушению бурением ослабляющих массив скважин.

Для осуществления данной технологической схемы разработана секция механизированной крепи с устройством выпуска угля [25].

Такая организация очистных работ на крутых пластах, основанная на использовании достаточно мобильных средств механизации, не требует:

- протяженных выемочных полей, т.е. можно эффективно обрабатывать краевые зоны выемочных полей, запасы между дизъюнктивными нарушениями пласта, пласты с невыдержанной мощностью;
- большого количества секций механизированной крепи, что значительно снижает затраты на монтажно-демонтажные работы;
- применения высокопроизводительного импортного оборудования, так как основной объем добычи обеспечивается выпуском вышележащей толщи. По сути, комплект оборудования содержит проходческий комбайн и самоходную крепь отечественного производства.

Заключение

Анализ современного состояния исследований в области разработки крутых и крутонаклонных угольных пластов как части трудноизвлекаемых запасов показал, что в отличие от России, где закрыты все шахты, разрабатывавшие такие пласты, в мире продолжают разрабатывать мощные крутые и крутонаклонные пласты. Научные исследования ведутся в направлении создания технологий добычи без постоянного присутствия людей в очистном забое: роботизированные горнодобывающие комплексы; бурошнековая выемка; скважинная гидродобыча, в т.ч. с применением тяжелых жидкостей; подземная газификация; гидродобыча;

агрегатная выемка конвейеростругом. Для России освоение месторождений с трудноизвлекаемыми запасами угля является перспективным направлением, в первую очередь из мощных крутых и крутонаклонных пластов. Научные исследования должны быть направлены на создание технологий, обеспечивающих эффективную и безопасную добычу угля без постоянного присутствия людей в очистном забое на основе применения роботизированных горнодобывающих комплексов.

Технология добычи угля из мощных крутых и крутонаклонных пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое может быть осуществлена за счет раскройки выемочного поля с использованием камер разворота, что позволяет использовать мобильные средства механизации в процессе добычи. При этом мобильные средства механизации выполняют строго регламентированные по качеству и количеству операции, повторяемые в каждом технологическом цикле. Автоматизированное и перепрограммируемое управление в зависимости от реальной обстановки в очистном забое мобильными средствами механизации в пределах выемочного блока позволит вывести обслуживающий персонал из зоны ведения горных работ, а выпуск угля вышележащей толщи обеспечит повышение эффективности отработки даже существующими средствами механизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев, Е. Развитие технологий извлечения трудноизвлекаемых запасов пройдет эволюцию. 2017 г. URL: <https://tass.ru/interviews/4141948> (дата обращения: 12.05.2021).
2. Мельник В.В. Опыт отработки крутых угольных пластов / В.В. Мельник [и др.] // Горный информационно аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 11. – С. 18-38.
3. Кузнецова, Л.В. Информационно-логическая систематизация и совершенствование технологий разработки угольных пластов / Л.В. Кузнецова, Б.А. Анферов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001. – 151 с.
4. Zbigniew Rak [& other]. 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> (дата обращения: 17.05.2021).
5. Wu, Y.; Liu, K.; Yun, D.; Xie, P.; Wang, H. Research progress on the safe and efficient mining technology of steeply dipping seam. *J. China Coal Soc.* 2014, 39, 359-364.
6. Deng, Y.; Wang, S. Feasibility analysis of gob-side entry retaining on a working face in a steep coal seam. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2014, 24, 499-503.
7. 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.
8. Likar, J.; Medved, M.; Lenart, M.; Mayer, J.; Malenković, 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> (дата обращения 18.05.2021)
9. 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.
10. Xiaomeng, L.; Zhaohui, W.; Jinwang, Z. Stability of roof structure and its control in steeply inclined coal seams. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2017, No 27, P. 359-364.
11. Rak, Z. Mechanised sublevel caving systems for winning thick and steep hard coal beds. In *International Mining Forum 2010: Mine Safety and Efficient Exploitation Facing Challenges of the 21 Century*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2010; pp. 361-370.
12. Клишин, В.И. Механизированная отработка мощных крутых пластов под этажами с управляемым выпуском угля / В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, С.В. Клишин // Уголь. – 2014. № – 11 (1064). – С. 8-11.
13. Клишин В.И. Крепь для отработки мощных крутых пластов угля подэтажной выемкой / В.И. Клишин, Д.И. Кокоулин. Пат. РФ RU160742U1, МПК E 21D/00 (2006/01). Оpubл. 20.03.2016, бюл. № 8.
14. Журавлев, С.С. Модельно-ориентированный алгоритм управления шагающей крепи при интеграции концепции мобильное место оператора / С.С. Журавлев [и др.] // Сб. трудов: Девятая Всероссийская науч.-практич. конф. По имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. ИММОД 2019, Екатеринбург, 16-18 октября 2019 г. С. 415-420.
15. Степаненко, А.Н. Бурошнековая выемка крутых мощных пластов Ткибули-Шаорского каменноугольного месторождения / А.Н. Степаненко, А.О. Герасько // Уголь Украины. – 2013. – Ноябрь. – С. 29-31.
16. Шаровар, И.И. Перспективные технологии агрегатной выемки крутых угольных пластов / И.И. Шаровар [и др.] // Горная промышленность. – 2009. – № 1. – С. 60. URL: <https://mining->

media.ru/ru/article/podzemn/693-perspektivnye-tekhnologii-agregatnoj-vyemki-krutykh-ugolnykh-plastov (дата обращения: 20.05.2021 г.).

17. Есина, Е.К. Развитие методов геомеханического обеспечения скважинной гидродобычи угля. Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Москва, Инст. проблем компл. освоения недр. 2010 г., 142 с.

18. Дорофеев, О.А. Подземная газификация твердого топлива / О.А. Дорофеев, М.А. Зарецкая // Новые идеи нового века. – 2020. – Т. 3. – С. 326-332.

19. Гридин, С.В. Анализ перспектив и методов использования газогенераторного газа с целью разработки энергоэффективных решений по экономии энергоресурсов / С.В. Гридин, С.А. Вертела // Альтернативные источники энергии. – 2013. – № 8 (114). – С. 31-40. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-perspektiv-i-metodov-ispolzovaniya-gazogeneratornogo-gaza-s-tselyu-razrabotki-energoeffektivnyh-resheniy-po-ekonomii/viewer> (дата обращения: 20.05.2021 г.).

20. Каренов, Р.С. Приоритеты совершенствования процесса угледобычи в отрасли путем реализации инновационных технологий и достижений науки в создании инновационного горного оборудования // Вестник КарГУ. – 2015. URL: <https://articlekz.com/article/13024> (дата обращения: 19.05.2021).

21. Ильин, А.И. Состояние и перспективы механизации отработки крутых и крутонаклонных угольных пластов / А.И. Ильин, Г.В. Андреев // Уголь Украины. – Октябрь. – С. 41-45.

22. Пат. 2461713, RU, МПК E21C 41/18. Способ разработки мощного крутонаклонного угольного пласта полосами по падению / ИУ СО РАН; Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова. – Оpubл. 20.09.2012, Бюл. № 26.

23. Пат. 2527852, RU, МПК E21C 41\18, E21C 35/24. Способ разработки мощного крутонаклонного угольного пласта полосами по падению / ИУ СО РАН; Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова. – Оpubл. 10.09.2014, Бюл. № 25.

24. Пат. 2709903, RU, МПК E21C 41/18. Способ разработки мощного крутого пласта с выпуском угля вышележащей толщи / ФИЦ УУХ СО РАН; В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова. – Оpubл. 23.12.2019, Бюл. № 36.

25. Пат. 2709894, RU, МПК E21D 23/00. Секция механизированной крепи с устройством выпуска угля / ФИЦ УУХ СО РАН; В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова. – Оpubл. 23.12.2019, Бюл. № 36.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-91-101

UDS 622.272

DEVELOPMENT OF HARD-TO-REMOVE COAL RESERVES OF STEEP AND STEEPLY INCLINED SEAMS

Boris A. Anfyorov,

C.Sc. in Engineering, Leading Researcher, 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.



Article info

Received:

06 June 2021

Abstract.

The urgency of the discussed issue. In Russia, due to low efficiency, all mines in the Kuznetsky, Kizelovsky, Pechersky, Donetsky basins and Sakhalin fields, developing steep and steeply inclined coal seams, were closed. This is due to high labor costs, low productivity, complexity of operation and the need for the constant presence of people at the face to perform complex technological operations and control rock pressure.

Revised:
30 September 2021

Accepted:
25 October 2021

Keywords: coal, hard-to-recover reserves, steep and steeply inclined seams, mining technology, preparation and development scheme

The main aim of the study. Creation of effective and safe technologies for the development of thick steep and steeply inclined coal seams without the constant presence of people at the working face on the basis of robotic equipment complexes.

The methods used in the study. Generalization and analysis of existing technologies for the development of steep and steeply inclined coal seams.

The results. For Russia, the development of deposits with hard-to-recover coal reserves is a promising area, primarily with thick steep and steeply inclined seams. The technology of coal mining from thick steep and steeply inclined seams without the constant presence of people at the working face can be carried out by cutting the extraction field using the turn-around rooms of the shearer, which allows the use of mobile mechanization equipment in the mining process. Technological schemes for the preparation and development of the extraction field have been developed, which allow the use of mobile means of mechanization of mining operations with elements of robotization and ensure the release of coal from the overlying strata.

For citation Anfyorov B.A., Kuznetsova L.V. Development of hard-to-remove coal reserves of steep and steeply inclined seams. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, no.5 (147), pp. 91-101. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-91-101

REFERENCES

1. Kiselev, E. Razvitie tekhnologiy izvlecheniya trudnoizvlekaemykh zapasov proydet evolyutsiyu [The development of technologies for the extraction of hard-to-recover reserves will evolve]. 2017. URL: <https://tass.ru/interviews/4141948> (accessed 12.05.2021).
2. Mel'nik V.V. Opyt otrabotki krutykh ugol'nykh plastov [Experience in mining steep coal seams] / V.V. Mel'nik [and other] // Gornyy informatsionno analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL]. 2018. No 11. P. 18-38.
3. Kuznetsova, L.V. Informatsionno-logicheskaya sistematizatsiya i sovershenstvovanie tekhnologiy razrabotki ugol'nykh plastov [Information and logical systematization and improvement of technologies for the development of coal seams] / L.V. Kuznetsova, B.A. Anferov. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2001. 151 p.
4. Zbigniew Rak [& other]. Technical Aspects of Mining Rate Improvement in Steeply Inclined Coal Seams: A Case Study. *Resources* 2020, 9(12), 138 p. URL: <http://www.mdpi.com/journal/resources> (accessed 17.05.2021).
5. Wu, Y.; Liu, K.; Yun, D.; Xie, P.; Wang, H. Research progress on the safe and efficient mining technology of steeply dipping seam. *J. China Coal Soc.* 2014, 39, P. 359-364.
6. Deng, Y.; Wang, S. Feasibility analysis of gob-side entry retaining on a working face in a steep coal seam. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2014, No 24, 499-503.
7. Wang, J.; Wei, W.; Zhang, J. Theoretical description of drawing body shape in an inclined seam with longwall top coal caving mining. *Int. J. Coal Sci. Technol.* 2019, No 7, P. 82–195. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40789-019-00286-z> (accessed 18.05.2021).
8. Likar, J.; Medved, M.; Lenart, M.; Mayer, J.; Malenkovi'c, V.; Jeromel, G.; Dervari'c, E. Analysis of geomechanical changes in hanging wall caused by longwall multi top caving in coal mining. *J. Min. Sci.* 2012, No 48, P. 135-145.
9. 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, No 50, P. 94-101.
10. Xiaomeng, L.; Zhaohui, W.; Jinwang, Z. Stability of roof structure and its control in steeply inclined coal seams. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2017, No 27, P. 359-364.
11. Rak, Z. Mechanised sublevel caving systems for winning thick and steep hard coal beds. In *International Mining Forum 2010: Mine Safety and Efficient Exploitation Facing Challenges of the 21 Century*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2010; P. 361-370.
12. Klishin, V.I. Mekhanizirovannaya otrabotka moshchnykh krutykh plastov pod etazhami s upravlyaemym vypuskom uglya [Mechanized mining of thick steep seams under floors with controlled coal discharge] / V.I. Klishin, G. Yu. Opruk, S.V. Klishin // *Ugol' [Ugol]*. – 2014. No 11 (1064). P. 8-11.
13. Klishin V.I. Krep' dlya otrabotki moshchnykh krutykh plastov uglya podetazhnoy vyemkoy [Support for mining thick steep coal seams by sublevel excavation] / V.I. Klishin, D.I. Kokoulin. Pat. RU160742U1, MPK E 21D/00 (2006/01). Published 20.03.2016, Byul. No 8.
14. Zhuravlev, S.S. Model'no-orientirovanny algoritm upravleniya shagayushchey krep'i pri integratsii kontseptsii mobil'noe mesto operatora [Model-based walking support control algorithm when integrating the concept of a mobile

operator's seat] / S.S. Zhuravlev [and other] // Sb. trudov: Devyataya Vserossiyskaya nauch.-praktich. konf. Po imitatsionnomu mo-delirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti. IMMOD 2019 [Ninth All-Russian Scientific and Practical conf. On simulation modeling and its application in science and industry. IMMOD 2019], Ekaterinburg, 16-18 October 2019. P. 415-420.

15. Stepanenko, A.N. Buroshnekovaya vyemka krutykh moshchnykh plastov Tkibuli-Shaorskogo kamennougol'nogo mestorozhdeniya [Auger excavation of steep thick seams of the Tkibuli-Shaorsky coal deposit] / A.N. Stepanenko, A.O. Geras'ko // Ugol' Ukrainy [Coal of Ukraine]. – 2013. – November. – P. 29-31.

16. Sharovar, I.I. Perspektivnye tekhnologii agregatnoy vyemki krutykh ugol'nykh plastov [Advanced technologies for aggregate mining of steep coal seams] / I.I. Sharovar [i dr.] // Gornaya promyshlennost'. – 2009. – No 1. – P. 60. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/podzemn/693-perspektivnye-tekhnologii-agregatnoj-vyemki-krutykh-ugolnykh-plastov> (accessed 20.05.2021).

17. Esina, E.K. Razvitie metodov geomekhanicheskogo obespecheniya skvazhinnoy gidrodobychi uglya [Development of methods for geomechanical support of downhole coal mining]. Dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk. Moskva, Inst. problem kompl. osvoeniya nedr. 2010, 142 p.

18. Dorofeev, O.A. Podzemnaya gazifikatsiya tverdogo topliva [Underground gasification of solid fuels] / O.A. Dorofeev, M.A. Zaretskaya // Novye idei novogo veka [New ideas of the new century]. – 2020. – V. 3. – P. 326-332.

19. Gridin, S.V. Analiz perspektiv i metodov ispol'zovaniya gazogeneratornogo gaza s tselyu razrabotki energoeffektivnykh resheniy po ekonomii energoresursov [Analysis of the prospects and methods of using gas generator gas in order to develop energy-efficient solutions to save energy resources] / S.V. Gridin, S.A. Vertela // Alternativnye istochniki energii [Alternative energy sources]. – 2013. – No 8 (114). – P. 31-40. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-perspektiv-i-metodov-ispolzovaniya-gazogeneratornogo-gaza-s-tselyu-razrabotki-energoeffektivnykh-resheniy-po-ekonomii/viewer> (accessed 20.05.2021)

20. Karenov, R.S. Prioritety sovershenstvovaniya protsessa ugledobychi v otrasli putem realizatsii innovatsionnykh tekhnologiy i dostizheniy nauki v sozdanii innovatsionnogo gornogo oborudovaniya [Priorities for improving the coal mining process in the industry through the implementation of innovative technologies and scientific achievements in the creation of innovative mining equipment] // Vestnik KarGU [Messenger KarGU]. – 2015. URL: <https://articlekz.com/article/13024> (accessed 19.05.2021).

21. Il'in, A.I. Sostoyanie i perspektivy mekhanizatsii otrabotku krutykh i krutonaklonnykh ugol'nykh plastov [State and prospects of mechanization mining of steep and steeply inclined coal seams] / A.I. Il'in, G.V. Andreev // Ugol' Ukrainy [Coal of Ukraine]. – October. – P. 41-45.

22. Pat. [Invention] 2461713, RU, MPK E21C 41/18. Sposob razrabotki moshchnogo kruto-naklonnogo ugol'nogo plasta polosami po padeniyu [Method of development of a thick steeply inclined coal seam in strips along the dip] / FRC CCC SB RAS; B.A. Anferov, L.V. Kuznetsova. – published 20.09.2012, bulletin No26.

23. Pat. [Invention] 2527852, RU, MPK E21C 41\18, E21C 35/24. Sposob razrabotki moshchnogo krutonaklonnogo ugol'nogo plasta polosami po padeniyu [Method of development of a thick steeply inclined coal seam in strips along the dip] / FRC CCC SB RAS; B.A. Anferov, L.V. Kuznetsova. – Published. 10.09.2014, bulletin No 25.

24. Pat. [Invention] 2709903, RU, MPK E21C 41/18. Sposob razrabotki moshchnogo krutogo plasta s vypuskom uglya vyshelzhashchey tolshchi [A method of developing a thick steep seam with the release of overlying coal] / FRC CCC SB RAS; V.I. Klishin, B.A. Anferov, L.V. Kuznetsova. – Published 23.12.2019, Byul. № 36.

25. Pat. [Invention] 2709894, RU, MPK E21D 23/00. Sektsiya mekhanizirovannoy krepki s ustroystvom vypuska uglya [Roof support section with coal discharge device] / FRC CCC SB RAS; V.I. Klishin, B.A. Anferov, L.V. Kuznetsova. – Published 23.12.2019, Byul. № 36.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.