

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Виконано аналіз активних та неактивних способів керування станом масиву гірських порід. В якості активного способу найбільш перспективним виглядає спосіб вібраційної дії на вугільний пласт через вмщуючі породи.

ANALYSIS WAYS OF CONTROL STATE OF ROCK MASSIF

The analysis of the active and inactive ways to control state of the rock massif. The active method looking the most perspective of vibration impact on the coal bed in the host rocks.

Под термином «управление состоянием горного массива» понимается совокупность мероприятий по целенаправленному переводу массива в заведомо устойчивое состояние, близкое к предельному, или неустойчивое состояние. Осуществляется путем изменения в процессе разработки формы, параметров и продолжительности обнажения горных пород, а также изменения физико-механических свойств пород, обеспечивающих экономическое и безопасное ведение горных работ [1].

В настоящее время различают методы управления состоянием горного массива с учетом пассивных и активных факторов, определяющих это состояние [2, 3].

К пассивным факторам состояния горного массива, относятся природные факторы, сложившиеся в процессе образования месторождений полезных ископаемых. Для угольных пластов ими являются физико-механические свойства и структура среды, а также ее компоненты: твердое вещество и заполняющий пустоты флюид. Управление состоянием массива достигается дополнительным к основному технологическому процессу отработки пласта воздействием (региональным или локальным) на него, обеспечивающим направленное изменение характеристик указанных факторов. К таким воздействиям относятся инъекции упрочняющих или пластифицирующих растворов, дополнительное разупрочнение массива, интенсификация фильтрационных процессов и т.п. Несмотря на комплексное влияние указанных воздействий на общее состояние горного массива, в их основу положен принцип изменения свойств и структуры среды [4].

Сложная структура среды, составляющей горный массив, установлена многочисленными исследованиями [5, 6]. Во многих работах прослеживается ее взаимосвязь с основными физико-механическими характеристиками горного массива.

В работе [7] авторы отмечают пористость как главный фактор, определяющий механические свойства горных пород. Поиск взаимосвязи этих факторов потребовал разработки расчетных методов оценки характеристик среды с учетом пористости и трещиноватости на основе новых математических моделей, использующих экспериментальные данные. Полученные

зависимости позволили прогнозировать направленное изменение свойств среды.

В работе [8] для модели, состоящей из сферических элементов, расположенных в узлах кубической решетки, экспоненциальная зависимость прочности и модуля упругости от пористости в виде показательной функции. Эта модель позволяет определять влияние величины площади контакта между структурными элементами среды на ее свойства.

Авторы работы [9], используя детерминистический подход к описанию поведения материала, поэтапно усложняют предыдущую задачу, учитывая последовательно структурные факторы и свойства среды: наличие остроконечных дефектов типа трещин, интегральной пористости, функций распределения пор по размерам, абсолютного размера пор по отношению к размерам трещин и объемное насыщение таких трещин, степень неупорядоченности, распределения пор в объеме и др. Рассматривая плоскую модель (пластинка с ромбовидными или квадратными ячейками под действием равномерного растяжения), авторы получили простые зависимости для оценки характеристик прочности.

В работах [10, 11] предложен метод оценки эффективных характеристик среды, содержащей систему параллельных изолированных газонаполненных трещин, взаимодействующих между собой и растущих в процессе изменения внешней нагрузки. Установлено, что при возрастании напряжения, начиная с определенного радиуса трещины, связанного с модулем сцепления материала и его упругими характеристиками, начинается рост трещин. При этом модули упругости и сдвига уменьшаются при достаточном сбросе внешней нагрузки более чем на порядок. Выполненные исследования позволили выявить зависимость характеристик пористой газонасыщенной среды от величины перераспределения напряжений. Однако, использование этой зависимости осложняется трудоемкостью учета ее составляющих в математических расчетах.

Более простые зависимости для расчетов эффективных характеристик материалов с различной пористостью представлены в обзоре [11]. Для сложного вещества с рассеянными частицами (порами) при малой концентрации включений оценку объемного модуля и модуля сдвига предлагается определять через отношение упругих модулей частиц (или вещества, заполняющего пустоты) и матрицы (скелета). При этом связь механических характеристик среды с пористостью носит характер прямо пропорциональной зависимости.

Результаты проведенных исследований показывают, что направленным изменением пористости можно управлять состоянием среды.

Экспериментальные испытания угольных образцов на одноосное растяжение под давлением позволили выявить существенное влияние сорбированного газа на величины модуля упругости и предельной прочности на разрыв [12]. Эти данные подтверждают вывод о том, что, изменяя свойства жидкости или газа, находящихся в пустотах среды, можно изменять напряженно-деформированное состояние горного массива.

Вид пористости оказывает влияние на процессы фильтрации в породах, а

сама пористость является определяющим фактором в геологических условиях формирования и управления течением жидкости через пористые среды [13]. В условиях фильтрации изменяется прочность и разрушение газоносных горных пород [14]. Установлено ослабляющее влияние газа на прочность горных пород, которое в условиях объемного напряженного состояния двухфазной среды описывается экспоненциальной зависимостью [15].

Гидростатическое сжатие насыщенных образцов показывает, что рост порового давления начинается при закрытии незаполненных пор, при этом скачком меняется сжимаемость среды [16]. Скачкообразное изменение свойств среды резко изменяет условия деформирования и разрушения пород. Особенно это влияние существенно в условиях повторно-переменных циклических нагрузок [17], термоциклическом воздействии [18]. В условиях объемного напряженного состояния в грунте, подвергающемся действию циклической нагрузки, происходит накопление порового давления, что приводит к изменению общего напряженного состояния среды вблизи области разрушения [19].

Проведенный анализ показывает, что, определив характеристики среды, можно направленно изменять пассивные факторы горного массива (прочность, упругие свойства, напряженное состояние и др.). Изменением указанных свойств в заданных пределах достигается управление состоянием горного массива.

Перспективным и весьма эффективным направлением управления состоянием горного массива (управление горным давлением) в отличие от изменения пассивных факторов (структуры и свойств массива) является управление активными параметрами технологии ведения горных работ.

Управление состоянием горного массива берет свое начало у истоков горной науки. Необходимость сохранения устойчивости выработок в течение определенного промежутка времени, обеспечивающего добычу полезного ископаемого, вызвала развитие в горной науке большого раздела по управлению горным давлением в выработках. Этот раздел решал вопросы выбора рациональных сечений выработок, типов крепей для обеспечения максимального срока службы выработок, работоспособности добычных механизмов. Однако, они не были направлены на управление состоянием горного массива в явном виде [2].

В работах [20, 21] было положено начало аналитическим и численным исследованиям по управлению напряженно-деформированным состоянием угольных пластов. Распределению напряжений в очистных выработках посвящены работы И.М. Петухова, А.М. Линькова, Ю.М. Либермана, С.В. Кузнецова, В.Е. Миренкова и др.

В настоящее время эти исследования расширяются, о чем свидетельствуют, например, работы [22, 23]. Они позволили решить задачи выбора рациональных схем поддержания выработок и типов крепей, регулирующих развитие зоны разрушения и состояние горного массива вокруг выработки. Актив-

ным фактором управления состоянием массива в этом случае является способ поддержания выработки. Подробное рассмотрение исследований по его решению можно найти, например, в работах [24, 25].

Активным элементом управления состоянием горного массива является сама технология ведения горных работ. Состояние пласта угля зависит от характера его контакта с породами, мощностей пластов угля и пород, их структуры и нарушенности [26]. А эти характеристики связаны с технологическими особенностями добычи полезных ископаемых: видом технологического воздействия, скоростью подвигания забоя, размерами обнажаемых поверхностей и т.п., т.е. активными элементами воздействия [2].

Авторы работы [27] установили изменение напряженного состояния от формы обнажаемых поверхностей горного массива. Зона максимума опорного давления при прямолинейно-вертикальной, прямолинейной с врубовой щелью и вогнутой формах забоя находится соответственно на расстоянии 1,4 м, 2,1 м и 3,0 м, горизонтальные составляющие напряжений в кровле пласта относятся как 1:0,6:1,5 на расстоянии 1,8 м от пласта, а непосредственно на контуре кровли растягивающие напряжения относятся как 1:0,3:0,6.

В работе [28] автор исследовал распределение напряжений за счет изменения длины и жесткости щели, места ее расположения на контуре выработки при щелевой разгрузке. В настоящее время способ щелевой разгрузки успешно применяется при проведении выработок в Донбассе с целью управления состоянием массива и характером проявления горного давления.

При ведении очистных работ одним из основных видов управления состоянием и поведением пород кровли является оптимальный режим работы крепи. В частности, для струговой лавы авторы работы [29] предлагают добиваться улучшения поддержания кровли путем перераспределения сопротивления по рядам стоек в механизированной крепи. Однако реализация этого активного фактора управления состоянием горного массива в лавах весьма трудоемка и требует проведения большого объема работ в каждом конкретном случае. Предпочтительнее и эффективнее в этом направлении активное управление состоянием массива крепью путем циклического [30].

Авторами исследований [31] отмечается влияние способа проведения подготовительных выработок на проявление опорного давления при ведении горных работ. Наиболее плавное распределение смещений горного массива наблюдается при комбайновой проходке подготовительных выработок. В то время, как при прохождении выработок отбойным молотком, и, особенно, буровзрывным способом, смещение пород происходит скачкообразно из глубины $\sim 5,0 - 6,0$ м. Это иногда приводит к возникновению внезапных выбросов угля, породы и газа. На изменение напряженно-деформированного состояния горного массива влияет также площадь сечения забоя и скорость его подвигания [32].

В настоящее время основной объем подготовительных работ при подземной разработке полезных ископаемых проводится буровзрывным способом.

Управление напряженно-деформированным состоянием горного массива осуществляется различными методами: выбором типа взрывчатого вещества (ВВ); изменением формы заряда, его объема; расположением ВВ и др. Путем изменения крутизны ударного импульса [33], скорости нарастания взрывной нагрузки [34], различными конструкциями зарядов и очередностью их взрывания [35] достигаются определенные состояния горного массива.

В настоящее время многими авторами исследуется вопрос поведения горного массива при воздействии на него повторно-переменными нагрузками [2, 3, 30, 36, 39]. В публикациях представлены результаты исследований по разработке способов и средств, основанных на вибрационном воздействии как на угольный пласт, так и через вмещающие породы. Для вскрытия выбросоопасных угольных пластов применяется виброобработка угольного пласта пневмовибраторами глубинного типа с частотой колебаний 50 – 150 Гц, установленных в скважины глубиной 2,0 – 2,5 м [2, 36]. С целью активного управления напряженно-деформированным состоянием призабойной части угольного пласта предлагается малоэнергоёмкое циклическое воздействие с изменением начального распора секции щитового агрегата в пределах $0,6 - 0,8 P_n$ [3, 30]. Исследованию виброволновых процессов, происходящих в горном массиве с использованием гидроимпульсного и гидродинамического воздействий на угольный пласт при нетрадиционной добыче угля и вскрытии угольных пластов, посвящены работы [37-39].

Проведенный анализ показывает, что управление состоянием горного массива может быть достигнуто различными активными факторами, составляющими элементы и параметры технологического процесса ведения горных работ, но применительно к горному массиву требуют еще дополнительных научных исследований и более детального их изучения. Связано это, прежде всего, с недостаточным представлением процессов, происходящих в горном массиве непосредственно при активном воздействии на него, и, особенно переходных: в процессе перехода из одного равновесного состояния в другое.

В настоящее время в решении проблемы управления состоянием горного массива в качестве активных факторов наиболее перспективными являются вибрационные воздействия. Несомненность их применения заключается в несложном техническом обеспечении больших вариаций параметров (амплитуда, частота, многофазовость и т.п.), определяющих изменение состояния и поведение горного массива, надежном их определении и контроле, а также оперативном управлении. Вместе с тем, применительно к напряженному горному массиву этот перспективный активный фактор требует своего дальнейшего всестороннего изучения, в частности, изучения процессов, происходящих при единичных импульсах возмущения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горная энциклопедия / гл. ред. Е.А. Козловский. Ред. кол.: М.И. Агошков, Л.К. Антонов, К.К. Арбиев, и др. – М.: Советская энциклопедия, т. 5. 1991. – С. 262 – 263.
2. Использование энергии горного массива / А.Н.Зорин, А.П.Клец, В.Г.Колесников и [др.]. / Отв. ред. Б.М. Усаченко. – Киев: Наукова думка, 1991. – 172 с.
3. Булат, А.Ф. Управление состоянием предельно напряженного породного массива малоэнергоёмкими воздействиями / А.Ф. Булат, А.Т.Курносков, Ю.А. Русанцов / Отв. ред. А.Н. Зорин. - Киев: Наукова думка,

1993. – 176 с.

4. Единые нормы выработки для шахт Донецкого и Львовско – Волынского угольных бассейнов. – М.: МУП СССР, 1982. – 529 с.

5. Забигаило, В.Е. Геологические основы теории прогноза выбросоопасности угольных пластов и горных пород / В.Е. Забигаило. - Киев: Наукова думка, 1978. - 197 с.

6. Чернышев, С.Н. Трещины горных пород / С.Н. Чернышев. - М.: Недра, 1983. – 240 с.

7. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов / Отв. ред. А.Н. Зорин. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.

8. Rice, R.W. Extension of the exponential porosity dependence of strength and elastic modeli // J. Amer Ceram. Soc. – 1976. - 59, № 11/12. – P. 536-537.

9. Бобков, В.В. Механизм разрушения и прочность хрупких пористых материалов / В.В. Бобков, В.Н. Мохов, Ю.Г.Нуриев и [др.] // Тр. НИИ пром. стр-ва. - 1977. - № 22. - С. 103-113.

10. Вавакин, А.С. Об эффективных характеристиках не-однородных сред с изолированными неоднородностями / А.С. Вавакин, Р.Я. Салганик // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. - 1975. - №3. - С. 117-121.

11. Хорошун, Л.П. Статистическая теория деформирования и прочности пористых тел / Л.П. Хорошун // Проблемы надежности в строительной механике. – Вильнюс: Зинатне, 1968. – С. 122 – 127.

12. Винокурова, Е.Б. Влияние газовой среды на механические свойства углей при одноосном растяжении / Е.Б. Винокурова, А.И. Кецлах // Изв. вузов: Горный журнал. – 1977. - № 10. - С. 9-12.

13. Sowers, G.F. Rock permeability or hydraulic conductivity an overview // Permeability and Groundwater. Contam. Transp. Symp., Philadelphia, Pa, 17-23 June, 1979. - Philadelphia, Pa. - 1981. - P. 65-83.

14. Ставрогин, А.Н. Прочность и разрушение газоносных горных пород в условиях фильтрации газа и объемного напряженного состояния / А.Н. Ставрогин, А.Г. Протосеня // Исследование, прогноз и контроль проявления горного давления: Тез. выступлений Всес. научн.-техн. конф., 17-19 ноября, 1982.. – Л. – 1982. - С. 11-12.

15. Эттингер, И.Л. Напряжение набухания и свободная энергия в системе газ-уголь / И.Л. Эттингер, И.Б. Ковалева // Докл. АН СССР. – 1979. – 244, № 3. – С. 659–663.

16. Dropek, R.K. The influence of pore pressure on the mechanical properties of Kayenta sandstone / R.K. Dropek, J.N. Jonson, J.B. Walch // J. Geophys. Res. - 1978. - В 83, N 6. -P. 2817-2824.

17. Chang Ching, S. Pore pressure development during cyclic loading / S. Chang Ching, L. Kuo Ching, T. Selig Ernest // J. Geotechn. Eng. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. – 1983. - 109, N 1. - P. 103-107.

18. Разрушение пород при термоциклическом воздействии / А.Н. Москалев, Е.Ю. Пигида, Л.Г. Керекелица, Ю.Н. Вахалин. - Киев: Наукова думка, 1987. – 248 с.

19. Lawn Brian, R. Physics of fracture // J. Amer. Ceram. Soc. - 1983. - 66, N 2. - P. 83-91.

20. Баренблатт, Г.И., Об обрушении кровли при горных выработках/ Г.И. Баренблатт, С.А. Христианович // Изв. АН СССР. Отд.-ние техн. наук. – 1955, № 11. - С. 73-86.

21. Руппенейт, К.В. Давление и смещение горных пород в лавах пологопадающих пластов / К.В. Руппенейт. - М.: Углетехиздат, 1957. – 228 с.

22. Глушко, В.Т. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления / В.Т. Глушко, В.В. Виноградов. - М.: Недра, 1982. – 192 с.

23. Усаченко, Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б.М. Усаченко. - Киев: Наукова думка, 1979. – 135 с.

24. Заславский, Ю.З. Расчет параметров крепи выработок глубоких шахт / Ю.З. Заславский, А.Н. Зорин, И.Л. Черняк. - Киев: Техника, 1972. - 155 с.

25. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. - Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.

26. Кузнецов, С.В. Методология расчета горного давления/ С.В. Кузнецов, В.Н. Одинцев, И.Э. Слоним [и др.]. - М.: Наука, 1981, - 103 с.

27. Попов, Ю.Г. Исследование напряженного состояния пород вокруг очистных забоев различной формы / Ю.Г. Попов, Е.Н. Акбасов // Научн. тр. Всес. н.-и. и проект.-конструкт. угольн. ин-т. - 1974, - № 49, - С. 3-5.

28. Бабиюк, Г.В. Управление распределением напряжений вокруг горных выработок / Г.В. Бабиюк // Изв. вузов. Горн. журн. - 1976. - № 6. – С. 15 - 18.

29. Самохвалов, Ю.Л. Состояние и поведение кровли при работе крепи I МКСР/ Ю.Л. Самохвалов, А.А. Лебедовский, В.В. Сасов [и др.]. // Научн. сообщ. Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского. - 1980. - № 191. - С. 20-24.

30. Булат, А.Ф. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов/ А.Ф. Булат, А.Т. Курносков. - Киев: Наукова думка, 1987. – 200 с.

31. Баклашов, И.В. К вопросу учета влияния технологии сооружения на устойчивость горных выработок / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия, А.Н. Кузичкин // В сб.: Сооружения горных выработок. - Научн. тр. Моск. горн. ин-т, 1977, № 9, - С. 22-27.

32. Мансуров, В.А. Поведение горных пород при различных скоростях нагружения / В.А. Мансуров. - Фрунзе: Илим, 1982. – 87 с.
33. Ключков, В.Ф. Влияние скорости динамического нагружения горного массива на эффективность его разрушения / В.Ф. Ключков // Разработка рудных месторождений, Вып. № 26. – Киев: Техника, 1978. - С. 22 – 25.
34. Ефремов, Э.И. Взрывное разрушение выбросоопасных пород в глубоких шахтах/ Э.И. Ефремов, В.Н.Харитонов, И.А.Семенюк. - М.: Недра,1979. – 253 с.
35. Вовк, О.О. Керування вибуховим імпульсом при селективному руйнуванні порід з розсіяними кристалічними включеннями / О.О. Вовк, А.В.Михалюк, В.В. Рудаков // Вісник АН УРСР. - 1984, № I. - С. 47-58.
36. Использование вибрационных и волновых эффектов при отработке выбросоопасных пластов / В.Н. Потураев, С.П.Минеев; Отв. ред. Булат А.Ф.; АН Украины, Ин – т геотехн. механики. – Киев: Наукова думка, 1992. – 200 с.
37. Нетрадиционные технологические процессы добычи угля / В.Н.Потураев, С.А.Полуянский, В.Н.Зорин и др. / Под ред. В.Н. Потураева. – Киев.: Техніка, 1986. – 117 с.
38. Софийский К.К. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / К.К.Софийский, А.П.Калфакчян, Е.А. Воробьев. – М.: Недра, 1994. – 192 с.
39. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф.Булат, К.К.Софийский, Д.П.Силин [и др.] . – Днепропетровск: «Полиграфист», 2003. – 220 с.

УДК 622.647.2

Р.В. Кирия к.т.н., ст.науч.сотр.,
Н.Г. Ларионов асп.

(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕНТЫ И ГРУЗА С РОЛИКООПОРАМИ КОНВЕЙЕРА С ЛЕНТОЙ ГЛУБОКОЙ ЖЕЛОБЧАТОСТИ

У статті отримані рівняння, що описують взаємодію стрічки й вантажу з роликоопорами конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчасті. Визначена сила опору руху стрічки по роликоопорам, для аналізу факторів, що впливають на силу опору руху стрічки на роликоопорах конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчасті.

MATHEMATICAL MODEL OF THE INTERACTION WITH THE BELT AND LOAD WITH CONVEYOR BELT DEEP TROUGH

In this article, the equations describing the interaction of belts and loads with rollers conveyor belt deep trough. Determined resistance force on the rollers for the analysis of the factors affecting the resistance force on the belt conveyor belt rollers deep trough.

В настоящее время на угольных шахтах получили применение подземные ленточные конвейеры с углом наклона 18-20°. Однако опыт их эксплуатации показал, что из-за неустойчивости груза на ленте эффективность их применения в шахтах низкая.

Одним из путей повышения эффективности наклонных подземных конвейеров в угольных шахтах является использование става конвейера с глубокой желобчатой лентой.

Однако, из-за больших сил распора связанных с деформацией груза сила сопротивления движения ленты по роликоопорам ленточного конвейера с глубокой желобчатой лентой существенно больше по сравнению с конвейером обычной желобчатости.