

А.Н. Кочуров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДОВ ОТЖИМА УГОЛЬНОГО МАССИВА В ОЧИСТНОЙ ЗАХОДКЕ

Рассмотрены различные периоды деформации крепи: начальный период упругой деформации крепи; промежуточный и конечный. Проанализирован выбор критерия оценки степени разрушенности угольного массива силами горного давления, который связан с образованием системы трещин в различных направлениях массива. Трещины представлены как разнонаправленные плоскости разделения и смещения отдельных частей массива относительно друг друга, которые имеют определенную толщину и фиксированный объем, заполненный газом, и по отношению к не разрушенному угольному массиву являются пустотой. Части массива, находящиеся на окончательной стадии разрушения, представлены в виде отдельностей оконтуренных со всех сторон пустотой, которая различается по типам.

Ключевые слова: моделирование, период, зона отжима, угольный массив, очистная заходка, гидравлическая выемка.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-15-20

Исследование процессов гидроотбойки угля за рубежом были свернуты в 70-х годах прошлого столетия. В нашей стране они продолжались до 90-х годов и были прекращены с началом перестройки. За этот период были разработаны и внедрены локальные гидроучастки с подземным замкнутым циклом водоснабжения с производительностью 2–2,5 тыс. т в сутки, обеспечивающие эффективную доработку целиков, запасов со сложными горно-геологическими условиями и в зонах нарушений. Анализ работ [1–12] показал, что в теоретическом плане не были обоснованы параметры зон отжима, которые сопутствуют механической выемке угля, но не проявляются резко, как при гидродобыче угля, и мало влияют на производительность, при этом оказывают негативное воздействие на крепь, образуют внезапные вывалы, что требу-

ет дополнительных затрат и времени на их устранение.

Анализ отжима угольного массива по периметру выработки показывает, что он связан с различными периодами деформации крепи.

1. Начальный период упругой деформации крепи связан с заполнением пустот, оставленных при проведении выработки и пустот, образованных при упругой деформации крепи и сжатию забутовочного материала. Завершение начального этапа связано с подбучиванием, удаляемой обнаженной поверхности угольного массива и отжатым слоем разрыхленного угля, а получаемые размеры первой зоны полного отжима являются исходными для формирования размеров второй зоны полного отжима.

2. Промежуточный период упругой деформации крепи, начинается после

образования первой зоны полного отжима. После подбучивания обнаженной поверхности массива на крепь воздействует вес отжатого слоя и силы горного давления. Горное давление передается на крепь выработки через отжатый слой угля и угольный массив находится в подбученном объемно сжатом состоянии, поэтому:

- отсутствует возможность отжима угля под действием собственного веса;
- разрушение массива происходит за счет образования структурных трещин.

В этом периоде отжима угля не происходит, невзирая на наличие деформации крепи, поэтому размеры первой зоны полного отжима не меняются.

3. Конечный период деформации крепи, за пределами упругости с разрушением ее элементов под действием сил опорного горного давления, приводит к образованию второй зоны полного отжима угля по периметру выработки. При формировании зоны возникают следующие процессы в системе «крепь—массив»:

1. После превышения предельно допустимых нагрузок на крепь происходит разрушение элементов крепи и скачкообразно возрастает деформация всей рамы, за счет энергии накопленной при упругом взаимодействии с массивом, которая выражается в виде:

- динамического смещения разрушенных частей элементов крепи;
- динамического сближения не разрушенных элементов крепи.

2. После деформации рамы крепи происходит перераспределение объема сыпучего отжатого угля в ранее образованной первой зоне полного отжима за счет его смещения в направлении произошедших деформаций.

3. После смещения ранее отжатого угля первой зоны полного отжима образуются пустоты в виде межзонального зазора между поверхностью массива и поверхностью смещенного отжатого угля.

4. После образования пустот в виде межзонального зазора вторично запускается процесс отжима угля на обнаженной поверхности массива, который протекает быстро, чему способствует предварительное разрушение угольного массива горным давлением. Процесс отжима заканчивается после подбучивания удаляющейся обнаженной поверхности отжатым углем и в результате вторичного отжима угля образуется вторая зона полного отжима.

5. После разрушения элементов крепи возникает деформационная пауза, в течение которой на крепь воздействует возрастающее давление со стороны перераспределяемого первого и формируемого второго слоя отжатого угля и не действует горное давление со стороны угольного массива: пауза начинается после разрушения элементов крепи и заканчивается после подбучивания обнаженной поверхности, когда горное давление со стороны массива передается на крепь выработки. В этот период времени рабочими очистного забоя производится усиление разрушенных элементов рам крепи.

При определении параметров зон разрушения массива силами горного давления возникает задача выбора критерия оценки степени его разрушенности, который связан с образованием системы трещин в различных направлениях угольного массива. Трещины представляются как разнонаправленные плоскости разделения и смещения отдельных частей массива относительно друг друга, которые имеют определенную толщину и фиксированный объем, заполненный газом, и по отношению к не разрушенному угольному массиву являются пустотой.

Части массива, находящиеся на окончательной стадии разрушения, представляются в виде отдельностей оконтуренных со всех сторон пустотой.

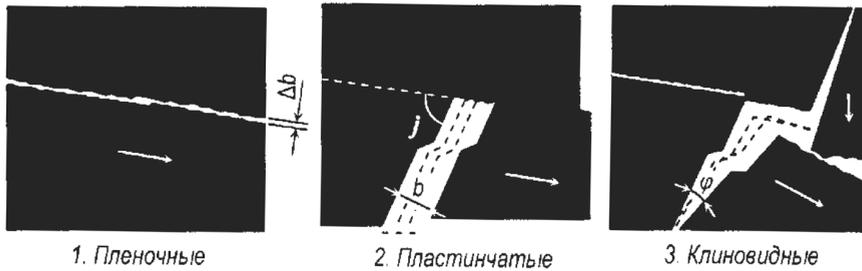


Рис. 1. Схемы образования локальных пустот в массиве

Общая пустотность массива разрушенного трещинами формируется за счет комбинации следующих основных типов локальных пустот (рис. 1):

1. Пленочная пустота — имеет малую толщину Δb с неровными поверхностями взаимодействующими между собой за счет сил трения. Пленочная пустота образуется в процессе реализации внутренних напряжений под действием сил горного давления по напластованию при смещении слоев массива относительно друг друга.

2. Пластинчатая пустота, имеющая различную толщину b с неровными параллельно расходящимися участками поверхности, которая образуется за счет отрыва отдельных частей массива или разрыва его материнского тела, а также при расширении природных трещин при параллельном смещении слоев массива относительно друг друга. Пластинчатые пустоты появляются совместно с пленочными пустотами под некоторым углом $j = 60-90^\circ$ к их поверхности.

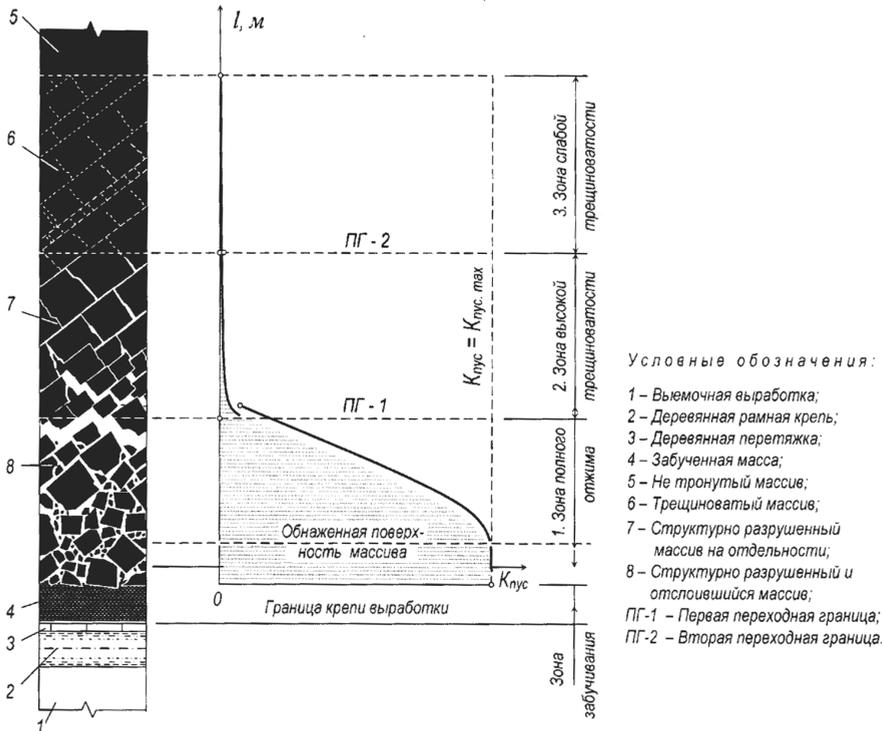


Рис. 2. Изменение коэффициента пустотности $K_{\text{пус}}$ по глубине l угольного массива после длительного воздействия сил горного давления на горную выработку

3. Клиновидная пустота — имеет участки поверхности, расходящиеся под углом φ друг к другу и образуется при смещении, отрыве (разрыве) частей массива с их изгибом после образования пленочных и пластинчатых пустот.

Пленочные и пластинчатые пустоты малой толщины характерны для трещин расположенных в глубине массива. Пластинчатые пустоты большой толщиной и клиновидные пустоты характерны для трещиноватого массива расположенного у обнаженных поверхностей.

Процесс разрушения угольного массива связан с коэффициентом пустотности $K_{пн}$, показывающим долю пустот в разрыхленном объеме. Процесс образования пустот представляется, как постепенное их проникновение от обнаженной поверхности выработки в глубь массива. Чем больше нарушен массив, тем выше его коэффициент пустотности, который имеет максимальное значение на обнаженных поверхностях массива выработки и постепенно снижается по глубине до минимального или нулевого значения (рис. 2).

Для системы «крепь — массив» можно записать условие баланса при котором объем пустот $V_{сп}$, образуемый между обнаженной поверхностью массива и крепью выработки, должен коррелировать с объемом пустот в отжатом массиве $V_{от}$

$$V_{от} \leq V_{сп}, \quad (1)$$

где $\Delta V_{сп}$ — удельный объем пустот оставляемых по контуру крепи выработки, а также образуемых пустот в результате сжатия забутовочного материала и деформации крепи под давлением отжатого массива; $\Delta V_{от}$ — удельный объем пустот в сыпучем материале зоны полного отжима массива по периметру выработ-

ки при условии подбучивания обнаженной поверхности массива.

Проведенный анализ показывает, что отжим массива по периметру выработки под действием сил горного давления в процессе ожидания очистных работ продолжается, пока между поверхностью обнажения и слоем отжатого сыпучего материала имеется зазор. В результате разрыхления отжатого массива величина зазора постепенно снижается, а в момент подбучивания обнаженной поверхности процесс отжима заканчивается. Расстояния, на которых происходит подбучивание обнаженной поверхности массива, соответствуют придельной толщине слоя отжатого массива.

Подбучивание обнаженной поверхности массива отжатым слоем означает, что объем оставляемых и создаваемых пустот полностью израсходован на разрыхление отжатого сыпучего материала и наступил баланс пустот

$$\Delta V_{сп} = \Delta V_{от}. \quad (2)$$

Удельный объем пустот в сыпучем материале $\Delta V_{от}$ зоны полного отжима массива в уравнении (2) определяется по формуле

$$\Delta V_{от} = R_i K_{пн,ci} \Delta S, \quad (3)$$

где R_i — размер любой i -ой зоны отжима; $K_{пн,ci}$ — среднее значение коэффициента пустотности в i -ой зоне отжима; ΔS — удельная площадь в основании удельного объема отжатого массива.

Удельный объем пустот $\Delta V_{сп}$ по периметру выработки в уравнении баланса пустот (2) определяются как сумма пустот оставляемых по контуру крепи выработки, а также образуемых в результате сжатия забутовочного материала и деформации крепи под давлением отжатого массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомичев С. Г. Имитационное моделирование процессов гидравлической выемки угля для обоснования параметров технологии очистных работ. Дисс. канд. техн. наук. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1997. — 190 с.

2. Теодорович Б. А., Цяпко Н. Ф., Гефт В. Б. Методы расчета производительности гидромонитора по базовой производительности гидровыемки / Вопросы гидравлической добычи угля. Сборник статей. Труды ВНИИГидроугля. Вып. 16. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1969. — 138 с.

3. Гефт Ю. Б., Плетнев О. Н., Хазов В. М., Цяпко Н. Ф. К вопросу выявления резервов производительности гидромониторов и энергоемкости гидророботки / Вопросы гидравлической добычи угля. Сборник статей. Труды ВНИИГидроугля. Вып. 13. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1966. — С. 42–50.

4. Гефт Ю. Б. Определение влияния мощности пласта на производительность гидромонитора / Вопросы гидравлической добычи угля. Сборник статей. Труды ВНИИГидроугля. Вып. 15. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1968. — С. 52–58.

5. Гефт Ю. Б. Некоторые результаты исследований гидромониторной выемки на действующих гидрошахтах Кузбасса / Вопросы гидравлической добычи угля. Сборник статей. Труды ВНИИГидроугля. Вып. 16. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1969. — С. 87–90.

6. Цяпко Н. Ф., Гефт Ю. Б. Зависимость производительности струи гидромонитора от расстояния до насадка / Вопросы гидравлической добычи угля. Сборник статей. Труды ВНИИГидроугля. Вып. 1. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1968. — С. 12–16.

7. Гефт Ю. Б., Хазов В. М. Изменение производительности гидромонитора в блоке по мере развития горных пород / Вопросы гидравлической добычи угля. Сборник статей. Труды ВНИИГидроугля. Вып. 21. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1970. — С. 94–100.

8. Бартышев А. В. Эмпирическая модель разрушения угольного массива струей гидромонитора / Труды 6-й Всероссийской конференции «Краевые задачи и математическое моделирование». — Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2004. — С. 32–40.

9. Шавловский С. С. Основы динамики струй при разрушении горного массива. — М.: Наука, 1979. — 432 с.

10. Бартышев А. В. Полуэмпирическая модель гидромониторной струи / Информационные технологии в экономике, промышленности и образовании. — М., 2003. — С. 54–58.

11. Кузьмич И. А., Никонов Г. П., Гольдин Ю. А. Разрушение горных пород струями воды высокого давления. — М.: Недра, 1985. — 173 с.

12. Стефанюк Б. М. Снижение энергозатрат гидравлической технологии добычи угля. Дисс. докт. техн. наук. — Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1998. — 352 с. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Кочуров Андрей Николаевич — заместитель главного технолога службы крепления горных выработок филиала ООО «Сибнииглеобоготение», г. Прокопьевск.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 4, pp. 15–20.

A.N. Kochurov

MODELING COAL SLOUGHING PERIODS IN EXCAVATIONS

The analysis of coal sloughing at the boundaries of excavations shows that the sloughing process is connected with different periods of deformation of excavation support. The initial period of elastic deformation of excavation support is associated with the fill of voids, generated during construction of excavation, elastic deformation of support and compression of cushioning material. At the end of the initial period, exposed and sloughed coal lies on the cushion, and the size of the first sloughing zone is the initial dimension for the second zone of sloughing. The intermediate period of elastic deformation of excavation support starts after the first sloughing zone has been formed: the exposed surface is backed by the support which is subjected to the action of sloughing layer weight and rock pressure. The rock pressure is transmitted to the support through the sloughing layer, and coal experiences triaxial compression. The final period of post-elasticity deformation of support and failure of its element under the ground pressure results in formation of the second zone of coal sloughing along the excavation boundaries. In order to determine parameters of failure zones in rock mass due

to rock pressure, it is required to select the rock mass damage criteria connected with the formation of system of differently oriented joints. The joints are presented as differently directed planes of separation and displacement of rock mass parts relative one another, having certain thickness and fixed volume filled with gas; relative to unbroken coal, these joints are voids. Rock mass parts, which at the final stage of failure, are presented as joints surrounded by voids of different types.

Key words: modeling, period, sloughing zone, coal, excavation, hydraulic mining.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-15-20

AUTHOR

Kochurov A.N., Deputy Chief Technologist of Walling Service of the Branch of LLC «Sibniugleobogaschenie», Prokopievsk, Russia.

REFERENCES

1. Fomichev S. G. *Imitatsionnoe modelirovanie protsessov gidravlicheskoj vyemki uglya dlya obosnovaniya parametrov tekhnologii oshchistnykh rabot* (Simulation modeling of the processes of hydraulic coal mining for substantiation of the parameters of mining technology), Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1997, 190 p.
2. Teodorovich B. A., Tsyapko N. F., Geft V. B. *Voprosy gidravlicheskoj dobychi uglya. Sbornik statey. Trudy VNIIGidrouglya*. Vyp. 16 (Questiones of hydraulic coal mining. Collected papers. Proceedings of VNIIGidrougol, issue 16), Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1969, 138 p.
3. Geft Yu. B., Pletnev O. N., Khazov V. M., Tsapko N. F. *Voprosy gidravlicheskoj dobychi uglya. Sbornik statey. Trudy VNIIGidrouglya*. Vyp. 13 (Questiones of hydraulic coal mining. Collected papers. Proceedings of VNIIGidrougol, issue 13), Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1966, pp. 42–50.
4. Geft Yu. B. *Voprosy gidravlicheskoj dobychi uglya. Sbornik statey. Trudy VNIIGidrouglya*. Vyp. 15 (Questiones of hydraulic coal mining. Collected papers. Proceedings of VNIIGidrougol, issue 15), Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1968, pp. 52–58.
5. Geft Yu. B. *Voprosy gidravlicheskoj dobychi uglya. Sbornik statey. Trudy VNIIGidrouglya*. Vyp. 16 (Questiones of hydraulic coal mining. Collected papers. Proceedings of VNIIGidrougol, issue 16), Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1969, pp. 87–90.
6. Tsyapko N. F., Geft Yu. B. *Voprosy gidravlicheskoj dobychi uglya. Sbornik statey. Trudy VNIIGidrouglya*. Vyp. 1 (Questiones of hydraulic coal mining. Collected papers. Proceedings of VNIIGidrougol, issue 1), Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1968, pp. 12–16.
7. Geft Yu. B., Khazov V. M. *Voprosy gidravlicheskoj dobychi uglya. Sbornik statey. Trudy VNIIGidrouglya*. Vyp. 21 (Questiones of hydraulic coal mining. Collected papers. Proceedings of VNIIGidrougol, issue 21), Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1970, pp. 94–100.
8. Bartyshv A. V. *Trudy 6-y Vserossiyskoj konferentsii «Kraevye zadachi i matematicheskoe modelirovanie»* (Proceedings of the 6th all-Russian conference «Boundary value problems and mathematical modeling»), Novokuznetsk, NFI KemGU, 2004, pp. 32–40.
9. Shavlovskiy S. S. *Osnovy dinamiki struy pri razrushenii gornogo massiva* (Fundamentals of jet dynamics in the destruction of the mountain massif), Moscow, Nauka, 1979, 432 p.
10. Bartyshv A. V. *Informatsionnye tekhnologii v ekonomike, promyshlennosti i obrazovanii* (Information technologies in Economics, industry and education), Moscow, 2003, pp. 54–58.
11. Kuz'mich I. A., Nikonov G. P., Gol'din Yu. A. *Razrushenie gornyx porod struyami vody vysokogo davleniya* (Destruction of rocks by high-pressure water jets), Moscow, Nedra, 1985, 173 p.
12. Stefanyuk B. M. *Snizhenie energozatrat gidravlicheskoj tekhnologii dobychi uglya* (Reduction of energy consumption hydraulic technology of coal mining), Doctor's thesis, Novokuznetsk, VNIIGidrougol', 1998, 352 p.

FIGURES

Fig. 1. Schemes of formation of local voids in rock mass.

Fig. 2. Depth-wise change of the void coefficient K_{void} in coal after long-term effect of rock pressure on underground excavation.