

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-6-56-63

УДК 622.834

ВИДЕО МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ КАМЕР И ЦЕЛИКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ ТЕХНОЛОГИЕЙ ГЛУБОКОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ

VIDEO MONITORING OF THE STATE OF CHAMBERS AND PILLARS WHEN DEVELOPING RESERVES BY THE TECHNOLOGY OF DEEP DEVELOPMENT OF COAL SEAMS

Дегтярев Дмитрий Николаевич¹

зам. заведующего лабораторией ПГР, e-mail: degtyarev1708@yandex.ru

Dmitriy N. Degtyarev

deputy head of the laboratory of underground mining

Быкадоров Алексей Иванович¹

к.т.н., ген. директор, e-mail: aibykadorov@mail.ru

Aleksey I Bykadorov.

C. Sc. in Engineering, general director

Ренев Алексей Агафангелович²

д.т.н., профессор, e-mail: raa@kuzstu.ru

Aleksey A. Renev

Dr. Sc. in Engineering, Professor

Волынкин Владимир Андреевич²

студент e-mail: 19vova9772@gmail.com

Vladimir A. Volynkin

student

¹ООО «Сибирский институт геотехнических исследований», 653033, г. Прокопьевск, пр-кт Гагарина, д.11, 1

Siberian Institute of Geotechnical Research, 11, Prospect Gagarina, Prokopyevsk, 653033

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация:

Комплекс глубокой разработки пластов (КГРП) относится к безлюдной выемке запасов и имеет ряд особенностей, осложняющих процесс ведения горных работ, к основным из которых можно отнести: отсутствие визуального контроля за состоянием камер и целиков; необходимость оставления защитных пачек угля при неустойчивых породах кровли; недоработка камер до проектных параметров из-за преждевременного обрушения кровли, разрушения межкамерных целиков и притока воды в камеры; зажатие режущего органа и выдвигного става вследствие вывала неучтенной ложной кровли или локального нарушения. За многолетний опыт отработки запасов технологией КГРП в Кузбассе вышеперечисленные осложняющие факторы пытались контролировать разными методами. Сибирский институт геотехнических исследований приступил к разработке способа визуального мониторинга состояния выемочных камер в процессе их проведения, а именно внедрил новый, дистанционный метод видеооценки состояния камер для безлюдной отработки запасов технологией глубокого выбуривания пластов. Выявлена возможность визуального осмотра состояния межкамерных целиков, устойчивости кровли камеры, пучения почвы, а также проявления этих процессов во времени. Зафиксированы процессы, происходящие при подрезке защитной пачки угля в кровле и почве пласта, а также наличие локальных включений породных прослоев. Установка зависимостей от всех вышеперечисленных факторов позволит оперативно вносить корректировки в параметры технологии КГРП для обеспечения безопасного ведения горных работ, повысить качество добываемой продукции и полноту выемки запасов.

Ключевые слова: безлюдная разработка пластов, мониторинг деформаций, дистанционный метод, визуальный осмотр, камера, целик, устойчивость кровли и почвы, параметры деформаций.

Abstract:

The complex of deep development of formations (KGRP) refers to the deserted mining of reserves and has a number of features that complicate the mining process, the main of which include: lack of visual monitoring of the condition of the chambers and pillars; the need to leave protective packs of coal with unstable rocks of the roof; defective chambers to design parameters due to premature collapse of the roof, destruction of inter-chamber pillars and the influx of water into the chambers; clamping of the cutting organ and the retractable stance due to collapse of an unaccounted false roof or local disturbance. Over the many years of experience in developing reserves using the fracturing technology KGRP in Kuzbass, the above complicating factors were tried to be controlled by various methods. The Siberian Institute of Geotechnical Research has begun to develop a method for visual monitoring of the state of extraction chambers during their development, namely, a new, remote video method for assessing the state of chambers for uninhabited reserves development using deep drilling technology has been introduced. The possibility of visual inspection of the state of interchamber pillars, the stability of the roof of the chamber, soil heaving, as well as the manifestation of these processes in time, have been revealed. The processes occurring during trimming of the protective pack of coal in the roof and soil of the formation, as well as the presence of local inclusions of rock layers are recorded. Establishing dependencies on all of the above factors will allow you to quickly make adjustments to the parameters of the fracturing technology KGRP, improve the quality of extracted products and the completeness of reserves

Key words: men-free development of reservoirs, deformation monitoring, remote method, visual examination, a camera, pillar, roof and soil resistance, deformation parameters.

Введение

Добыча угля в России в 2018 г. составила 439,3 млн т, в том числе открытым способом - 331,0 млн т, подземным способом - 108,3 млн т. Около 60% всего российского угля добывается в Кузбассе. В 2018 году добыли 255,3 млн т, из них открытым способом добыто 165,8 млн т. Сегодня в регионе действуют 42 шахты и 51 разрез. В 2019 году планируется запуск еще двух разрезов.

Открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых является наиболее безопасным и экономичным среди традиционных горнодобывающих технологий, что обуславливает его широкое применение в угольной промышленности. Оработка запасов открытыми горными работами экономически не выгодна при коэффициенте вскрыши более 10 м³/т. Значительные запасы угля сосредоточены между предельной технической и лицензионной границами разреза, которые относят к забалансовым (табл.). Эти запасы могут быть отработаны комбинированным способом (открыто-подземным) [1, 2]. С точки зрения экономической эффективности наиболее приемлемой является безлюдная геотехнология "Highwall" на базе оборудования, изготовляемого американской фирмой SUPERIOR HIGHWALL MINERS (комплекс глубокой разработки пластов - КГРП) [3 - 11]. Данная технология позволяет дорабатывать прибортовые запасы угля по более выгодной себестоимости и в более сжатые сроки, чем при использовании других традиционных способов добычи.

Оработка пластов комплексом КГРП осуществляется с борта разреза в его конечном положении. Оборудование КГРП устанавливается

на открытой площадке после окончания ведения ОГР по направлению падения угольного пласта режущим органом, по мере врезания которого в пласт осуществляется извлечение запасов до границ выемочного участка, не превышая технические возможности комплекса. Оработка производится камерами прямоугольного сечения шириной 3,5 м без крепления, в результате работы комплекса образуется выработка высотой, равной мощности вынимаемого пласта или слоя. При этом пульт управления, силовые агрегаты, гидравлика и другие механизмы комплекса КГРП остаются на дневной поверхности. Общий вид КГРП представлен на рис. 1.

При однослойной выемке прибортовых запасов в зависимости от модуля режущей головки КГРП позволяет обрабатывать угольные пласты мощностью до 4,8 м с максимальным углом падения пласта до 30°. При этом режущая головка пласта может углубляться на расстояние до 300м. При многослойной выемке соответственно увеличивается вынимаемая мощность.

Оработка производится камерами с оставлением межкамерных целиков. После отработки расчетного количества камер оставляется барьерный целик. Для данной технологии необходимо правильно определить расстояние между барьерными целиками, а также ширину барьерных и межкамерных целиков.

Основная часть

Технология КГРП имеет ряд особенностей, осложняющих процесс выемки запасов, к основным из которых можно отнести: отсутствие

Таблица 1. Запасы, подлежащие обработке технологией КГРП
 Table 1. Reserves to be mined by the fracturing technology

Участок	Месторождение	Всего запасов, млн. т.	Прибортовые (забалансовые), млн.т.	Процентное содержание запасов для КГРП
Отвальный Южный №1	Талдинское	21	8	38
Отвальный Южный 2 Глубокий	Талдинское	54	13	24
Камышанский западный	Северо-Талдинское	94	27	29
Глуховский	Распадское	н.д.	12,6	Пласт 3-3а – 32% Пласт 7-7а – 21% Пласт 6-6а-4-5 – 23%
Задубровский	Уропское	8	1,6	Пласт К7 – 20%
Купринский	Соколовское	н.д.	1	н.д.

визуального контроля за состоянием камер и целиков; необходимость оставления защитных пачек угля при неустойчивых породах кровли; недоработка камер до проектных параметров из-за преждевременного обрушения кровли, разрушения межкамерных целиков и притока воды в камеры; зажатие режущего органа и выдвигного става вследствие вывала неучтенной ложной кровли или локального нарушения. За многолетний опыт (более 15 лет [12 - 15]) отработки запасов технологией КГРП в Кузбассе вышеперечисленные осложняющие факторы пытались контролировать разными методами.

Сибирский институт геотехнических исследований приступил к разработке способа визуального мониторинга состояния выемочных камер в процессе их проведения. Производя обзор

возможных вариантов, было выделено два основных: на базе квадрокоптера и самоходной радиоуправляемой модели на колесном или гусеничном ходу. При разработке способа визуального контроля разработаны первостепенные требования: дальность до 300 м с учетом отражения радио волн от создаваемых помех углеродного массива, дистанционное управление, передача видео сигнала, запись файлов, обеспечение видимости в условиях полной темноты (в выемочной камере), преодоление труднодоступных мест (проезд через обрушенную породу).

По разработанным требованиям в конце 2018 был изготовлен первый образец системы мониторинга, при эксплуатации которого выявлены следующие недостатки: сложность



Рис. 1. Общий вид комплекса глубокой разработки пластов при доработке прибортовых запасов по пласту 70 Талдинского месторождения Кузбасса.

Fig. 1. General view of the deep-seam development complex during the completion of near-edge reserves in seam 70 of the Taldinskoye field of Kuzbass

управление в фактических параметрах выемочных камер (ширина 3,5 м, высота до 3,0м, угол падения 20-25°), ограниченное время работы установленных батарей, малая грузоподъемность (возможность установки дополнительного оборудования). При рассмотрении второго варианта из-за условий преодоления труднодоступных мест к разработке принята модель на колесном ходу.

Сборка самоходной радиоуправляемой модели производилась на базе полноприводного шасси с неразрезными мостами и четырьмя поворотными колесами, с установкой дополнительного оборудования в виде камеры и подсветки. Запись производилась аналоговая на видеоплемя. В ходе испытаний опытный образец подвергся значительным изменениям:

- установлена дополнительная камера для маневрирования в сложных условиях (на задней части машины);
- для видимости, в отсутствие освещения,

смонтирована светодиодная подсветка;

- для улучшения обзорности на первую (на передней части машины) камеру установили поворотный механизм в вертикальной и горизонтальной плоскости;

- из-за создаваемых помех при обследовании на расстояниях более 100м, а так же для улучшения качества видеозаписи возникла необходимость сохранять видео с основной камеры (передняя) на внешний носитель (SD карта), который был установлен на базе самоходной машины;

- для снижения помех при управлении на расстояниях более 100м и увеличения дальности использования модели установлена съемная выносная штанга (50 см), на которую смонтированы усиленные антенны с частотой 2.4-2.48 ГГц для управления и антенна с частотой 5.8 ГГц для передачи видеосигнала;

- питание модели происходит от усиленного аккумулятора;

- для измерения длины обследуемого участка



Параметры:
Длина 460 мм,
Колея передняя 280 мм,
Колея задняя 280 мм,
Клиренс 95 мм,
Вес 4.25 кг,
Высота модели 255 мм,
с антенной 305мм,
Колесная база 330 мм,
Диаметр шин 140 мм,
Привод полный (4WD 4WS).

Рис. 2. Общий вид самоходной радиоуправляемой модели
Fig. 2. General view of the self-propelled radio-controlled model



Рис. 3. Разрушение межкамерного целика
Fig. 3. The destruction of the inter-chamber pillar

Подрезка пачки в почве



Подрезка угольной пачки в кровле и обрушение ложной кровли



Рис. 4. Подрезка защитной пачки угля в почве и кровле пласта
Fig. 4. Trimming a protective pack of coal in the soil and roof of the seam

На расстоянии от устья 70м



На расстоянии от устья 130м



Рис. 5. Проявление горного давления в виде пучения почвы камеры
Fig. 5. The manifestation of rock pressure in the form of heaving of chamber soil

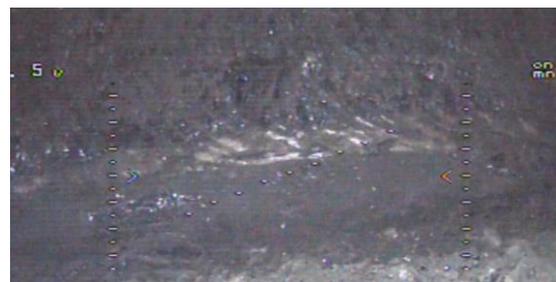


Рис. 6. Наличие включения породного прослоя
Fig. 6. The presence of inclusion of the rock layer

используется измерительная лента с отметками через каждые 5м;

- для улучшения проходимости и устойчивости машины произведено снижения высоты центра тяжести путем установки утяжелителей в колеса, переработана подвеска и установлены шины «низкого давления»;

- управление моделью, камерами, контроль заряда батареи, измерение удаления машины от устья камеры осуществляются с безопасного расстояния (в соответствии с правилами безопасности) с помощью дистанционного пульта,

видеошлема и мерной ленты.

Общий вид модели с учетом доработок представлен на рис. 2.

За период испытания и усовершенствования самоходной радиоуправляемой модели при отработке свиты мощных пластов (камер шириной 3,5м, высотой слоя до 3,0м, длиной до 165м, углом падения 20-25⁰) подобрано необходимое оборудование и комплектность для возможности осуществления мониторинга фактического состояния выемочных камер, целиков и процессов, происходящих в массиве:

- деформации (разрушение) в межкамерных целиках (рис. 3);
- устойчивость кровли, подрезка защитной пачки угля в кровле и почве пласта (рис. 4);
- проявление горного давления в виде пучения почвы (рис. 5);
- наличие включения породного прослоя, которое ранее принималось за подсечку почвы пласта и приводило к изменению траектории проведения камер или уменьшению вынимаемой мощности (рис. 6);
- место и масштаб обрушения пород кровли и зажатия оборудования (рис. 7)

- межкамерных целиков, для конкретных горногеологических и горнотехнических условий;
- необходимые параметры мощности защитных пачек угля в кровле и почве пласта;
- изменения траектории проведения камер в случаях подрезки защитной пачки угля и началах развития деформационных процессов в соседней камере;
- признаки, предшествующие преждевременному обрушению пород кровли;
- место, масштаб и причины зажатия оборудования в случаях преждевременного обрушения пород кровли и другие особенности

Начало участка обрушения пород в рабочей камере (общая длина участка 13м)



Разрушение межкамерного целика и пород кровли в смежной камере на участке деформаций



Рис. 7. Место и масштаб обрушения пород кровли и зажатия оборудования
Fig. 7. Location and scale of roof collapse and equipment clamping

Заключение

В ходе дальнейшего проведения видео мониторинга и накоплении наблюдений за процессами, происходящими в массиве, возможно установить следующее:

- время, характер и дополнительные факторы, влияющие на разрушение межкамерных целиков;
- минимально необходимые параметры

данной технологии, которые до этого момента контролировать не представлялось возможным.

Установка зависимостей от всех выше перечисленных факторов позволит оперативно вносить корректировки в параметры технологии КГРП, для обеспечения безопасного ведения горных работ, повысить качество добываемой продукции и полноту выемки запасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быкадоров А.И. Геотехнические аспекты проектирования и отработки угольных месторождений комбинированным (открыто-подземным) способом. / Ларичкин П.М., Свирко С.В. // ГИАБ № 6, 2015. С. 49-66.
2. Дегтярев Д.Н. Охотников К.В., Быкадоров А.И., Печенегов О.Ю. Геотехнические аспекты доработки прибортовых запасов на угольных разрезах Кузбасса. // Перспективы развития угольных регионов России: Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. - с.134-140
3. Нецветаев А.Г. Технология добычи угля с применением комплексов глубокой разработки пластов. / Репин Л.Н., Соколовский А.В. // Уголь. № 11 2004. С.41-43.
4. Технология глубокой разработки угольных пластов: анализ опыта внедрения на разрезе «Распадский». / Нецветаев А.Г., Репин Л.Н., Соколовский А.В., Юткин А.В. // Уголь. Февраль 2005. С.9-10.
5. Dixit S. Highwall Mining in India. Mine planning and equipment selection, Springer International Publishing, Dresden, 2013, pp. 175–176.
6. Prakash A. Highwall mining in India. Part II. Subsidence management mechanism at mine level / John L. P., Pal R. P. // Journal of Mines, Metals & Fuels. 2014. Vol. 62. No. 9–10. P. 254–262.
7. A Review of Highwall Mining Experience and Practice, in Naj Aziz and Bob Kinin-month (eds.) / Sungsoon Mo, Chengguo Zhang, Ismet Canbulat, Paul Hagan // Proceedings of the 16th Coal Operators'

Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 10-12 February 2016, pp. 522—530.

8. Application of highwall mining system in weak geological condition / Takashi Sasaoka, Tri Karian, Akihiro Hamanaka, Hideki Shimada, Kikuo Matsui // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2016 (September). Vol. 3. Issue 3. pp. 311—321.

9. Perry K. A. Influence of highwall mining progression on web and barrier pillar stability / Raffaldi M. J., Harris K. W. // *Mining Engineering*. 2015. Vol. 67. No. 3. P. 59–67.

10. Chandar K. R. et al. Classification of Stability of Highwall During Highwall Mining: A Statistical Adaptive Learning Approach // *Geotechnical and Geological Engineering*. 2015. Vol. 33. No. 3. P. 511–521.

11. Highwall mining stability // Taishan Academic Forum. Project on Mine Disaster Pre-vention and Control / Shen B. et al. // Atlantis Press, 2014.

12. Невцветаев А. Г. Технология безлюдной добычи угля с применением шнекобуровых машин / Григорян А. А., Пружина Д. И. // *Горная промышленность*. - 2015. - № 2 (120). - С. 60-63.

13. Технология «опережающей отработки» угольных пластов с применением комплекса глубокой разработки пластов / П. Ю. Филатов [и др.] // *Вестник НЦ ВостНИИ*. — 2017. — № 2. — С. 42—49.

14. Григорян А. А. Типизация горно-геологических и технологических условий для применения комплексов глубокой разработки пластов (на примере пласта «Кыргайский 63» Соколовского месторождения) // *Уголь*. 2014. № 8. С. 66–69.

15. Смирнов С. А. Результаты опытно-промышленных работ по доработке запасов каменноугольных месторождений за техническими границами разрезов комплексами глубокой разработки пластов / Печенегов О. Ю., Казаков А. С. // *Рациональное освоение недр*. - 2015. - № 4. - С. 58-62.

REFERENCES

1. Bykadorov A.I., Geotekhnicheskie aspekty proektirovaniya i otrabotki ugol'nykh mestorozhdenij kombinirovannym (otkryto-podzemnym) sposobom [Geotechnical aspects of design and mining of coal deposits by combined (open-underground) method], *GIAB* No. 6, 2015, pp. 49-66.

2. Geotekhnicheskie aspekty dorabotki pribortovykh zasapov na ugol'nykh razrezakh Kuzbassa [Geotechnical aspects of improvement of instrument reserves at coal mines of Kuzbass]. Degtyarev D.N., Okhotnikov K.V., Bykadorov A.I., Pechenegov O.YU. Perspekti-vy razvitiya ugol'nykh regionov Rossii [Prospects of development of coal regions of Russia]: Sbornik trudov V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii [Proceedings of the V International scientific and practical conference]. Prokopyevsk, publisher of the branch Kuzbass state technical University in Prokopyevsk, 2016. pp. 134-140.

3. Netsvetaev A.G. Tekhnologiya dobychi uglya s primeneniem kompleksov glubokoj razrabotki plastov [Technology of coal mining with the use of complexes of deep development of layers], Repin L.N., Sokolovskij A.V., *Coal*. November 2004, pp. 41-43.

4. Tekhnologiya glubokoj razrabotki ugol'nykh plastov: analiz opyta vnedreniya na razreze «Raspadskij» [Technology of deep development of coal seams: analysis of the experience of implementation in the section «Raspadsky»]., Netsvetaev A.G., Repin L.N., Sokolovskij A.V., YUtkin A.V., *Ugol*. February 2005, pp. 9-10.

5. Dixit S. Highwall Mining in India. Mine planning and equipment selection, Springer International Publishing, Dresden, 2013, pp. 175–176.

6. Prakash A. Highwall mining in India. Part II. Subsidence management mechanism at mine level, John L. P., Pal R. P., *Journal of Mines, Metals & Fuels*. 2014. Vol. 62. No. 9–10. pp. 254–262.

7. A Review of Highwall Mining Experience and Practice, in Naj Aziz and Bob Kininmonth (eds.), Sungsoon Mo, Chengguo Zhang, Ismet Canbulat, Paul Hagan, Proceedings of the 16th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 10-12 February 2016, pp. 522—530.

8. Application of highwall mining system in weak geological condition, Takashi Sasaoka, Tri Karian, Akihiro Hamanaka, Hideki Shimada, Kikuo Matsui, *International Journal of Coal Science & Technology*. 2016 (September). Vol. 3. Issue 3. pp. 311—321.

9. Perry K. A. Influence of highwall mining progression on web and barrier pillar stability, Raffaldi M. J., Harris K. W., *Mining Engineering*. 2015. Vol. 67. No. 3. pp. 59–67.

10. Chandar K. R. et al. Classification of Stability of Highwall During Highwall Mining: A Statistical Adaptive Learning Approach, *Geotechnical and Geological Engineering*. 2015. Vol. 33. No. 3. pp. 511–521.

11. Highwall mining stability, Taishan Academic Forum. Project on Mine Disaster Prevention and Control / Shen B. et al., Atlantis Press, 2014.

12. Netsvetaev A. G. Tekhnologiya bezlyudnoj dobychi uglya s primeneniem shnekoburovykh mashin [Technology of deserted coal mining with the use of auger machines], Grigoryan A. A., Pruzhina D. I., *Gornaya promyshlennost'*. 2015. No. 2 (120), pp. 60-63.

13. Tekhnologiya «operezhayushhej otrabotki» ugol'nykh plastov s primeneniem kompleksa glubokoj razrabotki plastov [Technology of "advanced mining" of coal seams using a complex of deep development of

layers], P. YU. Filatov [i dr.], Vestnik NTS VostNII. 2017., No. 2, pp. 42-49.

14. Grigoryan A. A. Tipizatsiya gorno-geologicheskikh i tekhnologicheskikh uslovij dlya primeneniya kompleksov glubokoj razrabotki plastov (na primere plasta «Kyrgajskij 63» Sokolovskogo mestorozhdeniya) [Typification of mining and geological and technological conditions for the use of complexes of deep development of layers (on the example of the layer "Kyrgyzaysky 63" Sokolovsky field)], Ugol'. 2014. No. 8, pp. 66–69.

15. Smirnov S. A. Rezul'taty opytно-promyshlennykh работ po dorabotke zapasov kamennougol'nykh mestorozhdenij za tekhnicheskimi granitsami razrezov kompleksami glubokoj razrabotki plastov [Results of experimental-industrial works on completion of reserves of coal deposits beyond the technical boundaries of sections by complexes of deep development of layers], Pechenegov O. YU., Kazakov A. S., Ratsional'noe osvoenie nedr. 2015. No. 4, pp. 58-62.

Поступило в редакцию 09.08.2019

Received 09 August 2019