

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-4-77-85

УДК 622.275

УПРАВЛЕНИЕ МАССИВОМ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ ЕГО ДЕЗИНТЕГРАЦИЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА С ВЫПУСКОМ НА ЗАБОЙНЫЙ КОНВЕЙЕР

MANAGEMENT OF THE ROOF COAL BY ITS DISINTEGRATION DURING THE DEVELOPMENT OF THE COAL SEAM BY DRAWING IT ONTO THE FACE CONVEYOR

Анферов Борис Алексеевич,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: b.anferov@icc.kemsc.ru

Boris A. Anfyorov, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher

Кузнецова Людмила Васильевна,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

Lyudmila V. Kuznetsova, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. 650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10
The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 10 Leningradsky avenue, Kemerovo, Russia, 650065

Аннотация:

Актуальность работы. При разработке мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер большое влияние на эффективность ведения горных работ имеет фактор устойчивости угольного массива подкровельной толщи. При слабом, сильно трещиноватом угле, с одной стороны, легче происходит его отделение от кровли, уменьшается зависание угля, улучшается его самообрушение; с другой – снижается устойчивость потолочины и груди забоя в подсечном слое, что усложняет ведение очистных работ.

Цель работы. Обеспечить разрушение массива подкровельной толщи непосредственно над выпускным окном секции крепи за счет сил горного давления по мере продвижения очистного забоя подсечного слоя и улавливания выпускаемого угля без потерь (затрат) времени на выполнение дополнительных технологических операций.

Методы исследования. Обобщение и анализ условий дезинтеграции угольного массива.

Результаты. В условиях постоянно действующей распределенной нагрузки, обусловленной массой подкровельной толщи, предлагается воздействовать на ее нижнюю часть знакопеременными нагрузками, провоцирующими ее разрушение непосредственно над выпускным окном каждой секции крепи. Воздействие на угольный массив предложено оказывать перекрытиями секций крепи, обеспечивая тем самым сжатие угля потолочины, затем уменьшать удельное распорное усилие, чем многократно увеличивать растягивающие усилия со стороны угольного массива, приводящие к его саморазрушению.

Выводы. Заблаговременная дезинтеграция прикровельной части массива подкровельной толщи обеспечивает частичную дегазацию пласта, временную разгрузку его от горного давления, улучшает отделение угля от непосредственной кровли, что в совокупности способствует повышению безопасности и эффективности ведения очистных работ.

Ключевые слова: дезинтеграция, подкровельная толщина, механизированная крепь, выпускаемый уголь, удельное распорное усилие.

Информация о статье: поступило в редакцию 16.04.2021

Abstract:

The urgency of the discussed issue. When developing a thick, flat seam with the release of coal from the under-roof layer to the face conveyor, the stability factor of the coal mass of the under-roof layer has a great influence on the efficiency of mining operations. With a weak, highly fractured coal, on the one hand, it is easier to separate from the roof, the hanging of coal decreases, and its self-collapse improves; on the other hand, the stability of the roof coal and coal face in the undercut layer decreases, which complicates the coal face operations.

The main aim of the study. Ensure the destruction of the under-roof massif directly above the outlet window of the support section due to the forces of rock pressure as the working face of the undercut layer moves up and the coal produced is captured without loss (cost) of time for performing additional technological operations.

The methods used in the study. Generalization and analysis of the conditions for the disintegration of the coal mass.

The results. Under the conditions of a constantly acting distributed load due to the mass of the under-roof layer, it is proposed to act on its lower part with alternating loads that provoke its destruction directly above the outlet window of each support section. It is proposed to influence the coal mass by overlapping the support sections, thereby providing compression of the ceiling coal, then to reduce the specific thrust force, instead of increasing repeatedly the tensile forces from the coal leading to its destruction. The early disintegration of the near-roof part of the under-roof massif provides partial degassing of the seam, its temporary unloading from the rock pressure, improves the separation of coal from the immediate roof, which together contributes to an increase in the safety and efficiency of the coal face operations.

Keywords: disintegration, under-roofing, powered roof support, coal produced, specific thrust force.

Article info: received April 16, 2021

При разработке мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер большое влияние на эффективность ведения горных работ имеет фактор устойчивости угольного массива подкровельной толщи. При слабом, сильно трещиноватом угле, с одной стороны, легче происходит его отделение от кровли, уменьшается зависание угля, улучшается его самообрушение; с другой – снижается устойчивость потолочины и груди забоя в подсечном слое, что усложняет ведение очистных работ.

Для обеспечения полноты извлечения угля в этой технологии используют как предварительное разупрочнение массива подкровельной толщи, так и разупрочнение, производимое по мере подвигания очистного забоя подсечного слоя. Предварительное разупрочнение производят до начала ведения очистных работ и осуществляют в прикровельной части угольного массива подкровельной толщи, тем самым минимизируя влияние на устойчивость потолочины забоя у почвы пласта, и подготавливают прикровельную часть к выпуску. Разупрочнение этого же массива по мере подвигания очистного забоя подсечного слоя осуществляют из рабочего пространства упомянутого слоя, воздействуя на нижнюю часть массива и обеспечивая тем самым время начала самообрушения над выпускным окном секции крепи.

В этом направлении с участием авторов разработано несколько вариантов конструкции секции механизированной крепи с устройством выпуска угля на забойный конвейер, обеспечивающих принудительное обрушение нижней части массива подкровельной толщи непосредственно над выпускным окном [1]. В совокупности с предварительным разупрочнением прикровельной части угольного массива эти технические решения позволят в некоторой степени повысить полноту извлечения угля, т.е. снизить эксплуатационные потери угля особенно выпускаемого из подкровельной толщи. Однако использование этих особенностей конструкции при выполнении операций деления выпуска на порции, улавливания всей порции самообрушенного угля, надкалывания потолочины, бурения скважин и т.д. требует дополнительных затрат времени и труда, что в свою очередь снижает эффективность добычи угля.

Задача состоит в том, чтобы обеспечить разрушение массива подкровельной толщи непосредственно над выпускным окном секции крепи за счет сил горного давления по мере подвигания очистного забоя подсечного слоя и улавливания выпускаемого угля без потерь (затрат) времени на выполнение дополнительных технологических операций. Эта задача решена в технологии разработки мощных пологих пластов с выпуском угля подкровельной толщи на завальный конвейер [2-10]. Однако необходимость дополнительного конвейера и

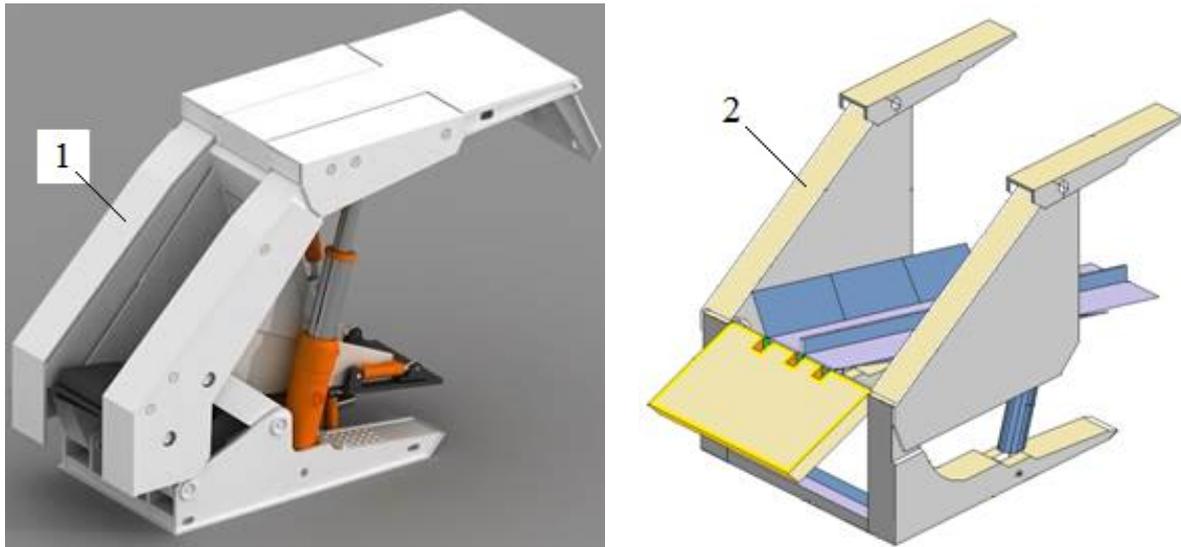


Рис. 1. Основные составляющие комплектной крепи
Fig. 1. The main components of the complete support

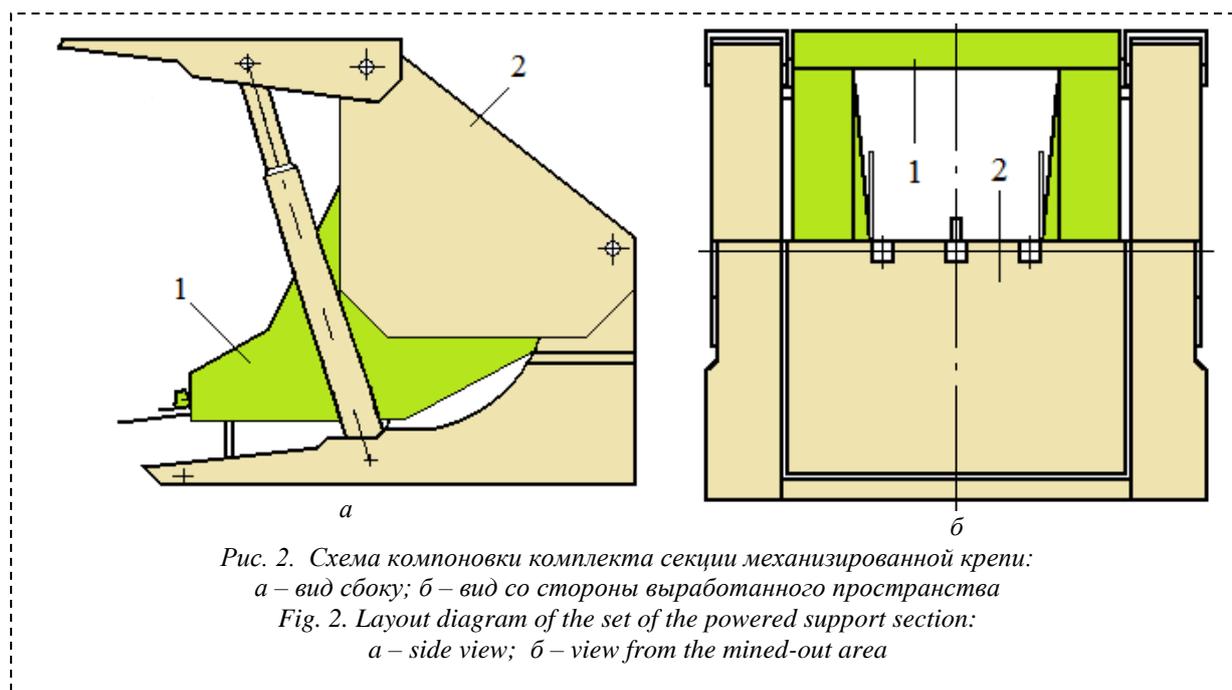
второго узла погрузки, а также сложности с обслуживанием завального конвейера снижают эффективность и этой технологии.

Особенность технологии с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер состоит в том, что верхняя, прикровельная пачка заранее дезинтегрирована, например, методом направленного гидроразрыва. Вследствие этого в ней образуются искусственные пустоты, через которые происходит частичная дегазация угля. Фактически угольный пласт надработан со всеми вытекающими отсюда последствиями. Это означает хотя и временную, но разгрузку пласта от горного давления. Тогда подкровельный массив угольного пласта можно рассматривать как равномерно распределенную нагрузку, лежащую на перекрытиях секций механизированной крепи, а в пространстве от перекрытий до выработанного пространства – как нависающую массивную консоль.

Намечено в условиях постоянно действующей распределенной нагрузки, обусловленной массой подкровельной толщи, воздействовать на ее нижнюю часть знакопеременными нагрузками, провоцирующими ее разрушение непосредственно над выпускным окном каждой секции крепи. При этом само воздействие на угольный массив предложено оказывать перекрытиями секций крепи, обеспечивая тем самым сжатие угля потолочины, затем уменьшать удельное распорное усилие, приходящееся на квадратный метр площади поддерживаемого массива, чем многократно увеличивать растягивающие усилия со стороны угольного массива, приводящие к его саморазрушению.

Для реализации этой задачи на основе механизированной крепи КУВ [11-14] 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.

Комплекты механизированной крепи устанавливают бок о бок по длине очистного забоя, внутренние секции связывают домкратами передвижки с забойным конвейером, наружные – с внутренними секциями. И внутренние и наружные секции распирают между почвой пласта и кровлей подсечного слоя, в качестве которой в данной технологии является угольный массив подкровельной толщи. В этом положении кровля подсечного слоя поддерживается всеми комплектами механизированной крепи, включая внутренние и наружные секции, т.е. удельное распорное усилие со стороны механизированной крепи, приходящееся на единицу площади поддерживаемой кровли, является максимальным (рис. 3, а и 3, в). В этом случае давление со



стороны массива подкровельной толщи P_M уравновешено распорным усилием комплекта механизированной крепи P_K , т. е. $P_M = P_K$.

В общем случае очистным комбайном снимают три стружки угля в очистном забое подсечного слоя с погрузкой отбитого угля на забойный конвейер, затем комбайн останавливают и производят управляемый выпуск угля подкровельной толщи с погрузкой выпускаемого угля на тот же забойный конвейер.

После выемки комбайном первой стружки угля осуществляют передвижку става конвейера; снимают распор с внутренних секций каждого комплекта и также передвигают их в сторону очистного забоя. Наружные секции в это время остаются в распором состоянии и поддерживают кровлю (рис. 4, а). Отметим, что после передвижки на один шаг внутренних секций призабойная часть кровли рабочего пространства очистного забоя подсечного слоя будет испытывать большее удельное давление со стороны механизированной крепи, чем кровля со стороны выработанного пространства.

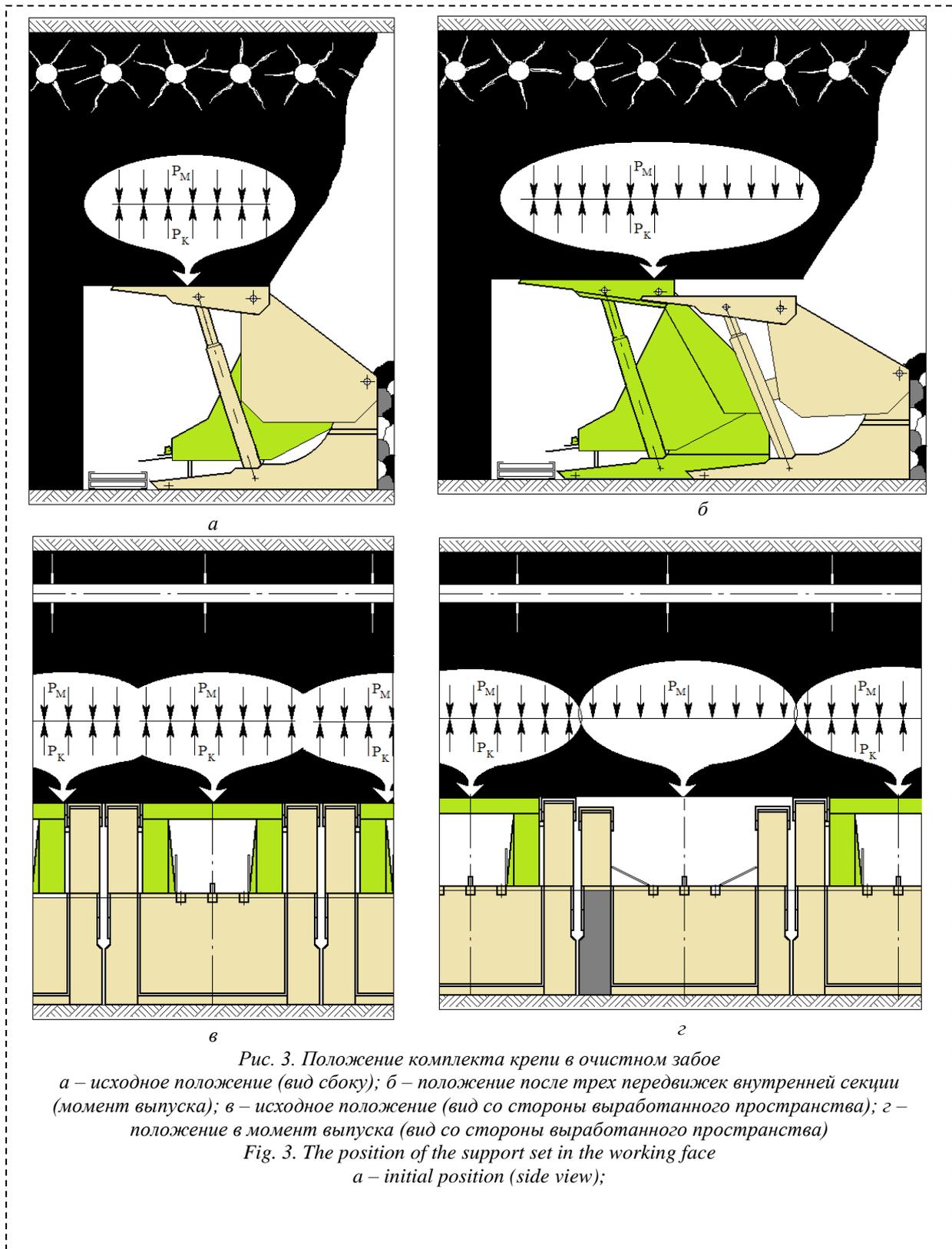
Передвижка внутренних секций на второй шаг (см. рис. 4, б), а потом и на третий (см. рис. 4, в) еще больше дифференцирует удельное распорное усилие крепи на потолочину у забоя и со стороны выработанного пространства (см. рис. 3, б).

Поскольку расстояние в два-три шага передвижки крепи сопоставимо с расстоянием между перекрытиями наружной секции, то примерно так же изменится удельное распорное усилие крепи вдоль линии очистного забоя по краю потолочины со стороны выработанного пространства (рис. 3, в).

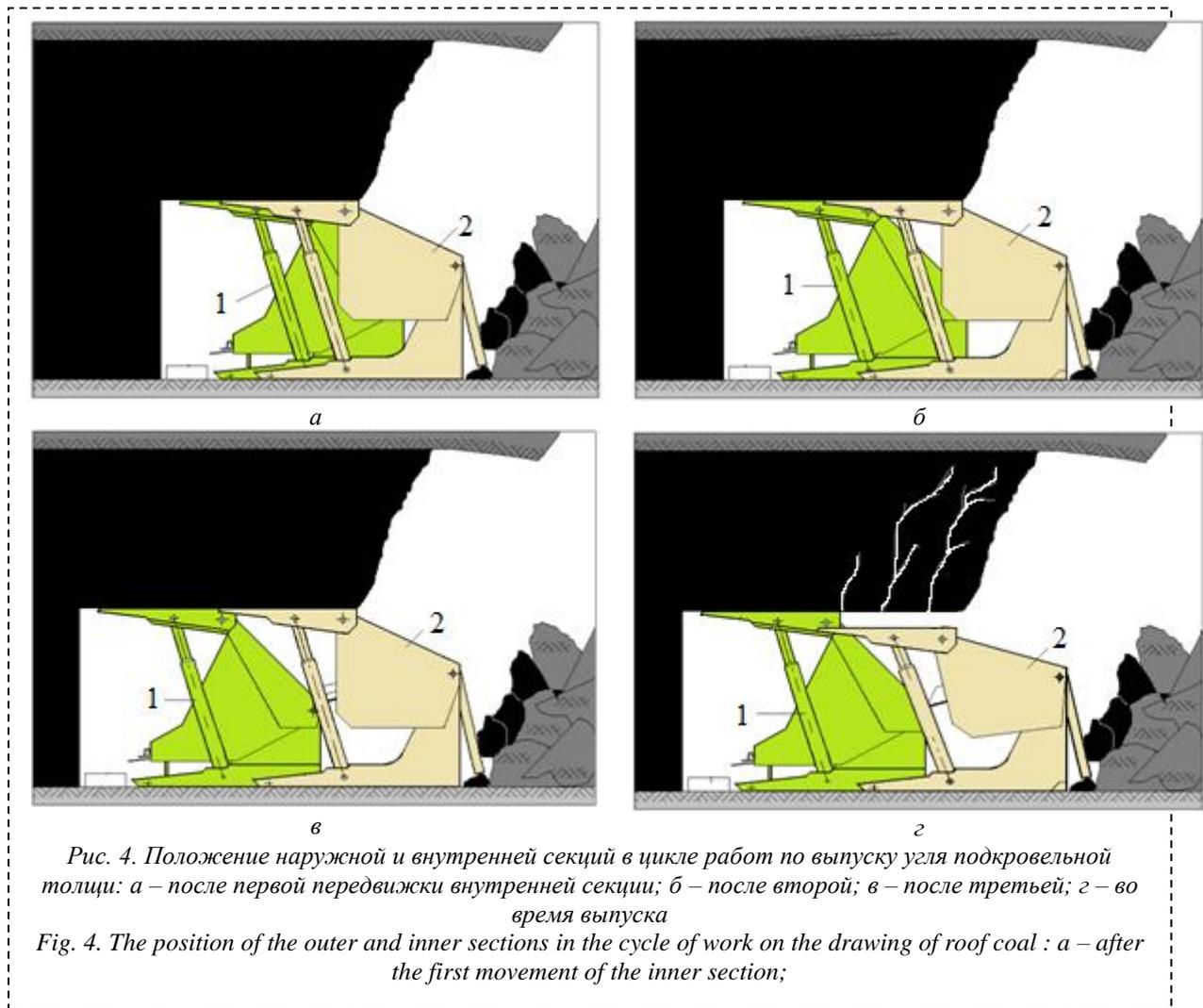
Потолочина в пространстве между перекрытиями наружных секций и ближе к выработанному пространству будет испытывать растягивающие усилия со стороны вышележащих горных пород, что в итоге приведет к нарушению ее сплошности и саморазрушению угольного массива непосредственно над выпускным окном комплекта секции крепи. С началом саморазрушения угля потолочины снимают распорное усилие с перекрытий наружных секций (см. рис. 4, в), в результате чего разрушенный кусковой уголь под действием гравитации упадет в выпускное окно и далее по желобу поступит на забойный конвейер.

После окончания выпуска наружную секцию подтягивают гидравлическими домкратами передвижки к забою подсечного слоя.

Большое значение для эффективности работы с выпуском угля подкровельной толщи имеет приемная способность секции механизированной крепи, т. е. объем сыпучей горной массы, одновременно поступивший из подкровельной толщи в устройства выпуска и удерживаемый ими от просыпания в течение всего времени выпуска.



Для расчета приемной способности устройств выпуска угля подкровельной толщи необходимо задаться геометрическими параметрами секции крепи и мощностью угольного пласта. Принято: высота секции крепи в рабочем состоянии 3,5 м, ее ширина – 2,0 м; выпускное окно в завальном ограждении крепи: высота – 2 м, ширина 1,0 м, угол его наклона к горизонту – 45 град.; шаг передвижки – 0,8 м; пласт мощностью 10 м, уголь хорошо отслаивается от кровли (рис. 5).



Если отделить порцию угля подкровельной толщи по нормали к напластованию, то при устойчивой кровле пласта после передвижки внутренней секции крепи на три шага объем угля подкровельной толщи для выпуска с учетом его разрыхления составит $40,5 \text{ м}^3$.

Однако лишь малая часть этого объема под действием гравитации поступит в выпускное окно внутренней секции. Ее объем оценивается не более $1,4 \text{ м}^3$. Это означает, что основная часть выпускаемой горной массы – $39,1 \text{ м}^3$ должна пройти в выпускное окно по мере освобождения площади окна. Для этого эта часть горной массы в виде рыхлого штабеля должна «ожидать» своей очереди на желобе наружной секции. Рыхлый штабель, в отличие от классического, можно представить в виде треугольной призмы, лежащей на боковой грани, представляющей собой площадь приема. Высота штабеля AC – это катет прямоугольного треугольника, гипотенуза которого АВ наклонена к горизонтальной оси под углом естественного откоса $\alpha=50$ град., другой катет BC – максимальная длина приемного устройства (см. рис. 5).

Элементарные расчеты показывают, что для удержания всего рыхлого штабеля в основании выпускного окна его длина должна быть не меньше 4,5 м; если учесть, что из них 2,4 м составляет «уход» за три шага передвижки внутренней секции, то длина проекции выпускного окна наружной секции на горизонтальную ось должна быть не менее 2,1 м. Соблюдение этого требования обеспечит наиболее полное извлечение угля, т.е. снижение эксплуатационных потерь. Реальная длина проекции выпускного окна наружной секции не может быть меньше 2,5 м, что обеспечивает наличие небольшого запаса и позволяет обрабатывать пласты большей мощности.



Рис. 5. Расчетная схема к определению приемной способности секции крепи

Fig. 5. Design scheme for determining the receiving capacity of the support section

Заключение:

– заблаговременная дезинтеграция прикровельной части массива подкровельной толщи обеспечивает частичную дегазацию пласта, временную разгрузку его от горного давления, улучшает отделение угля от непосредственной кровли, что в совокупности способствует повышению безопасности и эффективности ведения очистных работ;

– последующая дезинтеграция нижней части массива подкровельной толщи по мере подвигания забоя подсечного слоя, производимая путем постепенного снижения удельного распорного усилия комплекта секции крепи, обеспечивает не только саморазрушение массива непосредственно над выпускным окном, но и порционирование потока выпускаемого угля, что способствует повышению эффективности ведения очистных работ;

– использование комплектной механизированной крепи, состоящей из внутренней и наружной секций, связанных

домкратами передвижки и объединенных выпускным окном и желобом, обеспечивает не только дифференцирование удельного распорного усилия на потолочину, но и многократное увеличение приемной способности самого комплекта, что повышает эффективность разработки пласта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-45-420019\21 от 25.01.2021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клишин, В.И. Направления совершенствования разработки мощных пластов с выпуском угля подкровельной толщи / В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов Междунар. науч.-практич. конф. 18-21 апреля 2017 г. под ред. А.Н. Смирнова. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 57-62.
2. Калинин, С.И. Отработка мощного угольного пласта механизированным комплексом с выпуском подкровельной пачки: монография / С.И. Калинин [и др.]. – Кемерово, 2011. – 224 с.
3. Ермаков, А.Ю. Обоснование аэрологически безопасной одностадийной технологии отработки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля из межслоевых и подкровельных пачек / А.Ю. Ермаков, Н.М. Качурин. – Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат», 2018. – 290 с.
4. Ning Shi and Zhizeng Huang. Application of Longwall Top Coal Caving in Challenging Geological Conditions // Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain – July 20-21, 2015 Paper No. 354. URL: http://avestia.com/MCM2015_Proceedings/files/papers/MMME354.pdf (дата обращения 10.03.2021).
5. Nadia Sultana Tarakki [& other] Longwall Top Coal Caving Method for Barapukuria Coal Field, Dinajpur, Bangladesh. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, April-2016. P. 285. URL: https://www.researchgate.net/publication/303525170_Longwall_Top_Coal_Caving_Method_for_Barapukuria_Coal_Field_Dinajpur_Bangladesh_ (дата доступа 12.03.2021).
6. T. D. Le [& other] A Review of Roof Instabilities Associated With Longwall Top Coal Caving. 52nd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 17-20 June, 2018, Seattle, Washington. URL: https://www.onepetro.org/conference-paper/ARMA-2018-481_ (дата обращения 11.03.2021).

7. Adrian Moodie and James Anderson, Geotechnical Considerations for Longwall Top Coal Caving at Astar Coal Mine, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011, 29-39. URL: <http://ro.uow.edu.au/cgi/> (дата обращения 12.03.2021).
8. Tien Dung Le, Rudrajit Mitra, Joung Oh, Bruce Hebblewhite. A review of cavability evaluation in longwall top coal caving. International Journal of Mining Science and Technology_ Volume 27, Issue 6, November 2017, Pages 907-915. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617305177> (дата обращения 11.03.2021).
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 14.03.2021).
10. Сенкус, В.В. Результаты испытаний технологии отработки мощных пологих пластов с выпуском угля / В.В. Сенкус, А.Ю. Ермаков // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – №3. – С.97
11. Клишин, В.И. Состояние и направление развития технологии разработки мощных угольных пластов механизированными крепями с выпуском / В.И. Клишин, С.В. Клишин // Известия Тульского государственного университета. – 2019. – С. 162-174.
12. Клишин, В.И. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля / В.И. Клишин [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2013. – 248 с.
13. Клишин, В.И. Разработка мощных пластов механизированными крепями с регулируемым выпуском угля / В.И. Клишин [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2007. – 135 с.
- Клишин, В.И. Моделирование дезинтеграции подкровельной толщи при отработке мощного пласта с выпуском угля на забойный конвейер / В.И. Клишин [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 2. – С. 79-88.

REFERENCES

1. Klishin V I Napravleniya sovershenstvovaniya razrabotki moshchnyh plastov s vypuskom uglya podkrovelnoj tolshchi V I Klishin B A Anferov L V Kuznecova Innovacii v toplivno ehnergeticheskom komplekse i mashinostroenii sbornik trudov Mezhdunar nauch praktich konf 18 21 aprelya 2017 g pod red A N Smirnova Kemerovo KuzGTU 2017 S 57 62
2. Kalinin S I Otrabotka moshchnogo ugolnogo plasta mekhanizirovannym kompleksom s vypuskom podkrovelnoj pachki monografiya S I Kalinin i dr Kemerovo 2011 224 s
3. Ermakov A YU Obosnovanie aehrologicheskoi bezopasnoj odnostadijnoj tekhnologii otrabotki moshchnyh plogih plastov s upravlyaemym vypuskom uglya iz mezhslouevyh i podkrovelnyh pachek A YU Ermakov N M Kachurin Kemerovo AI Kuzbassvuzizdat 2018 290 s
4. Ning Shi and Zhizeng Huang Application of Longwall Top Coal Caving in Challenging Geological Conditions Proceedings of the World Congress on Mechanical Chemical and Material Engineering MCM 2015 Barcelona Spain July 20 21 2015 Paper No 354 URL http://www.avevia.com/MCM2015_Proceedings_files/papers/MMME354.pdf data obrashcheniya 10 03 2021
5. Nadia Sultana Tarakki other Longwall Top Coal Caving Method for Barapukuria Coal Field Dinajpur Bangladesh International Journal of Scientific Engineering Research Volume 7 Issue 4 April 2016 P 285 URL <https://www.researchgate.net/publication/303525170> Longwall Top Coal Caving Method for Barapukuria Coal Field Dinajpur Bangladesh data dostupa 12 03 2021
6. T D Le other A Review of Roof Instabilities Associated With Longwall Top Coal Caving 52nd U S Rock Mechanics Geomechanics Symposium 17 20 June 2018 Seattle Washington URL <https://www.onepetro.org/conference-paper/ARMA-2018-481> data obrashcheniya 11 03 2021
7. Adrian Moodie and James Anderson Geotechnical Considerations for Longwall Top Coal Caving at Astar Coal Mine 11th Underground Coal Operators Conference University of Wollongong the Australasian Institute of Mining and Metallurgy 2011 29 39 URL <http://ro.uow.edu.au/cgi/> data obrashcheniya 12 03 2021
8. Tien Dung Le Rudrajit Mitra Joung Oh Bruce Hebblewhite A review of cavability evaluation in longwall top coal caving International Journal of Mining Science and Technology Volume 27 Issue 6 November 2017 Pages 907 915 URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617305177> data obrashcheniya 11 03 2021
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/> data obrashcheniya 14 03 2021
10. Senkus V V Rezultaty ispytaniy tekhnologii otrabotki moshchnyh plogih plastov s vypuskom uglya V V Senkus A YU Ermakov Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnyh resursov 2016 No3 C 97
11. Klishin V I Sostoyanie i napravlenie razvitiya tekhnologii razrabotki moshchnyh ugolnyh plastov mekhanizirovannymi krep'yami s vypuskom V I Klishin S V Klishin Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta 2019 S 162 174

12. Klishin V I Tekhnologiya razrabotki zapasov moshchnyh pologih plastov s vypuskom uglya V I Klishin i dr Novosibirsk Nauka 2013 248 s
13. Klishin V I Razrabotka moshchnyh plastov mekhanizirovannymi krepyami s reguliruemym vypuskom uglya V I Klishin i dr Novosibirsk Nauka 2007 135 s
14. Klishin V I Modelirovanie dezintegracii podkrovelnoj tolshchi pri otrabotke moshchnogo plasta s vypuskom uglya na zaboynuj konvejer V I Klishin i dr Fiziko tehnikheskie problemy razrabotki poleznych iskopaemyh 2019 2 S 79 88

Библиографическое описание статьи

Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Управление массивом подкровельной толщи его дезинтеграцией при разработке угольного пласта с выпуском на забойный конвейер // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 4 (146). – С. 77-85.

Reference to article

Anfyorov B.A., Kuznetsova L.V. Management of the roof coal by its disintegration during the development of the coal seam by drawing it onto the face conveyor. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.4 (146), pp. 77-85.