

Технология подземной разработки мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-41-49>

Отмечено, что к числу перспективных технологий отработки мощных (5-12 м) пологих угольных пластов относятся технологии с выпуском угля из подкровельной пачки. Рассмотрены факторы, влияющие на эффективность использования этих технологий в условиях шахт угольного бассейна Куангнинь (Вьетнам) при отработке пластов с низкими прочностными характеристиками. Отмечено, что отработка таких пластов характеризуется повышенной интенсивностью самопроизвольных высыпаний в призабойное пространство лавы больших масс угля из подкровельной пачки и забоя лавы, что оказывает существенное отрицательное влияние на безопасность горных работ, производительность труда и себестоимость добычи угля. Приведены данные о параметрах самопроизвольных обрушений угля. Показано, что существенное влияние на интенсивность обрушений угля из забоя лавы и подкровельной пачки оказывают стадия процесса деформирования труднообрушающихся пород основной кровли и скорость продвижения очистного забоя. Предложены технологические схемы отработки пластов угля с низкими прочностными характеристиками, включающие увлажнение угля впереди забоя лавы шахтной водой или растворами на основе шахтной воды.

Ключевые слова: мощный пласт, низкие прочностные характеристики угля, призабойное пространство лавы, подкровельная пачка, самопроизвольные обрушения угля, нагнетание воды в пласт, технологические схемы.

Для цитирования: Зубов В.П., Тхан Ван Зуи, Федоров А.С. Технология подземной разработки мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками // Уголь. 2023. № 5. С. 41-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-41-49.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

В настоящее время характерной для угледобывающих стран мира является постоянная интенсификация подземных горных работ, связанная с совершенствованием очистного и проходческого оборудования и увеличением объемов добычи, что приводит к сокращению сроков отработки вскрытых запасов и необходимости перехода работ на более глубокие горизонты. Средние скорости увеличения глубины достигают 16-17 м в год.

В условиях социально-рыночного механизма развития угольных компаний [1, 2] адаптация производства к новым условиям ведения

ЗУБОВ В.П.

Доктор техн. наук,
профессор кафедры РМПИ,
Санкт-Петербургского горного университета,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: spggi.zubov@mail.ru

ТХАН ВАН ЗУИ

Аспирант кафедры РМПИ
Санкт-Петербургского горного университета,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: thanduyvp@gmail.com

ФЕДОРОВ А.С.

Доцент кафедры РМПИ
Санкт-Петербургского горного университета,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: plyton213@gmail.com

* Исследования выполнены в Санкт-Петербургском горном университете в рамках научной школы «Разработка месторождений твердых полезных ископаемых».

горных работ, характеризующимся, в частности, более высокими уровнями напряжений во вмещающем массиве, как правило, сопровождается экономическими потерями, повышением рисков невыполнения производственных заданий, снижением безопасности горных работ, повышением эксплуатационных потерь угля [3, 4, 5].

К числу перспективных технологий отработки мощных (5-12 м) пологих угольных пластов относят технологии очистных работ с выпуском угля из подкровельной угольной пачки на завальный конвейер [6, 7, 8, 9]. При использовании данной технологии пласт отрабатывают на полную мощность. При этом его разделяют на два слоя – подсечной, расположенный у почвы пласта, и подкровельный слой. Мощность подсечного слоя обычно принимают равной 2,2-2,5 м, мощность подкровельного слоя – до 10 м.

Как следует из практического опыта работы шахт России (шахты: им. В.И. Ленина, «Ольжерасская-Новая» и др.), КНР (шахты: «Сунлоу», «Жэнган», «Люцзялян» и др.), Вьетнама (шахты: «Халам», «Вангзань», «Хечам», «Нуибео», «Монгзыонг», «Уонгби» и др.), Румынии и Казахстана, по сравнению с разработкой пластов наклонными слоями данная технология позволяет существенно уменьшить объемы подготовительных работ, капитальные и эксплуатационные затраты. Комплексно-механизированная технология очистных работ с выпуском подкровельной пачки за последние 10-15 лет получила наибольшее развитие на шахтах КНР, Вьетнама [9, 10, 11] с применением крепей поддерживающе-оградительного типа с активным управлением завальным конвейером и ограждением.

Вместе с тем с увеличением глубины горных работ актуализируются вопросы, связанные с предотвращением опасных самопроизвольных обрушений угля в призабойном пространстве лав подсечного слоя (рис. 1) [12, 13]. Наибольшую актуальность эти вопросы приобретают при отработке угольных пластов с низкими прочностными характеристиками.

В данной статье приведены результаты исследований указанных вопросов для условий отработки угольных пла-

стов 7, 9, 10 и 14-5 на шахтах угольного бассейна Куангнинь с общими балансовыми запасами около 165 млн т.

Указанные пласты, называемые во Вьетнаме пластами с «мягкими» углями [14], характеризуются следующими физико-механическими характеристиками: предел прочности при одноосном сжатии – 1,11-4,8 МПа; предел прочности при растяжении – 0,34-1,87 МПа; сила сцепления – 0,68-2,04 МПа; угол внутреннего трения – 8,5-16,8. Угольные пласты состоят из большого количества слоев толщиной 5–50 мм, с малым коэффициентом трения между отдельными слоями, низкой влажностью и малым коэффициентом сцепления [14].

Низкая устойчивость угольного массива при его обнажении очистными работами и связанные с этим самопроизвольные динамические обрушения угля из подкровельной пачки и из забоя лавы приводят к снижению безопасности труда горнорабочих и экономических показателей очистных работ [14, 15, 16]. Доля производственного травматизма, связанного с обрушениями угля в призабойном пространстве лав, является максимальной (более 35%) по сравнению с другими причинами несчастных случаев [12]. Необходимость ликвидации отрицательных последствий обрушений угля приводит, как правило, к снижению скорости подвигания лав, а следовательно, и к невосполнимым потерям добычи угля, доля которых составляет 15-25% и более.

Целью данных исследований являлось обоснование технологии разработки мощных (5-12 м) пологих пластов угля с низкими прочностными характеристиками, обеспечивающей снижение интенсивности самопроизвольных обрушений угля из забоя лавы и подкровельной пачки в призабойное пространство.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены при использовании системы разработки пластов длинными столбами с выемкой лавы по простиранию. В исследованных ситуациях скорости подвигания лав составляли 6,0-73,8 м/мес.; длина выемочных столбов – от 200 до 800 м; длина лав – 50-150 м; углы залегания разрабатываемых пластов – 5-35 град.; мощности пластов – 3-20 м; глубина работ – 300-650 м [17].

Шахтные исследования в условиях отработки пластов угольного бассейна Куангнинь показали [12, 14], что к числу особенностей самопроизвольного обрушения (высыпания) угля при отработке пластов с низкими прочностными характеристиками относятся: отсутствие явных предупредительных признаков начала процесса обрушения; обрушения угля происходят в короткие промежутки времени, исчисляемые секундами; низкая влажность обрушившейся угольной массы (0,8-1,3%); обрушившийся уголь в навале характеризуется фракциями до 2-4 мм (не менее 95%); небольшой угол (до 30 град.) естествен-

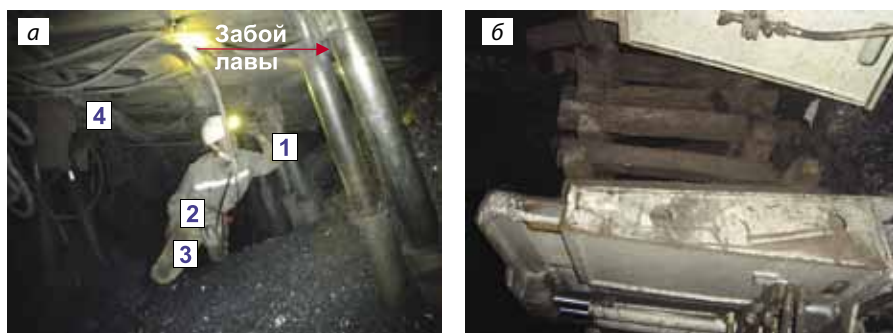


Рис. 1. Самопроизвольное обрушение угля в призабойном пространстве лав, оборудованных: а – крепью GK1600/1.6/2.4/HT; б – механизированной крепью ZZ-3200/16/26: 1 – стойка крепи GK1600/1.6/2.4/HT, 2 – перекрытие механизированной крепи ZZ-3200/16/26, 3 – навал угля после обрушения подкровельной пачки и забоя лавы, 4 – костер из деревянных стоек

Fig. 1. Spontaneous caving of coal in the near-face zone of longwall faces equipped with: а – the GK1600/1.6/2.4/HT support; б – the ZZ-3200/16/26 powered roof support: 1 – GK1600/1.6/2.4/HT support post; 2 – ZZ-3200/16/26 powered roof support canopy; 3 – coal muckpile after caving of the top coal and longwall face; 4 – chock of wooden poles

ного откоса обрушившейся угольной массы в движении.

Масса угля, поступающего в призабойное пространство лавы, при разовом самопроизвольном обрушении угля из забоя и покровельной пачки составляет 1,5-2,0 т и более, высота полостей над перекрытием крепи достигает мощности подкровельного слоя (до 2,5 м и более), ширина зоны высыпания угля впереди забоя лавы составляет до 2-3 мощностей подсечного слоя.

В качестве конкретного примера отрицательного влияния обрушений угля в призабойном пространстве лав рассмотрим результаты исследований, проведенных непрерывно в течение трех месяцев (рис. 2) в лаве № 14-5.5 шахты «Хечам».

Лавы № 14-5.5 была оборудована механизированным комплексом ZZ-3200/16/26 (комбайн MG150/375-W). Мощность подсечного слоя составляла 2,2 м, подкровельного – 4,2 м. Глубина залегания пласта от поверхности – 250-330 м. Угольный пласт характеризовался следующими параметрами: естественная влажность угля – 0,8-1,3%; плотность угля – 1,31-1,38 г/см³; предел прочности угля при одноосном сжатии – от 1,11 до 4,8 МПа; предел прочности угля при одноосном растяжении – 0,34-1,87 МПа; угол внутреннего трения – 8,5-16,8 град.

В течение трех месяцев наблюдений в лаве № 14-5.5 постоянно происходили самопроизвольные высыпания угля из забоя лавы на глубину 1,0-2,5 м, сопровождавшиеся обрушениями подкровельного слоя на высоту 0,8-1,8 м. Суммарная длина участков, в пределах которых происходили опасные обрушения угля, достигала 40-60% длины забоя лавы. Устранение последствий крупных обрушений проводилось 8-12 смен.

Анализ результатов выполненных шахтных исследований показал, что при использовании механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа, обеспечивающих практически полное перекрытие кровли в призабойном пространстве лавы, процесс формирования аварийной ситуации начинается, как правило, с высыпания угля из забоя лавы. При этом происходит обнажение подкровельной пачки угля впереди забоя лавы на глубину до 1,5-2,5 м и ее самопроизвольное обрушение с высыпанием мелкофракционного угля в призабойное пространство лавы. Высыпание угля из забоя лавы в ее призабойное пространство приводит не только к преждевременному обнажению подкровельного слоя, но и к запаздыванию его крепления. В результате, образовавшаяся в кровле полость, развивается над соседними секциями крепи, следствием чего является усложнение процесса передвижки секций. На практике эту задачу решают путем установки в образовавшихся пустотах костров из деревянных стоек.

К числу факторов, оказывающих влияние на интенсивность обрушений угля в призабойном пространстве лавы,

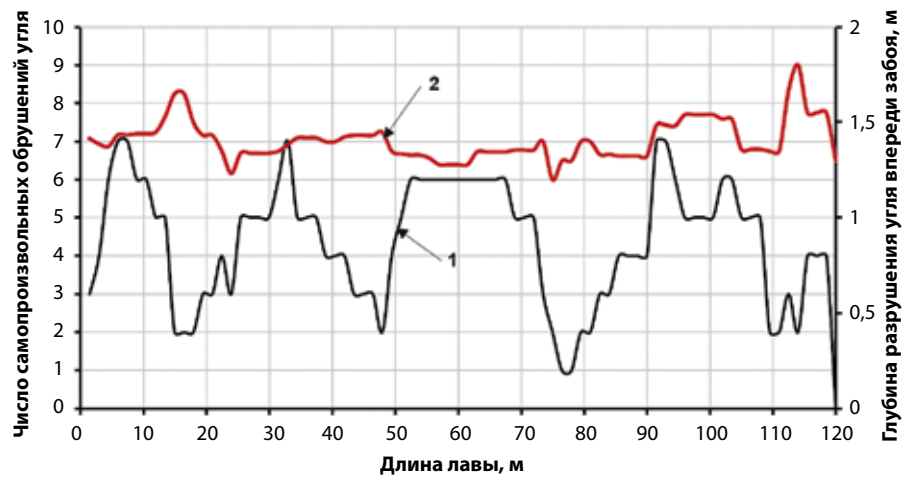


Рис. 2. Распределение параметров самопроизвольных обрушений угля по длине лавы № 14-5.5 угольной шахты «Хечам»: 1 – число самопроизвольных обрушений угля, 2 – глубина разрушения угля впереди забоя

Fig. 2. Distribution of parameters of spontaneous coal caving along the length of face No. 14-5.5 in the Hecham coal mine: 1 – the number of spontaneous coal cavings, 2 – the depth of coal fracture ahead of the face

относятся также стадия процесса деформирования труднообрушающихся пород основной кровли в выработанном пространстве лавы и скорость подвигания очистного забоя. В работах проф. А.А. Борисова в процессе деформирования основной кровли выделены две стадии: стадия деформирования и стадия осадки (обрушения). Максимальная интенсивность рассматриваемого процесса, характеризуемая глубиной распространения зоны разрушенного угля впереди забоя лавы и высотой полостей над перекрытиями крепи, наблюдается непосредственно в стадии осадки основной кровли и последующих 5-6 выемочных циклов после полного ее обрушения. В стадии деформирования интенсивность обрушений угля в призабойном пространстве лавы характеризуется минимальными значениями, установленными за «цикл деформирование – осадка» основной кровли. Аварийные ситуации на средних участках по длине лав наиболее вероятны через промежутки времени, примерно равные продолжительности процесса деформирования основной кровли. На участках лав длиной до 15-30 м, прилегающих к участковым выработкам, зависимости показателей интенсивности обрушений угля в лавах от стадии процесса деформирования основной кровли не установлены.

Уменьшение скорости подвигания лавы, при прочих равных условиях, оказывает отрицательное влияние на устойчивость забоя лавы и подкровельной пачки. Резкое увеличение частоты самообрушений угля в призабойном пространстве лавы наблюдается после простоев лавы.

О трудности решения вопросов предотвращения самопроизвольных обрушений (высыпаний) «мягких» углей убедительно свидетельствует также практический опыт проходки подготовительных выработок по пласту 14-5 на шахте «Хечам». Применение в качестве затяжки металлических решеток с размерами ячеек 10×10 см не исключало интенсивного высыпания угля из кровли выработки. Положительный эффект был достигнут только после

прокладки между кровлей и металлическими решетками бамбукового полотна.

Принимая во внимание установленные особенности формирования процесса обрушения угля в призабойном пространстве лавы и имеющийся практический опыт отработки пластов с углями и вмещающими породами, характеризующимися низкими прочностными характеристиками, сделан вывод о том, что предотвращение этих опасных случайных событий путем изменения конструкций и параметров механизированных крепей очистного забоя не позволит получить существенных положительных эффектов. Эти мероприятия так же, как и сооружение костров на перекрытиях крепи (см. рис. 1, б), не устраняют причин самопроизвольных обрушений забоя лавы и подкровельного слоя.

Условия для снижения интенсивности обрушения «мягких» углей в призабойном пространстве лавы могут быть созданы при применении превентивных мероприятий, позволяющих повысить устойчивость угольных массивов (как конструкций) впереди забоя лавы и в подкровельной пачке до обнажения их очистными работами.

Известны технологии [18, 19, 20, 21], включающие повышение устойчивости трещиноватых массивов путем нагнетания в них химических составов, обычно полиуретановых коллоидных смесей. Используемые составы включают в себя два основных компонента: добавки, позволяющие раствору расширяться и адгезивные пластиковые компоненты. Перед использованием эти ингредиенты хранятся в отдельных емкостях. При использовании они смешиваются насосным оборудованием и нагнетаются под высоким давлением в области массива, которые необходимо укрепить. Время начала реакции составляет 30-60 с, время окончания реакции – 60-140 с.

Использование данного способа в условиях отработки пластов с низкими прочностными характеристиками позволяет повысить устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя [18]. Однако его техническая результативность и область рационального использования по экономическим показателям в длинных очистных забоях существенно снижаются по следующим причинам:

- невозможность, из-за малой продолжительности реакции химической смеси (60-140 с), надежной подачи химических составов в среднюю часть обрабатываемого столба по скважинам длиной до 80 м, пробуренным из подготовительных выработок,

- значительные затраты на химикаты, что существенно увеличивает себестоимость добычи угля;

- при нагнетании в угольный пласт полимерных составов снижается качество угля, а следовательно, и его цена.

Следует также отметить, что химическая реакция в полиуретановых коллоидных смесях, в результате которой они отвердевают и превращаются в прочную пленку, начинается после взаимодействия смеси с водой. Вместе с тем угольные пласты с «мягкими» углями на шахтах угольного бассейна Куангнинь характеризуются низкой (0,8-1,3%) влажностью. Ответ на вопрос о достаточности воды в таких пластах для обеспечения устойчивого отвердевания полиуретановых коллоидных смесей в настоящее время отсутствует.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ УГЛЯ С НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Основным требованием к разрабатываемым рекомендациям являлось обеспечение устойчивого состояния забоя лавы и подкровельного слоя в течение выемочного цикла.

Сущность разработанных рекомендаций заключается в следующем. С определенным опережением забоя лавы в угольный пласт нагнетается состав (растворы) на основе шахтной воды, позволяющий увеличить силы сцепления между отдельными частицами угля, перешедшего в предельное состояние под воздействием напряжений в зоне опорного давления, и повысить тем самым устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя.

В зависимости от параметров системы разработки пласта и скорости подвигания лавы в условиях выемки пластов с «мягкими» углями рекомендуются технологические схемы, представленные на рис. 3 и рис. 4.

Технологическая схема, представленная на рис. 3, предназначена для использования при отработке пластов угля механизированными комплексами. При реализации данной схемы с определенным опережением забоя лавы в угольный пласт через скважины 7 и 8 нагнетается шахтная вода (растворы на основе шахтной воды). Скважины пробуривают под углом $\beta = 12-17^\circ$ к линии очистного забоя. Длину скважин принимают из условия обеспечения увлажнения угольного пласта по всей площади обрабатываемого выемочного столба.

На рис. 3 и рис. 4 красными линиями заштрихованы участки выемочного столба с повышенным разрушением угля и максимальной вероятностью самопроизвольных обрушений забоя лавы и подкровельной пачки. Эти участки находятся под трещинами разлома б, возникающими в основной кровле при ее осадках. Ширина участков (m) примерно равна $2-2,5 h_1$, при этом $x_1 \approx h_1$, $x_2 \approx 1,5 h_1$.

При подходе лав к данным участкам очистные работы рекомендуется вести с максимально возможной скоростью подвигания лавы. Не исключается необходимость проведения на рассматриваемых участках дополнительных мероприятий по повышению устойчивости угольных обнажений.

Основными параметрами рекомендуемых схем (см. рис. 3, рис. 4), от правильности определения которых зависит их техническая и экономическая эффективность, являются:

- содержание воды (%) в разрушенном угле, обеспечивающее наибольшее сцепление отдельных частиц угля;

- расстояние между скважинами;

- величина угла b между осями скважин и линией очистного забоя.

Исследования влияния влажности на сцепление «мягких» углей проведены в лаборатории физико-механических свойств и разрушения горных пород Санкт-Петербургского горного университета. Для проведения исследований использован уголь, отобранный из забоев лав на глубинах 260-300 м при отработке пласта 14-5 шахты «Хечам». Для сохранения естественной влажности (0,8-1,3%) образцы угля сразу после их извлечения из пласта размещались во влагонепроницаемых пакетах.

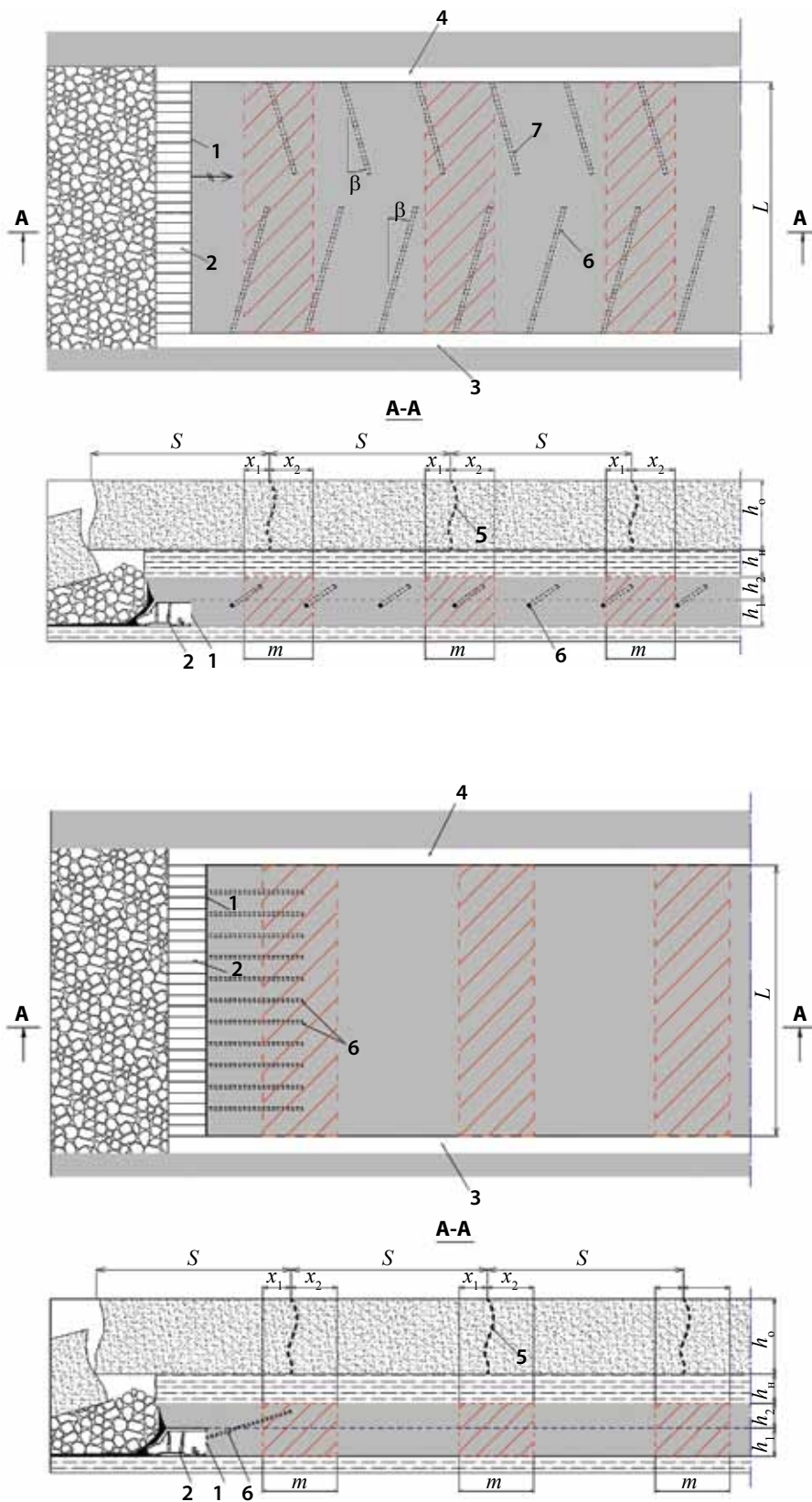


Рис. 3. Технологическая схема отработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 1): 1 – забой лавы, 2 – механизированная крепь, 3, 4 – транспортный и вентиляционный штреки, 5 – трещины в основной кровле, 6, 7 – скважины, L – длина лавы, S – установившийся шаг обрушения основной кровли, h_1 , h_2 , h_n и h_o – соответственно мощность подсечного слоя, подкровельной пачки, непосредственной кровли и основной кровли

Fig. 3. Process flow diagram for mining a coal seam with low strength properties (Option 1): 1 – longwall face; 2 – powered roof support; 3, 4 – haulage and ventilation drifts; 5 – cracks in the main roof; 6, 7 – boreholes; L – length of the longwall face; S – steady-state main roof caving increment, h_1 , h_2 , h_n and h_o – thickness of the undercut layer, top-coal layer, immediate roof and the main roof, respectively

Рис. 4. Технологическая схема отработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 2): 1 – забой лавы, 2 – механизированная крепь, 3, 4 – транспортный и вентиляционный штреки, 5 – трещины в основной кровле, 6 – скважина, L – длина лавы, S – установившийся шаг обрушения основной кровли, h_1 , h_2 , h_n и h_o – соответственно мощность подсечного слоя, подкровельной пачки, непосредственной кровли и основной кровли

Fig. 4. Process flow diagram for mining a coal seam with low strength properties (Option 2): 1 – longwall face; 2 – powered roof support; 3, 4 – haulage and ventilation drifts; 5 – cracks in the main roof; 6 – boreholes; L – length of the longwall face; S – steady-state main roof caving increment, h_1 , h_2 , h_n and h_o – thickness of the undercut layer, top-coal layer, immediate roof and the main roof, respectively

Величину силы сцепления угля определяли в соответствии с методикой, приведенной в работе [22]. Для экспериментов использовались два варианта воды: водопроводная и водопроводная с растворенной в ней каменной солью.

Результаты экспериментов показали, что при использовании воды без соли увеличение влажности от 1,1 до 15% приводит к постепенному увеличению силы сцепления угля (рис. 5). Дальнейшее увеличение влажности до 20-25% снижает силы сцепления угля.

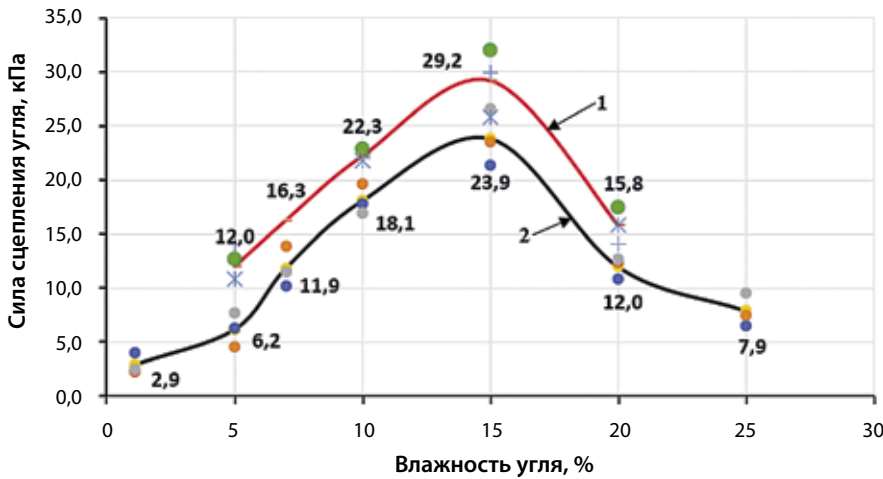


Рис. 5. Влияние влажности угля на силу сцепления «мягких» углей при продолжительности увлажнения, равной 4–5 часов: 1 – вода без добавок, 2 – вода с растворенной в ней каменной солью

Fig. 5. Effect of coal humidity on the cohesion strength of the soft coals with the water infusion time of 4-5 hours: 1 – water without additives, 2 – water with dissolved rock salt

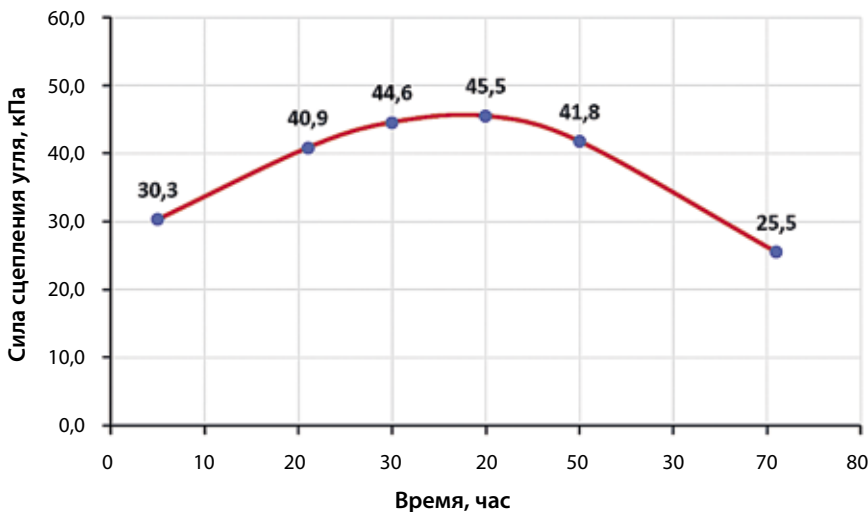


Рис. 6. Влияние продолжительности увлажнения на силу сцепления угля с влажностью 15%

Fig. 6. Effect of the water infusion time on the cohesion strength of coal with 15% humidity

В абсолютных величинах сила сцепления угля увеличилась с 2,9 кПа при влажности 1,1% до 23,9–29,2 кПа при влажности 15% и уменьшилась до 7,9 кПа при влажности 25%. При использовании воды с растворенной в ней каменной солью величина сцепления угля возрастает в 1,3–1,9 раза.

Влияние продолжительности увлажнения угля на силу сцепления «мягких» углей иллюстрируется графиком, представленным на рис. 6.

При построении данного графика продолжительность увлажнения угля изменялась от 5 до 70 ч. Влажность угля во всех случаях была равна 15%. Из графика следует, что наиболее высокие значения сцепления угля (от 40–45 кПа) наблюдаются при продолжительности его увлажнения от 30 до 45 ч. При этом вначале при увеличении продолжительности увлажнения угля от 5 до 20 ч силы

сцепления возрастают. При продолжительности увлажнения более 50 ч наблюдается существенное снижение сил сцепления. Так при продолжительности увлажнения, равной 70 ч, сила сцепления равна 25,5 кПа, что в 1,6–1,8 раза меньше величины соответствующего параметра, установленной при продолжительности увлажнения 30–45 ч.

Параболический характер зависимости между исследуемыми параметрами связан, по-видимому, с процессом испарения воды, что изменяет влажность угля и, как следствие этого, силу сцепления угля. Следует отметить, что аналогичный характер зависимости наблюдается между продолжительностью увлажнения угля и пределом его прочности на одноосное сжатие.

Исследование влияния влажности угля на устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя проведено в лабораторных условиях на модели, позволяющей воспроизводить типовые ситуации, возникающие в призабойном пространстве лав на различных этапах выемочного цикла: при выемке угля комбайном, при обнажении подкровельного слоя, при передвижке механизированной крепи. Лабораторные эксперименты проведены для горно-геологических условий отработки пласта 14-5 (шахта «Хечам») при различной влажности угля.

Результаты экспериментов показали, что при влажности угля до 7%, как правило, забой лавы самопроизвольно обрушается сразу после его обнажения. Средняя длина нарушенного участка лавы при одиночном обрушении ее забоя составляет 5–10 м, глубина распространения зоны разрушенного угля впереди забоя лавы примерно равна мощности подсекаемого слоя (2,2–2,5 м).

При влажности угля 10%, 15% и 20% обрушения забоя лавы не происходили. На моделях с влажностью угля более 20% наблюдались вытекание воды из забоя лавы и полное обрушение забоя при его обнажении.

Влияние увлажнения угля на устойчивость подкровельной пачки угля иллюстрируется графиком на рис. 7.

Как следует из данного графика, при увеличении влажности угля от 1–2 до 14–16% суммарная площадь вывалов угля S (в процентах от наблюдаемой поверхности) из подкровельной пачки постоянно снижается, достигая своего минимума при влажности 14–16%. При данной влажности обрушения угля из подкровельной пачки не были зафиксированы.

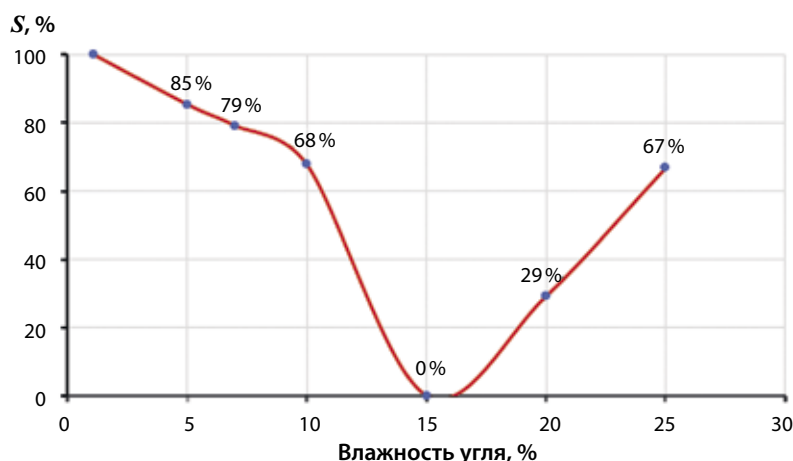


Рис. 7. Влияние влажности угля на суммарную площадь обрушения угля подкровельной пачки

Fig. 7. Effect of coal humidity on the total caving area of top coal

Рекомендуемые параметры нагнетания шахтной воды в пласт 14-5 (шахта «Хечам»)

Recommended parameters for mine water infusion into formation 14-5 (the Hecham mine)

Параметр	Значение
Расстояние между скважинами, м	16
Продолжительность нагнетания воды в скважину, ч	Более 40
Радиус увлажнения угольного пласта, м	10,8
Рекомендуемая влажность угля, %	14,0-16,0
Удельный расход шахтной воды на 1 м ³ угля, м ³	0,14-0,16
Темп нагнетания воды, м ³ /ч	90
Давление нагнетания воды, МПа	6-10

При увеличении влажности угля до 20-25% происходит насыщение угля водой, о чем свидетельствует появление воды, стекающей из подкровельной пачки в призабойное пространство лавы. При этом наблюдается существенное снижение устойчивости подкровельной пачки угля, суммарная площадь обрушений которой достигает 50% и более наблюдаемой поверхности кровли, а высота полостей, образовавшихся при этих обрушениях, во многих случаях равна мощности подкровельной пачки угля.

Анализ результатов выполненных исследований с учетом данных, приведенных в работах [23, 24], позволяет сделать следующие выводы относительно качественных и количественных параметров технологических схем (см. рис. 3, рис. 4), рекомендуемых для использования на шахтах угольного бассейна Куангнинь, обрабатывающих пласты 14-5 с «мягкими» углями.

При использовании данных технологических схем для увлажнения пласта рекомендуется использовать шахтную воду, нагнетание которой в пласт может быть произведено через скважины диаметром 45-100 мм, пробуренные в подкровельный слой пласта. Величину угла b между осями скважин и линией очистного забоя (см. рис. 6) рекомендуется применять равной 15°.

Расстояние между скважинами, определенное с учетом эффективного радиуса водопроницаемости угольного массива при нагнетании в него воды [23], составляет 16 м.

В качестве примера в таблице приведены результаты определения основных параметров нагнетания шахтной воды в угольный пласт 14-5 (шахта «Хечам»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К числу актуальных проблем при разработке мощных (5-12 м) пологих угольных пластов с использованием прогрессивных технологий с выпуском угля относится предотвращение самопроизвольных высыпаний в призабойное пространство лав больших масс угля из подкровельной пачки и забоя лавы, оказывающих существенное отрицательное влияние на безопасность горных работ, производительность труда и себестоимость добычи угля. При отработке «мягких» углей на шахтах угольного бассейна Куангнинь суммарная длина участков, в пределах которых происходили опасные обрушения угля, достигает 40-60% длины лавы. Масса угля, поступающего в призабойное пространство лавы при разовом самопроизвольном обрушении угля из забоя и подкровельной пачки, составляет 1,5-2,0 т и более. С увеличением глубины горных работ актуальность данной проблемы возрастает.

Существенное влияние на интенсивность обрушений угля из забоя лавы и подкровельного слоя оказывают стадия процесса деформирования труднообрушающихся пород основной кровли и скорость подвигания очистного забоя: максимальная интенсивность обрушений наблюдается в периоды прохождения лавы под трещинами разлома в основной кровле, а также после возобновления очистных работ в лаве после ее простоя. Под трещинами разлома в основной кровле очистные работы рекомендуется вести с максимально возможной скоростью подвигания лавы.

Рекомендуемые технологические схемы отработки пластов угля с низкими прочностными характеристиками, включающие увлажнение угля впереди забоя лавы шахтной водой (или растворами на основе шахтной воды), позволяют уменьшить вероятность и параметры обрушений угля за счет увеличения сил сцепления угля. Наиболее высокие значения сцепления угля (от 40-45 кПа) для пласта 14-5.5 (шахта «Хечам») установлены при его влажности около 15% и продолжительности увлажнения от 30 до 45 ч. Следует подчеркнуть, что увеличение влажности от 15 до 20-25% снижает силы сцепления угля.

Список литературы

1. Рейшахрит Е.И., Невская М.А., Тьу Т.К. Анализ состояния, перспективы и проблемы угольной отрасли Вьетнама // Вестник Евразийской науки. 2021. Т. 13. С. 1-15.
2. Litvinenko V.S., Tsvetkov P.S., Molodtsov K.V. The social and market mechanism of sustainable development of public companies in the mineral resource sector // Eurasian Mining. 2020. No 1. P. 36-41. DOI: 10.17580/em.2020.01.07.

3. Зубов В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки горного института. 2017. № 225. С. 292-297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.
4. Karpov G.N., Kovalski E.R., Leisle A.V. Analytical studies of strain-stress distribution of rock massif at recovery room T-junctions // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. 2019. No 10(2). P. 596–607. DOI: 10.34218/IJARET.10.2.2019.056.
5. Семенцов В.В., Осминин Д.В., Нифанов Е.В. Устойчивость выемочных горных выработок при отработке пластов с труднообрушающимися кровлями // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 3. С. 14-25. DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.47.12.002.
6. Ярошенко В.В. Направления повышения коэффициента извлечения угля при доработке запасов Воркутского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № S7. С. 370-380. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-370-380.
7. Карпов Г.Н., Ковальский Е.Р., Смычник А.Д. Определение параметров разгрузки массива горных пород на концевых участках демонтажной камеры // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 8. С. 95-107. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-95-107.
8. Джонек-Ковальска И., Пономаренко Т.В., Маринина О.А. Проблемы взаимодействия со стейкхолдерами при реализации долгосрочных горных проектов // Записки Горного института. 2018. Т. 232. С. 428-437. DOI: 10.31897/PMI.2018.4.428.
9. Увеличение содержания крупных фракций в добываемой массе угля комбайном с использованием парных срезов / В.В. Габов, С.Н. Ван, Д.А. Задков и др. // Записки Горного института. 2022. № 257. С. 764-770. DOI:10.31897/PMI.2022.66.
10. Que Chu Thi, Nevskaya M., Marinina O. Coal Mines in Vietnam: Geological Conditions and Their Influence on Production Sustainability Indicators // Sustainability. 2021. No 13(21). 11800. DOI: 10.3390/su132111800.
11. Wang J. Development and prospect on fully mechanized mining in Chinese coal mines // International Journal of Coal Science & Technology. 2014. No 1. P. 253-260.
12. Increasing Productivity and Safety in Mining as a Chance for Sustainable Development of Vietnam's Mining Industry / Duong Duc Hai, Nguyen Le Duc, Trung Nguyen Duc et al. / Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. Springer Nature. 2021. P. 283-307. DOI:10.1007/978-3-030-60839-2-15.
13. Новоселов С.В., Мельник В.В., Агафонов В.В. Экспортно ориентированная стратегия развития угольных компаний России – основной фактор обеспечения их финансовой устойчивости // Уголь. 2017. № 11. С. 54-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-54-56.
14. Nguyen D.V., Nguyen H.P., Do T.M. Experimental study on the efficacy of water infusion for underground mining of a coal seam // Applied Sciences. 2019. No 9(18). 3820.
15. Research on mechanism and prevention technology of rib spalling in fully-mechanized coal mining face with soft and unstable seam / W. Lei, X. Li, W. Du et al. / In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. April 2019. No 252(5) P. 052065. IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/252/5/052065.
16. Зуев Б.Ю. Методология моделирования нелинейных геомеханических процессов в блочных и слоистых горных массивах на моделях из эквивалентных материалов // Записки Горного института. 2021. № 250. С. 542-552.
17. Влияние основной кровли на параметры зоны опорного давления в краевой части пласта / Л.К. Фук, П.Н. Дмитриев, Т.В. Зуи и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 6-1. С. 68-82. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-61-0-68.
18. Ковальский Е.Р., Громцев К.В. Разработка технологии закладки выработанного пространства при выемке // Записки Горного института. 2022. № 254. С. 202-209.
19. Анисимов К.А., Никифоров А.В. Современные технологии отработки алмазоносных месторождений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 1. С. 196-208. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3837.
20. Обоснование и выбор технологии проведения, способов крепления и поддержания горных выработок в неустойчивых горных породах глубоких горизонтов Холбинского рудника / В.А. Еременко, В.Н. Лушников, М.П. Сенди и др. // Горный журнал. 2013. № 7. С. 59-66.
21. Оценка удароопасности при освоении глубоких горизонтов Николаевского месторождения / Д.В. Сидоров, М.И. Потапчук, А.В. Сидляр и др. // Записки Горного института. 2019. № 238. С. 392-398.
22. Бабаскин Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог Минск: Технопринт, 2002. 176 с.
23. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ от 14.12.2014 № 462. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах».
24. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ от 21.08.2017 № 327. Об утверждении руководства по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах».

Original Paper

UDC 662.33 © V.P. Zubov, Than Van Duy, A.S. Fedorov, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 5, pp. 41-49
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-41-49>

Title
TECHNOLOGY OF UNDERGROUND MINING OF THICK COAL SEAMS WITH LOW STRENGTH PROPERTIES

Authors

Zubov V.P.¹, Than Van Duy¹, Fedorov A.S.¹

¹ Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, 199106, Russian Federation

UNDERGROUND MINING

Authors Information

Zubov V.P., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Mining Department, e-mail: spggi.zubov@mail.ru

Than Van Duy, Postgraduate Student, Mining Department, e-mail: thanduyvp@gmail.com

Fedorov A.S., Associate Professor, Mining Department, e-mail: plyton213@gmail.com

Abstract

The paper argues that among the promising methods of mining thick (5-12 m) gently dipping coal seams there are methods of coal extraction from the top coal layer. Factors are considered that affect the efficiency of using these mining methods in the mines of the Quang Ninh coal basin (Vietnam) when mining seams with low strength properties. It is noted that mining of such seams is characterized by an increased intensity of spontaneous caving of large masses of coal from the top coal layer and the longwall face into the near-face zone, which has a significant negative impact on mining safety, productivity and costs of coal mining. Data is presented on the parameters of spontaneous coal cavings. It is shown that a significant impact on the intensity of coal caving from the longwall face and the top coal layer is caused by the stage of the deformation processes in the poorly caving rocks of the main roof and the advance rate of the longwall face. The process flow sheets are proposed for mining low-strength coal seams, which include water infusion into the coal seam ahead of the longwall face using mine water or solutions based on mine water.

Keywords

Thick seam, Low strength properties of coal, Near-face zone of a longwall face, Top coal layer, Spontaneous coal caving, Water infusion into the seam, Process flow sheets.

References

1. Reyshakhrit E.I., Nevskaya M.A. & Chu Thi Que. Analysis of the state, prospects and problems of the coal industry in Vietnam. *Vestnik Evrazijskoj nauki*, 2021, Vol. 13, P. 1-15.
2. Litvinenko V.S., Tsvetkov P.S. & Molodtsov K.V. The social and market mechanism of sustainable development of public companies in the mineral resource sector. *Eurasian Mining*, 2020, (1), pp. 36-41. DOI: 10.17580/em.2020.01.07.
3. Zubov V.P. State and directions of improvement of systems for the development of coal seams at promising coal mines of Kuzbass. *Zapiski Gornogo instituta*. 2017, (225), pp. 292-297. (In Russ.). DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.
4. Karpov G.N., Kovalski E.R. & Leisle A.V. Analytical studies of strain-stress distribution of rock massif at recovery room T-junctions. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 2019, 10 (2), pp. 596-607. DOI: 10.34218/IJARET.10.2.2019.056.
5. Sementsov V.V., Osminin D.V. & Nifanov E.V. Stability of drift tunnels in mining seams with poorly caving roofs. *Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti*, 2021, (3), pp. 14-25. (In Russ.). DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.47.12.002.
6. Yaroshenko V.V. Directions to improve the coal recovery factor in mining the Vorkutskoye field reserves. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2019, (57), pp. 370-380. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-370-380.
7. Karpov G.N., Kovalski E.R. & Smychnik A.D. Determination of rock mass pre-unloading at the end sections of the break-down chamber. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2019, (8), pp. 95-107. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-95-107.
8. Jonek-Kowalska I., Ponomarenko T.V. & Marinina O.A. Problems of interaction with stakeholders during implementation of long-term mining projects. *Zapiski Gornogo instituta*, 2018, Vol. 232, pp. 428-437. (In Russ.). DOI: 10.31897/PMI.2018.4.428.
9. Gabov V.V., Xuan N.V., Zadkov D.A. & Tho T.D. Increasing the content of coarse fractions in the mined coal mass by a combine using paired cuts. *Zapiski Gornogo instituta*, 2022, (257), pp. 764-770. (In Russ.). DOI: 10.31897/PMI.2022.66.

10. Que Chu Thi, Nevskaya M. & Marinina O. Coal Mines in Vietnam: Geological Conditions and Their Influence on Production Sustainability Indicators. *Sustainability*, 2021, 13(21), 11800. DOI: 10.3390/su132111800.
11. Wang J. Development and prospect on fully mechanized mining in Chinese coal mines. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2014, (1), pp. 253-260.
12. Duong Duc Hai, Nguyen Le Duc, Trung Nguyen Duc et al. Increasing Productivity and Safety in Mining as a Chance for Sustainable Development of Vietnam's Mining Industry. Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. Springer Nature, 2021, pp. 283-307. DOI: 10.1007/978-3-030-60839-2-15.
13. Novoselov S.V., Melnik V.V. & Agafonov V.V. Export-oriented development strategy of the coal companies of Russia – the main factor ensuring their financial stability. *Ugol'*, 2017, (11), pp. 54-56. (In Russ.) DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-54-56.
14. Nguyen D.V., Nguyen H.P. & Do T.M. Experimental study on the efficacy of water infusion for underground mining of a coal seam. *Applied Sciences*, 2019, 9(18), 3820.
15. W. Lei, X. Li, W. Du et al. Research on mechanism and prevention technology of rib spalling in fully-mechanized coal mining face with soft and unstable seam. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, April 2019, 252(5), pp. 052065. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/252/5/052065.
16. Zuev B.Yu. Methodology of modeling nonlinear geomechanical processes in blocky and layered rock masses on models made of equivalent materials. *Zapiski Gornogo instituta*, 2021, (250), pp. 542-552. (In Russ.).
17. Le Quang Phuc, Dmitriev P.N., Than Van Duy & Li Yunpeng. Influence of the main roof on the parameters of the abutment pressure zone in the selvedge of the seam. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2022, (6-1), pp. 68-82. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-61-0-68.
18. Kovalskii E.R. & Gromtsev K.V. Development of the technology of stowing the developed space during mining. *Zapiski Gornogo instituta*, 2022, (254), pp. 202-209. (In Russ.).
19. Anisimov K.A. & Nikiforov A.V. Present-day technologies for mining diamondiferous deposits. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2023, Vol. 334, (1), pp. 196-208. (In Russ.). DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3837.
20. Yeremenko V.A., Lushnikov V.N., Sendi M.P. et al. Justification and selection of methods to drive, support and maintain mine workings in unstable rock formations of deep levels of the Kholbinskiy mine. *Gornyj zhurnal*, 2013, (7), pp. 59-66. (In Russ.).
21. Sidorov D.V., Potapchuk M.I., Sidlyar A.V. & Kursakin G.A. Assessment of rock-bump hazards in mining of deep levels of the Nikolayevskoye field. *Zapiski Gornogo instituta*, 2019, (238), pp. 392-398. (In Russ.).
22. Babaskin Yu.G. Ground reinforcement by injection when repairing automobile roads. Minsk, Technoprint Publ., 2002, 176 p. (In Russ.).
23. Order No. 462 of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision as of December 14, 2014. On approval of the 'Guidelines for Dust Control in Coal Mines' Federal Norms and Rules in industrial safety.
24. Order No. 327 of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision as of August 21, 2017. On approval of the 'Recommendations on safe mining operation in coal seams prone to dynamic phenomena' Safety Guidelines.

Acknowledgements

The research was performed at St. Petersburg Mining University as part of the 'Mining of Solid Minerals' scientific school.

For citation

Zubov V.P., Than Van Duy & Fedorov A.S. Technology of underground mining of thick coal seams with low strength properties. *Ugol'*, 2023, (5), pp. 41-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-41-49.

Paper info

Received March 9, 2023

Reviewed March 15, 2023

Accepted April 27, 2023