

УДК 622.001.5.

## **ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСЧЕТЫ ПАРАМЕТРОВ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ КГРП**

Дегтярев Д.Н.<sup>1,2</sup>, аспирант гр. ФП-221, IV курс, зам. директора по производству - заведующий лабораторией геомеханики ПГР

Научный руководитель: Ренев А. А.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, зав. кафедрой РМПИ

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

<sup>1</sup>ООО «Сибирский институт геотехнических исследований» г. Прокопьевск

Технология с применением комплекса глубокой разработки пластов (КГРП) применяется во многих угледобывающих странах: США, Китай, Индия, Австралия, Индонезия, Россия и др.[1-7]. Данной технологией отрабатываются запасы, ранее относящиеся к забалансовым, которые сосредоточены между технической и лицензионной границей разреза. Технологию КГРП за рубежом относят к "зелёной" из-за отсутствия необходимости вовлекать дополнительные земли, она не требует рекультивационных работ, помогает продлить срок службы разреза и имеет низкую себестоимость добываемой продукции.

В России технология КГРП появилась впервые в 2004г. на разрезе Распадский, за период более 20 лет применялась на многих предприятиях: разрез «Баин-Зурхе» г. Якутия; Соколовское месторождение, при отработке пласта мощность 7,33 м (отработка велась на всю мощность); АО «ГОК «Денисовский»; «Отвальный Южный № 1» свита пластов 67-70; «Отвальный Южный № 2» Глубокий свита пластов 67-70; «Разрез Задубровский» свита пластов 6-9; ЗАО «Малые разрезы Нерюнгри» участка «Право-Кабактинский» пласты К-4, Д-11, Д-15; ООО «Разрез Евтинский Новый» пластов 4 и 5; АО «Междуречье» (уч. Основное поле); ЗАО «Распадская-Коксовая» на участке «Поле шахты №1»; АО ГОК «Инаглинский» пласт Д<sub>15</sub>; Участок «Урегольский 5-6»; АО «Черниговец» и др.

Технология относится к безлюдной, выработки проводятся без крепления, после проведения камеры формируется междукammerный целик, который служит для поддержания кровли и отработки камеры, после отработки расчетного количества камер формируется барьерный целик, который обеспечивает безопасность ведения горных работ в новом отрабатываемом блоке от геомеханических процессов в ранее отработанных блоках, транспортировка угля производится шнеками в штабель, далее погрузка производится погрузчиками и автотранспортом до угольного склада, с помощью этого же погрузчика осуществляется наращивание и уменьшение секций конвейерного става. Комплекс обслуживает бригада из 3-5 человек. Технические характеристики широко используемых комплексов позволяют проводить камеры длиной до 300м, однако есть комплексы с возможностью проведения до 500м.

Технология КГРП имеет ряд особенностей, осложняющих процесс выемки запасов, такие как отсутствие информации о процессах, происходящих во время и после отработки камер.

Китайские учёные в работе [8] пришли к выводу, что большинство методов исследования представляют собой численный анализ, сравнив и проанализировав применение физического моделирования и численного анализа в горном деле решили, что физическое моделирование имеет очевидные преимущества в изучении геомеханических процессов. Построили типичную инженерно-геологическую модель с горизонтальным залеганием слоев (по условиям отработки свиты пластов 6 и 9) для моделирования всего процесса: формирование группы выработок, разрушение междукammerных угольных целиков, неустойчивость кровли, развития деформации на поверхности. Характеристики разрушения угольного целика в типичном положении группы угольных выработок относительно выработки в течение всего процесса эксперимента 3D-модели фиксировались на видео. Моделирование геомеханических процессов на эквивалентных материалах даёт очень хорошие результаты и помогает, понять происходящие процессы, однако изменяя незначительно условия отработки, скорость отработки, физико-механические свойства пород, горно-геологические условия, будет полностью меняться картина происходящих процессов. В момент отработки запасов изменения условий происходит постоянно - это хорошо видно по фактическим выкопировка с планов горных работ [1-7].

На комплексе может быть установлена видео камера для помощи машинисту в следующем: контроль зоны входа - кровля, почва и определения ширины междукammerного целика в устьевой части, все эти процессы контролируются при проведении камеры непосредственно в забое [9]. Дальнейшая оценка состояние камеры в процессе добычи на различных участках не представляется возможным, без остановки и вытяжки комплекса, что приведет к увеличению времени отработки камеры/блока, длительным простоям (время вытяжки комплекса из камеры длиной 150-300 м составляет примерно 10-20 часов) и риск нахождения комплекса в незакрепленном пространстве. Отсутствует возможность обследования состояния и происходящих процессов в отработанных камер, и в процессе проведения камеры на различных её участках.

Для безопасного ведения горных работ и обеспечения полноты выемки запасов технологией КГРП с использованием рациональных коэффициентов запаса при расчёте параметров необходимо производить фактическую оценку параметров и происходящих процессов, как во время отработки, так и после.

Сибирским институтом геотехнических исследований разработан и внедрен метод дистанционной оценки происходящих процессов для технологии с применением КГРП [10], который позволяет как во время отработки камер, так и после производить обследование с возможностью фиксации деформационных процессов во времени.

По результатам длительных инструментальных [10] наблюдений в различных горно-геологических и горнотехнических условиях установлены причины недоработки камер до проектных параметров. К одной из которых относится преждевременное разрушение междукamerных целиков:

- изменение формы целика (увеличение его высоты) из-за изменения гипсометрии пласта и подрезки защитных угольных пачек происходит отслоение ложной и неустойчивой непосредственной кровель рисунок 2;
- длительные простои при ремонте оборудования, рисунок 3;
- влияние зон повышенного горного давления ПГД, рисунок 4;
- не выявленные мелкоамплитудные нарушения.



Рисунок 2 – Отслоение неустойчивых пород кровли и увеличение высоты целика

Вне зоны ПГД



В зоне ПГД

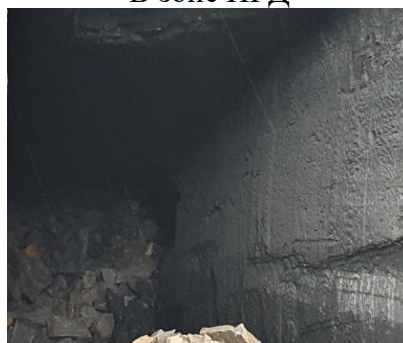


Рисунок 3 - Разрушение междукamerного целика при длительных простоях



Рисунок 4 - Отклонение комплекса при проведении камеры и подрезка междукamerного целика

В сложных горно-геологических условиях, при изменении гипсометрии пласта, для полноты выемки запасов и обеспечения безопасного ведения горных работ производится оценка отработанной камеры, фиксируются участки подрезки защитной угольной пачки или ее недостаточная мощность, по результатам которой корректируются углы проведения следующей камеры.

При отработке свиты пластов на нижележащий пласт оказывают влияние зоны ПГД от целиков и краевых частей, оставленных на ранее отработанном пласте. [11-13]

При проведении подземных горных выработок в зонах ПГД, для безаварийного поддержания в соответствии с требованиями нормативных документов [14-15], увеличиваются расчётные смещения, следовательно, повышается плотность установки крепи, меняется тип крепи (одноуровневая, двухуровневая, рамная, комбинированная), длина анкеров.

Выработки КГРП проводятся без крепления, поддержание кровли происходит за счёт междуканнерных целиков, при отработке запасов в зонах ПГД происходит дополнительная нагрузка на целики, необходимо выбрать ширину междуканнерных целиков с учётом осложняющих факторов, которые не учитываются в методике [16]. По результатам длительных наблюдений при отработке запасов в зонах ПГД [10, 11] установлено, что безопасные условия обеспечиваются при увеличении целика до 25% в зависимости от дальности влияния зоны.

В работе [19] установлено, что значительная часть времени, около 30% затрачивается на простои это ремонт оборудования, ожидание запчастей и взрывных работ. В связи с длительными простоями с помощью дистанционного метода производилась съёмка состояния боков камер с последующей оценкой величины вывалов угля. Результат наблюдений, зависимость отношения величины отжима из боков выработки к высоте выработки, приведены на графике (рисунки 5, 6).

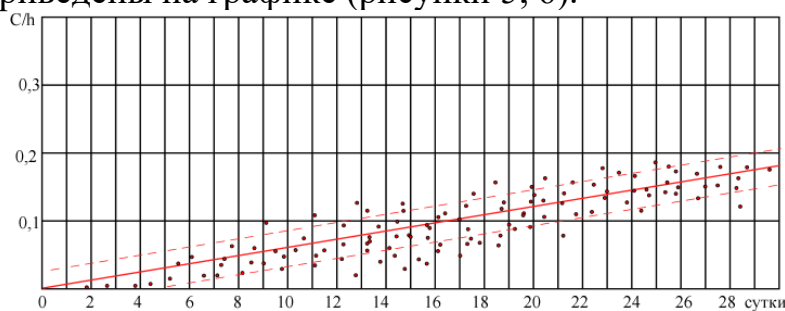


Рисунок 5 - График зависимости отношения  $C/h_k$  от времени ( $R_{cy} > 10 \text{ МПа}$ )

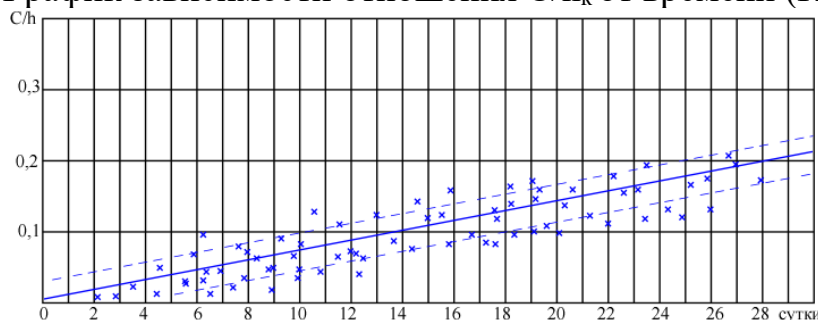


Рисунок 6 – График зависимости отношения  $C/h_k$  от времени ( $R_{cy} \leq 10 \text{ МПа}$ )

Из графиков видно, что процесс высыпания угля из боков начинается после проходки камеры через 4-5 дней при расчетной прочности угля более 10 МПа и после 2 - 3 дней при расчетной прочности угля менее 10 МПа и заканчивается примерно через 25-30 суток после обнажения. Величина обнажения  $C$  не превышала 0,7 м, а отношение  $C/h$  было не более 0,25, из чего можно заключить, что отжим угля с боков камер происходит примерно под углом полных сдвижений [10, 11, 17]

Аналогичные наблюдения проводились на участках в зонах ПГД, в частности в зонах повышенной опасности, там процессы сдвижения заканчивались через 15-20 дней (рисунки 7 и 8) [10, 11].

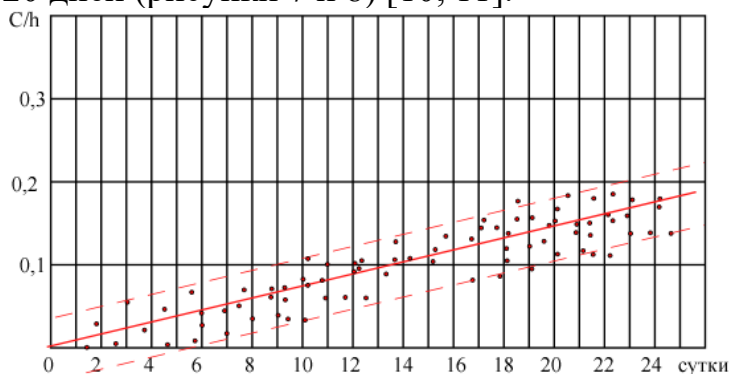


Рисунок 7 - Зависимость отношения  $C/h_k$  от времени в зоне ЗПО ( $R_{cy} > 10 \text{ МПа}$ )

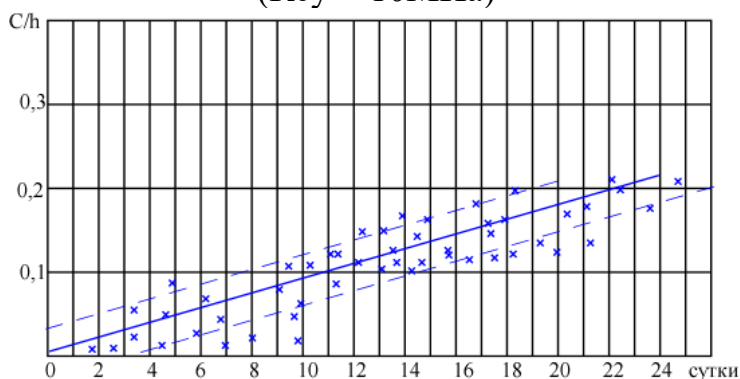


Рисунок 8 - Зависимость отношения  $C/h_k$  от времени в зоне ЗПО ( $R_{cy} \leq 10 \text{ МПа}$ )

Приближенно, зависимость отношения  $C/h$  от времени  $T$  выражается формулой:

$$C/h \approx K_0 T, \quad (1)$$

где  $K_0$  - коэффициент отжима;

$T$  - время, сут.

Величина коэффициента  $K_0$  и границы применимости формулы приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Величина коэффициента отжима

| Горнотехнические условия | $K_0$ | Границы применимости                        |
|--------------------------|-------|---------------------------------------------|
| Вне зон ПГД              | 0,7   | $R_{cy} \leq 10 \text{ МПа}$ и $0 < T < 30$ |
|                          | 0,6   | $R_{cy} > 10 \text{ МПа}$ и $0 < T < 30$    |
| В зоне ПГД               | 0,9   | $R_{cy} \leq 10 \text{ МПа}$ и $0 < T < 25$ |
|                          | 0,72  | $R_{cy} > 10 \text{ МПа}$ и $0 < T < 25$    |

С целью исключения преждевременного разрушения междукammerного целика при длительном простое, его ширину необходимо увеличить в соответствии с таблице 1.

Для исключения сбойки соседних камер между собой в современных комплексах КГРП используется позиционирующее оборудование OСТANS, которое при отклонении (срабатывании междукammerного целика) включает систему «подруливания» рабочего органа [18] по технической характеристики она включается при отклонении комплекса до  $1^\circ$ , при длине камер 100м и 200м максимальное отклонение 1,7м и 3,4м соответственно. По результатам длительных наблюдений фиксируется постоянное включение системы и установлена величина фактического отклонения, которая составляет  $\psi=0,4^\circ$ .

Минимальная ширина междукammerного целика по опыту работы должна быть не менее одной трети высоты камеры, кроме того, для исключения сбойки соседних камер между собой ширину междукammerного целика следует принимать исходя из следующего выражения:

$$B_{\text{мкц}} \geq L \cdot \operatorname{tg} \psi, \quad (2)$$

где  $L$  - длина камеры, м;

$\psi$  - допустимое отклонение от параллельности камер,  $\psi=0,4^\circ$ .

#### Выводы

1. Технология с применением КГРП получила широкое распространение как в России, так и за рубежом. Отрабатываются запасы, ранее относящиеся к забалансовым, которые сосредоточены между предельной технической и лицензионной границей.

2. Оптимальный расчет параметров технологии позволяет обеспечивать полноту выемки запасов и производить безопасную отработку.

3. Применение расчетов основанных на методах конечных элементов, эмпирических коэффициентах или при помощи 3D моделирования не обеспечивает безаварийность ведения горных работ, так как принятые коэффициенты в эмпирических формулах или расчеты, основанные на методе конечных элементов необходимо апробировать в конкретных условиях, а в безлюдной технологии это выполнить практически невозможно. При незначительном изменении условий отработки будет происходить недоработка камер до проектных параметров, что и происходит при применении технологии.

4. Расчет параметров междукammerных целиков [16] не учитывает длину отработки камеры, времени устойчивости, величину разрушения целика при длительных простоях, возможное отклонение комплекса, а также влияние зон ПГД. В процессе ведения горных работ приходилось корректировать параметры для снижения рисков аварийных простоев и возможности дальнейшего безопасного ведения горных работ (уменьшалась длина камер, количество камер в блоке ( $S$  блока), увеличивалась ширина междукammerных целиков, уменьшалась вынимаемая мощность пласта).

5. Разработанный и внедренный метод дистанционной оценки параметров технологии КГРП позволил установить зависимости в различных условиях отработки, а также влияние условий на параметры отработки, в ре-

зультате чего может быть достигнута безаварийность ведения горных работ и полнота выемки запасов.

6. Установлено, что расчет параметров междукammerных целиков необходимо производить с учетом возможного отклонения комплекса, влияния зон ПГД, величины отжима в зависимости от скорости отработки. При длительных простоях необходимо увеличивать ширину междукammerного целика.

#### Список литературы:

1. Proceedings of the 24th International Conference on Ground Control in Mining, August 2-4, 2005, Morgantown, West Virginia. Peng SS, Mark C, Tadolini SC, Finfinger GL, Khair AW, Heasley KA, eds. Morgantown, WV: West Virginia University, 2005 Aug; : - P. 208-217.

2. Tian, Y.; Tu, L.; Lu, X.; Zhou, W.; Jiskani, I.M.; Liu, F.; Cai, Q. Stability Analysis of Multi-Layer Highwall Mining: A Sustainable Approach for Thick-Seam Open-Pit Mines. Sustainability 2023. – p. 19.

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

4. Karra, Ram Chandar & Gowtham Kumar, Bonu. (2014). Effect of width of gallery of highwall mining on stability of highwall: A numerical modelling approach. International Journal of Mining and Mineral Engineering. 5. P. 212–228.

5. Sasaoka, T., Karian, T., Hamanaka, A. *et al.* Application of highwall mining system in weak geological condition. *Int J Coal Sci Technol* 3, P. 311–321 (2016).

6. Дегтярёв, Д. Н. Геотехнические аспекты доработки прибортовых запасов на угольных разрезах Кузбасса / Д. Н. Дегтярёв, К. В. Охотников, А. И. Быкадоров, О. Ю. Печенегов // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф. – Прокопьевск : филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. – С. 134–140.

7. Нецветаев, А. Г. Развитие технологии безлюдной угледобычи с применением комплексов КГРП / А. Г. Нецветаев, А. А. Григорян, Д. И. Пружина // Горная промышленность. – 2015. – № 4 (122). – С. 87-95.

8. Ding, X., Li, F., Wang, Z. *et al.* Physical Model Experimental Study on the Coalface Overburden Movement Law on the End Slope of an Open-Pit Mine. *Geotech Geol Eng* 40, 4859–4877 (2022).

9. Wang, F., Zhang, C., Reasonable coal pillar design and remote control mining technology for highwall residual coal resources. *R Soc Open Sci.* 1 April 2019; 6 (4): 181817.

10. Дегтярёв, Д. Н. Видеомониторинг состояния камер и целиков при отработке запасов технологией глубокой разработки пластов / Д. Н. Дегтярёв, А. И. Быкадоров, А. А. Ренев, В. А. Волынкин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 6. – С. 56–63.

11. Отчет «Научное сопровождение с проведением комплексного мониторинга безопасности технологии отработки свиты угольных пластов в условиях участка «Отвальный Южный №2 Глубокий» комплексом глубокой разработки пластов (КГРП): ООО «СИГИ» : разраб.: А. И. Быкадоров [и др.]. – Прокопьевск ;, 2017. - 194 с.

12. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 07 декабря 2023 г. № 441 "Об утверждении Руководства по безопасности "Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах".

13. Ардашев К.А. (отв. Ред) и др. Управление горным давлением и борьба с горными ударами.- Л. : ВНИМИ, 1980. - 152 с.

14. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах» : утверждены приказом федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2020 г. № 448 : введены в действие с 01.01.2021.

15. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок : Издание второе, переработанное и дополненное / Минуглепром СССР. – Санкт-Петербург : ВНИМИ, 1991. – 125 с.

16. Рекомендации по обеспечению геомеханической безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых комплексом глубокой разработки (КГРП) / УФ ВНИМИ. – Екатеринбург ; Кемерово, 2005. – 29 с.

17. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях : ПБ 07-269-98 : утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 16.03.1998 № 13 : введены в действие с 01.10.1998. – Москва : [б. и.], 1998.

18. Руководство по быстрому запуску OСТANS навигация и позиционирование на поверхности, 20с

19. Дегтярёв, Д. Н. Геотехнические аспекты доработки прибортовых запасов на угольных разрезах Кузбасса / Д. Н. Дегтярёв, К. В. Охотников, А. И. Быкадоров, О. Ю. Печенегов // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф. – Прокопьевск : филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. – С. 134–140.