

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ВЫРАБОТОК

Повідомляється про методичне та апаратне забезпечення досліджень акустичної емісії навколо сполучень з метою розробки засобів моніторингу стану виробок, що будуть повторно використані. Застосування сейсмоакустичного моніторингу допоможе обрати належні параметри способу укріплення довкілля виробки.

USING ACOUSTIC EMISSION METHOD IN CONJUGATION STABILITY RESEARCH OF DRIFTS

Equipment and methodology for conducting acoustic emission research around conjugations is described. The goal is to develop means of monitoring the state of the courses being re-used. Conducting seismoacoustic monitoring would allow to choose a proper rock reinforcement method.

Повторное использование подготовительных выработок – один из факторов, определяющих эффективность всего комплекса горных работ. Деформации контура выработки особенно интенсивны в створе движущихся лав. Оптимизация технологических операций, направленных на охрану выемочных штреков на сопряжениях с лавами остается актуальной научной и практической проблемой, поскольку приемлемы только экономически оправданные способы охраны выработок.

Нарушение баланса природных сил при вторжении горной выработки в новую область массива немедленно вызывает группу процессов, направленных на установление нового равновесия в массиве. Напряжения, действующие в окрестности горной выработки на глубине около километра и более, превосходят пределы краткосрочной и долговременной прочности горных пород угленосной толщи. Поэтому разрушение (неустойчивость) горных выработок можно считать закономерным следствием ведения горных работ. Процессы разрушения имеют различную скорость и направление и, теоретически, могут закончиться только с полным разрушением выработки. Таким образом, инженерная и научная задачи заключаются в обеспечении устойчивости выработок на все время их эксплуатации.

Решение этой проблемы зависит, в частности, от реализации схемы измерений параметров, описывающих деформационные процессы, сопровождающие перераспределение напряжений в окрестности горных выработок. Среди разнообразного арсенала технических средств, позволяющих описать поведение массива горных пород, методика и аппаратура, предназначенные для регистрации акустической эмиссии (АЭ) из угленосной толщи [1], имеют ряд принципиальных преимуществ:

- датчики такой аппаратуры устанавливаются в окрестности того объекта, поведение которого представляет наибольший интерес, регулируя чувствительность аппаратуры можно обеспечить благоприятное соотношение между полезными сигналами и помехами;

- наблюдения АЭ проводятся, практически, без помех основным технологическим операциям;

- наблюдения АЭ проводятся без перерывов в течение длительного периода и, таким образом, это единственный способ наблюдения массива, к которому термин «мониторинг» может быть применен без всяких оговорок;

- результаты наблюдений представляют собой временные ряды АЭ, к анализу которых можно использовать многочисленные технические и программные средства, позволяющие анализировать, как частные данные (структуру отдельных событий АЭ) так и глобальные параметры всего временного ряда;

- аппаратура, предназначенная для наблюдений АЭ, реализует режим «черного ящика» для результатов наблюдений, что позволяет многократно возвращаться к анализу данных.

Как известно, акустическая эмиссия является неперенным спутником процессов конвергенции боковых пород, окружающих движущийся забой. Установлено, что на данном выемочном или проходческом участке между скоростью конвергенции и количеством событий АЭ в единицу времени (активностью АЭ) существует положительная линейная корреляция [2]. С другой стороны, процессы зависания и обрушения различных слоев, подработанных пород имеют периодический характер. Периодичность зависаний и обрушений определяются как условиями залегания, толщиной и прочностью пород каждого слоя, так и различными горнотехническими параметрами (способом выемки, способом управления кровлей, влиянием работ на смежных пластах и т. д.). Явление периодического зависания и обрушения слоев основной и непосредственной кровли в очистных забоях хорошо известно из практики отработки угольных пластов. Его суть заключается в том, что по мере подвигания лавы увеличивается площадь обнажения кровли (длина консоли) зависающих над выработанным пространством пород, которые заканчиваются обрушением. Предельная длина консоли, или шаг обрушения непосредственной кровли всегда меньше шага обрушения основной. Интенсивность проявлений горного давления, связанных с зависанием и обрушением непосредственной кровли значительно меньше, чем аналогичное влияние основной кровли. Сочетание влияний зависающих основной и непосредственной кровли, в основном, предопределяет динамику напряженно-деформированного состояния массива в окрестности очистного забоя. Развитие напряжений и деформаций во времени отражает взаимодействие основной и непосредственной кровли с угольным пластом. Известны также тренды напряжений, связанные с сезонными явлениями и с влиянием слоев пород, залегающих выше пород основной кровли.

В результате сочетания различных факторов временные ряды АЭ имеют характер сложной суперпозиции периодических процессов [3]. При достаточно длительных наблюдениях во временных рядах АЭ можно выделить особенности, связанные с горнотехническими факторами, влияющими на поведение вмещающих пород и, следовательно, на устойчивость выработок. Нет никаких оснований сомневаться в том, что различные системы охраны выработок по-разному влияют на параметры АЭ. Иными словами, временные ряды АЭ явля-

ются отражением процессов в массиве в окрестности сопряжений и их параметры могут быть использованы при оптимизации технологии поддержания выработок в конкретных горно-геологических условиях. В задаче охраны сопряжений с помощью литых полос и принудительного обрушения пород кровли режущей кромкой этих полос наиболее узким местом является определение момента времени, когда такое обрушение наиболее эффективно. Наблюдения АЭ и обработка этих наблюдений помогут определить ситуации, в которых режущая кромка выполняет своё предназначение наиболее эффективно.

Аналізу временных рядов посвящена обширная техническая литература [4, 5] и разнообразное программное обеспечение для анализа с помощью вычислительных машин. С математической точки зрения временные ряды АЭ $N = N(t)$ представляют собой нецентрированную последовательность отсчетов. По сложившейся традиции методами тренданализа из этой последовательности выделяют постоянную составляющую временного ряда и по ней судят о глобальных параметрах поведения кровли: о шаге обрушений и относительной интенсивности напряжений в окрестности забоя.

На любом, практически значимом интервале наблюдений временной ряд АЭ удовлетворяет условиям Дирихле. Наиболее эффективным способом анализа этого ряда является спектральный анализ. Представление исходных данных рядом Фурье на конечных отрезках времени позволяет выделить постоянную составляющую относительной механической нагрузки на забой, а также амплитуды и фазы периодических составляющих:

$$N(t) = A_0 + \sum (A_n \cos nt + B_n \sin nt),$$

где A_0 - постоянная составляющая; A_n ,

B_n - амплитуды периодических составляющих.

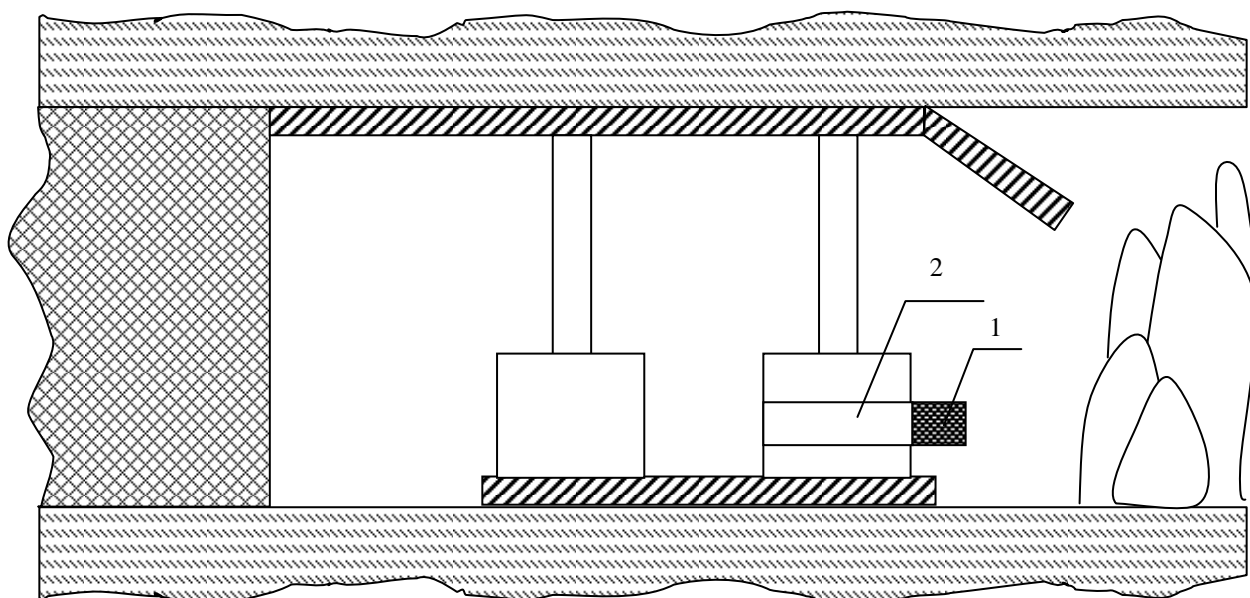
Модуль n-ой составляющей:

$$M_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}.$$

При необходимости, можно использовать также спектральный и временной анализ отдельных событий АЭ. Изменение масштабов разрушения может быть проконтролировано по энергии и длительности событий АЭ, а изменения в механизме отдельных разрушений – по особенностям их спектров.

Таким образом, процесс генерации импульсов АЭ в призабойной части пласта есть часть от общих геомеханических процессов. Параметры акустической эмиссии – это поток объективной информации об этих процессах, который может быть доступен при квалифицированных наблюдениях. Мониторинг АЭ на сопряжениях лав со штреками поможет понять сущность деформационных процессов, и разработать технологические приемы поддержания выработок с целью обеспечения их повторного использования.

Звукоулавливающая аппаратура «ЗУА-98» в комплексе с аппаратно-программным комплексом для регистрации и анализа данных известна в угольной промышленности Донбасса, как Автоматизированное Рабочее Место (АРМ) оператора сейсмоакустического прогноза. По комплексу технических параметров аппаратура превосходит все известные аналоги. Практическое применение этой аппаратуры показало высокую эксплуатационную надежность и малые трудозатраты по обслуживанию. Передача информации осуществляется по выделенной паре телефонных проводов шахтной линии связи. Передатчики этой аппаратуры располагают вблизи от наблюдаемого объекта, а регистрацию и обработку информации ведут на поверхности. Применительно к задаче наблюдения устойчивости сопряжений, целесообразно установить передатчик аппаратуры на стойке механизированной крепи (рис. 1), что обеспечит стабильные условия проведения экспериментов при минимальной трудоемкости подготовительных операций и операций по обслуживанию звукоулавливающей аппаратуры.



1 – передатчик; 2 – фиксирующее приспособление

Рис. 1 - Установка передатчика звукоулавливающей аппаратуры на стойку механизированной крепи.

Целесообразно использовать АРМы прогноза для оценки эффективности различных способов повышения устойчивости выемочных штреков при очистных работах высокой интенсивности. Организационно эту работу целесообразно проводить не менее чем на двух добычных участках одновременно: на одном участке с обычной скоростью подвигания забоя и на одном-двух с высокой интенсивностью очистных работ. Ожидаемый результат таких работ – оптимизация технологии поддержания выемочных штреков.

Регистрация акустической активности массива происходит в автоматическом режиме. Накопление данных в собственной памяти аппаратуры может происходить в течение интервала времени до 30 суток.

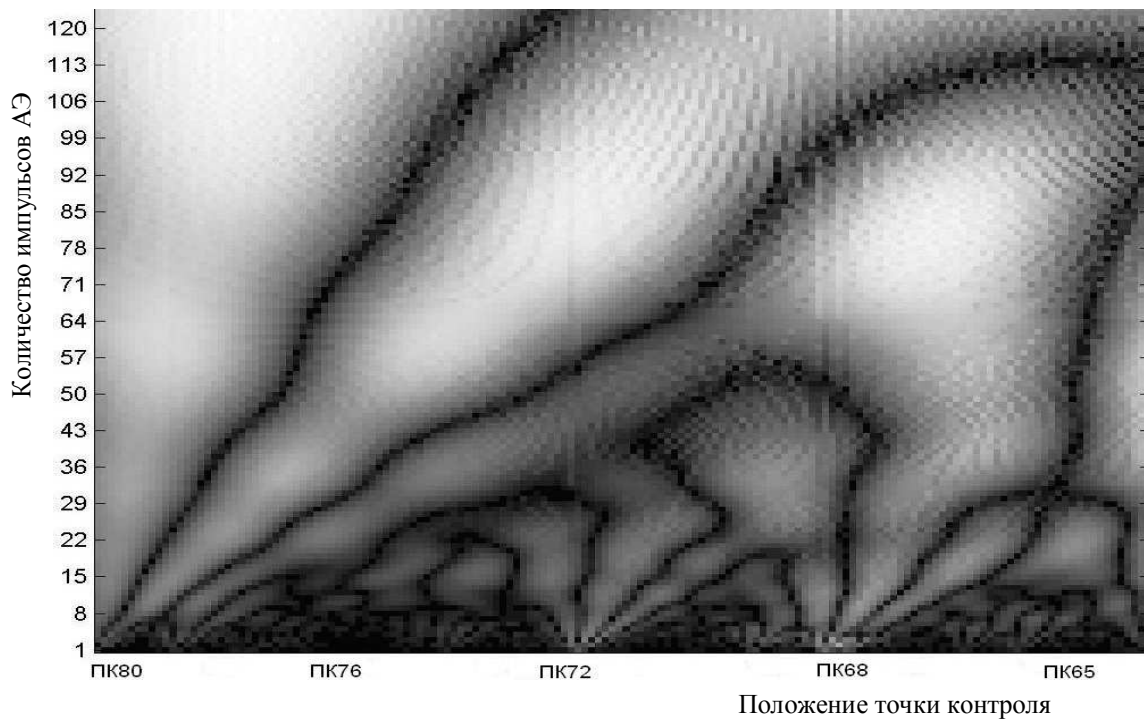
Обработка массива первичных данных имеет два уровня. На первом уровне оператор в специальном журнале регистрирует акустическую активность массива, выраженную в количестве импульсов за единицу времени. Второй уровень предполагает углубленную обработку хранящихся в памяти аппаратуры сигналов с помощью специального программного обеспечения. Эффективным методом является вейвлет-преобразование результатов наблюдений [6]. Вейвлет-преобразование ориентировано на ограниченные отрезки данных и представляет собой способ разложения исходного ряда данных по так называемому базисному семейству функций и дает возможность, подбирая базисные функции, существенно улучшить точность анализа результатов наблюдений и выявить в наблюдениях скрытые периодичности. Результатом вейвлет-преобразования функции одного переменного является функция двух переменных. Она определяет поверхность в пространстве, соответствующему (по осям) временному масштабу и временной локализации. Изолинии на этой поверхности определяют соотношение спектральных компонент различного масштаба в ходе развития изучаемого процесса.

Для вейвлет-анализа данные наблюдений трансформируют в виде зависимости количества импульсов АЭ на 1 метр подвигания забоя лавы. Из временного ряда АЭ с помощью пакета прикладных программ MATLAB 6.5 получают пространственный ряд АЭ.

Исследования, выполненные в условиях шахты «Красноармейская-Западная № 1», показали высокую информативность описанного метода для оценки вариаций полей напряжений в приконтурной зоне выработки.

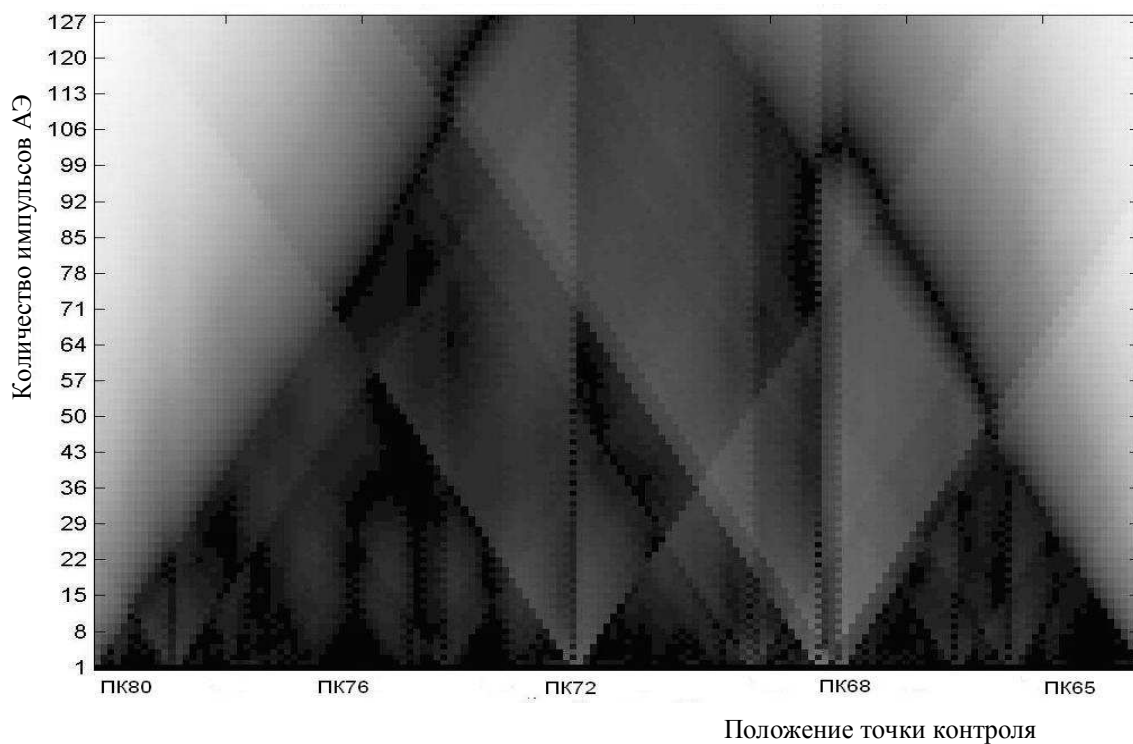
На рис. 2 представлена вейвлет-диаграмма, полученная с помощью анализирующего вейвлета Мейера, на которой отображена зависимость периодических пригрузок сопряжения 1-го северного конвейерного штрека блока № 3 от положения забоя лавы. В процессе наблюдения были обследованы контрольные участки, закрепленные только арочной крепью типа КМП-А3, а также экспериментальный участок, на котором между рамами была установлена анкерно-стяжная крепь (АСК).

Как следует из рассмотрения диаграммы, усиление крепи штрека привело к существенному увеличению шага пригрузки - примерно до 53 метров против 29-30 метров на контрольных участках, что является свидетельством упрочнения пород, укрепленных арочно-стяжной крепью. Дополнительную информацию о пригрузках можно извлечь, изучая точки ветвления петель на диаграмме. В соответствии со смыслом вейвлет-преобразования, такие точки свидетельствуют о фрактальном характере изучаемого процесса: пригрузки с малым шагом посадки «вложены» в пригрузки с большим шагом. Особенно отчетливо фрактальный характер пригрузок-конвергенции вмещающих пород виден на диаграмме, полученной с помощью анализирующего вейвлета Добеши (рис. 3), на которой точки ветвления получены пересечением прямых линий.



1-й северной лавы блока №3 пласта d₄ на базе анализирующего вейвлета Мейера

Рис. 2 – Вейвлет-диаграмма результатов наблюдений в выемочном штреке



1-й северной лавы блока №3 пласта d₄ на базе анализирующего вейвлета Добеши

Рис. 3 - Вейвлет-диаграмма результатов наблюдений в выемочном штреке

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцыферов М.С. Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза газодинамических явлений. М.: Наука, 1971. – 136 с.
2. Паршиков Н.Б. Связь между сейсмоакустической активностью массива и смещением боковых пород в очистных выработках // Уголь Украины. - 1974. - №2. - С. 43-44.
3. Ничипор М.В. и др. Особенности поведения пород кровли при отработке лав на больших глубинах // Труды ДонНТУ, вып. № 54. Донецк, 2002. - С. 183-190.
4. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. М.: Мир, 1980. - 536 с.
5. Бат М.. Спектральный анализ в геофизике. М.: Недра, 1980. - 535с.
4. Астафьева Н.М. Вейвлет - анализ. Основы теории и применения // УФН, т.166, вып. 11, 1996.