

составляет  $r \approx 11a$ ) от центра скважины, напряжения в слое больше напряжения в безграничной среде в 2,67 раза, а на расстоянии  $r = 1,078 \text{ м} \approx 43a$ , отношение напряжения в слое к напряжению в безграничной среде составляет 4,88.

### **Выводы**

Анализ проведенных расчетов показывает, что качественно картина изменения напряжения в слое при удалении от скважины немонотонна. При указанных выше параметрах среды напряжения от поверхности скважины до расстояния  $r = 0,71 \text{ м}$  спадает монотонно, затем идет возрастание до максимума  $1,69 \cdot 10^5 \text{ Па}$  на расстоянии  $r = 1,078 \text{ м}$ , и далее приближаясь к поверхности слоя, убывает. В то же время в безграничной среде напряжения при удалении от поверхности скважины убывают монотонно и быстрее чем в слое.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сницер А.Р. Исследование радиальных напряжений вокруг скважины при гидроимпульсном рыхлении угольных пластов / А.Р. Сницер, В.В. Зберовский, Д.Л. Васильев, А.А. Потапенко, А.А. Ангеловский // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. – Днепропетровск: – 2011. – № 95. – С. 43-53.
2. Новацкий В. Теория упругости. /В. Новацкий – М.: Мир, 1975. – 872 с.
3. Сницер А.Р. Волны при нормальном гармоническом нагружении скважины в упругой среде. I. Структура волнового поля на поверхности скважины и в дальней зоне. / А.Р. Сницер // Динамические системы. –2006. – Вып. 20 – С. 67-88.
4. Гринченко В.Т. Гармонические колебания и волны в упругих телах. / В.Т. Гринченко, В.В. Мелешко - Киев: Наук. думка, 1978.- 264 с.
5. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик – М.: Изд. Физ.-мат. литературы, 1962. – 1100 с.
6. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов – М.: Наука, 1979. – 744 с.
7. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Н.С. Булычев – М.: Недра, 1982. –272 с.

**УДК 550.34.016:620.173**

Кандидаты техн. наук Ю.Н. Пилипенко,  
Р.А. Дякун  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОГО УГЛЯ И ГОРНЫХ ПОРОД**

Досліджено фізико-механічні характеристики гірських порід і вугілля різного ступеня метаморфізму в флюїдонасиченому стані. Діагностика стану виконана комплексом методів – сейсмоакустичного і електрометричного. Встановлено вплив флюїду на зміну міцнісних та деформаційних властивостей геоматеріалу і параметри руйнування. .

## **GEOPHYSICAL MONITORING OF CRACK FRACTURE FLUID- SATURATED COALS AND ROCKS**

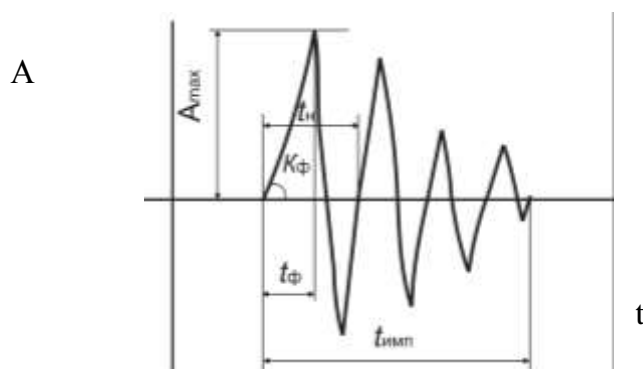
The physical-and-mechanical characteristics of rocks and coals of different metamorphic grade in fluid-saturated state were investigated. State diagnostics was made by means of seismoacoustic and electrometric methods. The fluid influence on geomaterials' strength and deformation properties and destruction parameters were determined.

Охрана труда на шахтах связана с разработкой технических решений, направленных на нейтрализацию ухудшающихся горно-геологических условий

добычи угля на больших глубинах. Почти половина несчастных случаев происходит при обвалах и обрушениях кровли горных выработок, выбросах угля и газа, возникновении эндогенных пожаров, сопровождающихся взрывами метана. Для обеспечения эффективности и безопасности ведения горных работ необходимо получение надежной и достоверной информации о структуре, свойствах и состоянии углеродного массива [1-4]. Однако, регламентированный нормативными документами [5, 6] прогноз выбросоопасности в очистных забоях затрудняет определение границ опасных зон за пределами контура выработок. Кроме этого активное применение опережающей дегазации при добыче угля влияет на результаты текущего прогноза, по которому уже сложно судить о потенциальной опасности углеродного массива. Цель работы – разработка метода многоканального сейсмоакустического контроля, обеспечивающего получение достоверной, непрерывной и оперативной информации о состоянии массива, позволяющей автоматизировать регистрацию и обработку сигналов при развитии процесса трещинообразования. Одной из ключевых проблем при его использовании является выбор информативных параметров, их совместное применение и комплексная интерпретация [7, 8].

Методом многоканальной сейсмоакустики изучались параметры сигналов, генерируемых при разрушении угля и горных пород, возникающих в процессе их нагружения на различных прессах. Устанавливались пространственные и временные распределения источников импульсов при образовании трех видов трещин: сдвиговых, сколовых и Ределя, оценивалась возможность определения очагов трещинообразования их параметров в ходе деформирования и разрушения в зависимости от флюидонасыщенности геоматериала.

Для эффективного контроля процесса трещинообразования обобщены и приняты основные и вспомогательные параметры акустической эмиссии, по которым выполнялась параметризация импульсов при разрушении угольно-породной среды. На рис. 1. представлена форма импульса и формализованы информативные параметры для получения численных значений.



$A_{max}$  – максимальная амплитуда импульса, В,

$t_{имп}$  – длительность импульса, мкс,

$t_н$  – время нарастания импульса, мкс,

$t_ф$  – длительность фронта импульса, мкс,

$k_ф$  – крутизна фронта акустического импульса, В/мкс

Рис. 1. – Информативные параметры сейсмоакустических импульсов, генерируемых при

разрушении образцов геоматериала

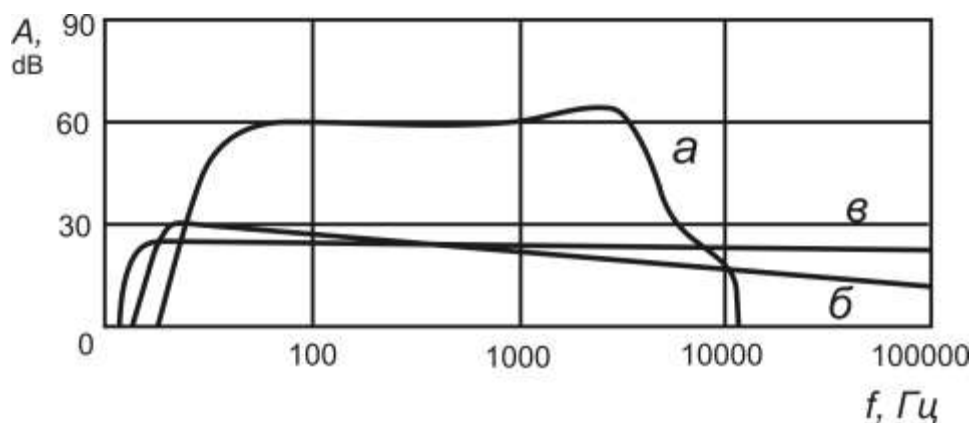
Параметризация сигналов выполняется по кривым записи сейсмоакустических событий с временной привязкой к ходу горных работ или этапов разрушения образцов геоматериала. По результатам измерений составлялись таблицы с указанием времени испытаний, наименования геоматериала, размах импульса и масштабный коэффициент  $\Delta N/M$ , выбранный интервал импульса от начала записи до окончания  $t$ ,  $t_0$ ,  $t_{ост}$ , привязка данных к диаграммам напряжение-деформация, напряжение-время и т.д

Для приема акустических импульсов были применены три вида датчиков: миниатюрные микрофоны, пьезокерамические и пьезоэлектрические преобразователи сигналов. На рис. 2 представлены амплитудно-частотные характеристики трех типов датчиков. По ним определяются частота, полоса пропускания, значения нижнего и верхнего пределов измерений при допустимых нелинейных искажениях.

Динамический диапазон каждого датчика определяется собственными шумами и частотной полосой предусилителя, и регламентируется верхним и нижним пределом допустимых искажений сигнала, которые в большинстве случаев составляют не более 3 % [9].

Технические характеристики датчиков представлены в табл. 1.

Как следует из приведенных данных, максимальной чувствительностью (коэффициентом преобразования в амплитудное значение по напряжению) обладают датчики микрофонного типа, но неравномерность частотной характеристики вносит существенные искажения в измерение амплитуды сейсмоакустических (СА) импульсов. Достаточно высокие показатели имеют пьезоэлектрические преобразователи, однако требуют высококачественного усиления сигнала. Промежуточными данными обладают пьезокерамические преобразователи, однако требуют применения предварительных усилителей с большим коэффициентом усиления в широком частотном диапазоне.



*a* – микрофон СММ-14,  
*б* – пьезоэлектрический преобразователь П113-(06-1,0),  
*в* – пьезокерамические преобразователи Р2Т-3.

Рис. 2. – Амплитудно-частотные характеристики датчиков для регистрации сейсмоакустической эмиссии

Таблица 1 – Технические характеристики датчиков для регистрации сейсмоакустической эмиссии

| Тип датчика                                      | Коэффициент преобразования по напряжению, мВс <sup>2</sup> /м | Рабочий диапазон частот, Гц | Собственная частота, кГц | Неравномерность частотной характеристики, дБ | Масса, кг |
|--|---|-----------------------------|--------------------------|--|-----------|
| Микрофон СММ-14                                  | 250±14  | 60 – 9600                   | 0,18                     | 18   | 0,009     |
| Пьезоэлектрический преобразователь П113-(06-1,0) | 18±0,8  | 20 – 200000                 | 160                      | 0,3  | 0,035     |
| Пьезокерамические преобразователь Р2Т-3          | 8,25±0,035  | 20 – 400000                 | 50                       | 0,9  | 0,029     |

*Выбор диапазона частотных спектров и типа фильтров.* Разрушение образцов угля и горных пород сопровождается генерированием акустической эмиссии с различным уровнем амплитуд и частотного спектра. Так, разрушение угля происходит с генерированием спектра частот от единиц Гц до 6-8 кГц, а прочных разновидностей песчаника и известняка – до 150-200кГц. Уровень генерируемых частот при разрушении зависит от скорости нагружения образца, вида испытательного оборудования и прочности межмолекулярных связей геоматериала.

В табл. 2 представлен частотный спектр импульсов при разрушении осадочных пород Донбасса.

Таблица 2 – Диапазон частот, генерируемых при разрушении геоматериала

| Наименование геоматериала | Диапазон частот АЭ, Гц | Относительная амплитуда АЭ, % | Энергетический диапазон излучения, отн. ед. |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---|
| Уголь Г-Д                 | 100 – 11000            | 18 – 26                       | 6 – 15                                      |
| К                         | 60 – 6000              | 12 – 19                       | 7 – 18                                      |
| Ж                         | 80 – 5600              | 14 – 20                       | 5 – 12                                      |
| А                         | 190 – 10000            | 23 – 28                       | 30 – 42                                     |
| Аргиллит                  | 80 – 7500              | 15 – 25                       |   |
| Алевролит                 | 120 – 10000            | 16 – 31                       | 41 – 50                                     |
| Песчаник                  | 250 – 20000            | 29 – 37                       | 60 – 81                                     |
| Известняк                 | 150 – 15000            | 27 – 38                       | 75 – 96                                     |

Как следует из таблицы, чем выше энергетический диапазон излучения, тем выше частота акустической эмиссии, поэтому изучение акустических параметров при разрушении геоматериала выполнялось избирательно – для каждого литологического типа было применено отдельное оборудование и аппаратное обеспечение контроля трещинообразования. Для угля использован пресс с минимальными показателями усилия ПСУ-5, 10 и 20 т. Для образцов, состоящих из комбинированных проб: алевролит-уголь-алевролит, песчаник-уголь-песчаник применялось более мощное прессовое оборудование П-50. Аналогичный подход

использован и в отношении диагностики процесса разрушения. Для прочных разновидностей песчаника, известняка, алевролита, аргиллита использовалась система контроля, базирующаяся на основе комплекса АФ-15 и цифрового ресивера. Корректировка амплитудно-частотной характеристики выполнялась эквалайзером цифрового ресивера, а подавление помех и избирательные измерения СА сигналов проводились с помощью частотного фильтра ОСК-400-06-15, который входит в комплект АФ-15. При выполнении специальных измерений частотные спектры устанавливали в узкой полосе пропускания, чаще всего в диапазоне 20-45 кГц.

*Исследования сейсмоакустической эмиссии и условия регистрации сигналов.* Проявление сейсмоакустических эффектов при механическом нагружении пород изучали в следующих вариантах:

- одноосное нагружение на прессах П-5,10,20,50;
- объемное сжатие (моделирование поведения пород в нетронутом массиве, а также при наличии тектонических полей напряжений);
- трехосное неравнокомпонентное сжатие с одной свободной гранью (моделирование поведения пород при подходе и переходе очистными выработками зон с нарушенной структурой угольного пласта);
- малоэнергоемкие воздействия в виде циклических нагружений.

Исследование разрушения угля и горных пород при различных режимах нагружения проводилось с применением жестких испытательных систем на базе пресса ПСУ-500 с непрерывной регистрацией напряжений и деформаций на двухкоординатных самописцах ПДС-021М. Объемное сжатие создавалось специальным устройством бокового подпора образцов (бустера) с усилием до 20 кН. Контроль осуществлялся электрометрическим и ультразвуковым методами с помощью ультразвуковых датчиков и токосъемных электродов. Питание излучателя осуществляется генератором прибора ДУК-13, а регистрация акустических сигналов анализатором спектров СК4-59, электрических – прибором Импульс, соответственно. При объемных испытаниях СА датчик крепился на плашку бустера. Для изучения динамики разрушения пород три из четырех переходных элементов устройства бокового подпора были снабжены ультразвуковыми датчиками и электрометрическими электродами.

На рис. 3 приведена функциональная схема измерительной установки 5-9 на базе АФ-15. Исследование разрушения образцов 2 горных пород и углей в условиях одноосного сжатия проведено на прессах (П-5, 10, 20), с многоканальной регистрацией сейсмоакустических событий и контролем изменения свойств геоматериала.

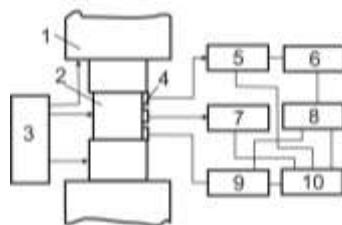


Рис. 3 – Функциональная схема измерительной установки для исследования разрушения горных пород и углей в условиях одноосного сжатия

Прием и обработка акустических сигналов в аналоговом режиме осуществляется с помощью информационно-измерительной системы АФ-15 и набора стандартных датчиков 4, а в цифровом виде Н-Р – ресивером 6, 8, 9 Pioneer VSX-1520-s/-кс. Регистрация – запоминающим осциллографом С8-14, а запись подключением к порту 10 USB Blu-ray Disc BDP-1333. Ставилась задача сравнения сигналов и их спектров для разных образцов, в то время как параметры регистрирующих сигналов оставались постоянными. Через предварительный усилитель аппаратуры АФ-15 с коэффициентом усиления 100 и полосой пропускания от 20 кГц до 1 МГц эти сигналы подавались на вход контрольно-измерительного комплекса. При изучении зависимости механоэмиссионных эффектов от скорости нагружения, сигнал от силоизмерителя модулировали тактовыми импульсами метки времени. Это позволило определять интервалы нагружения, поддерживать скорость постоянной, синхронно осуществлять комплексный контроль процесса разрушения. Диаграммы, поясняющие схему обработки СА сигнала аппаратурой АФ-15, приведены на рис. 4.

Прибор эмиссионно-акустический АФ-15 является универсальным аппаратом, позволяющим из набора функциональных блоков создать средства контроля в соответствии с рядом свойств и возможностей, отвечающих самым высоким требованиям измерений, анализа и регистрации акустической эмиссии. Для увеличения количества сквозных каналов дополнительно используются трассы усиления ресивера Pioneer 7.1. Применение прибора АФ-15 возможно в двух вариантах – режим «взвешивания» и режим «локализации». В первом – два канала прибора используются для анализа сигнала акустической эмиссии, принятым одним датчиком. Измерению и регистрации подлежит время превышения амплитудой анализируемого сигнала двух определенных опорных уровней. Этот процесс равносителен произведению величины временных интервалов на разность между отдельными опорными уровнями. Результатом описанного выше процесса является значение, пропорциональное площади ниже кривой временного развития анализируемого сигнала акустической эмиссии (АЭ). На рис. 4. представлен принцип определения площади импульса акустической эмиссии.

Работающий в режиме «локализации» комплекс АФ-15 предоставляет возможность обнаружения и локализации источников акустической эмиссии. В процессе локализации определяется небольшая ограниченная площадь, содержащая излучатель звуковых волн. Закрепленные на поверхности образца два датчика показывают относительное время регистрации импульса. По взаимным отношениям временных интервалов определяют положение источника. Определение временных параметров очагов трещинообразования с помощью блока СКА-04 аппаратуры АФ-15. Субблок линейных координат предназначен для вычисления координат источника сигнала АЭ в линейных объектах по разности времени прихода (РВП) сигналов «Событие 1», «Событие 2» [8].

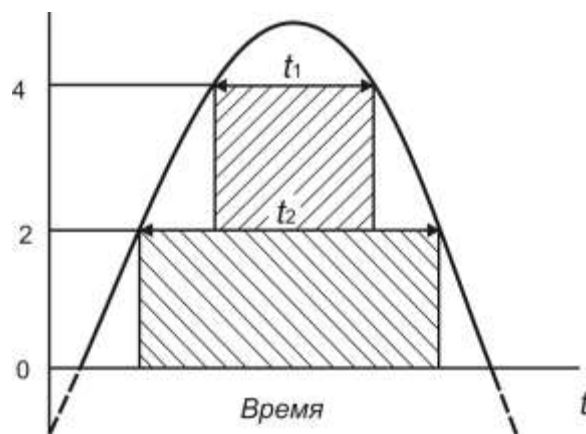


Рис. 4 – Определение уровня сигнала акустической эмиссии прибором АФ-15 в режиме «взвешивания»

Координата источника АЭ относительно первого пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) определяется по формуле (1):

$$X = \frac{L}{2} \pm \Delta T \cdot \frac{V}{2}, \quad (1)$$

где  $L/2$  – линейные размеры образца угля;  $\Delta T$  – разность времен прихода (РВП);  $V$  – скорость распространения ультразвука между ПЭП.

Топологические измерения для определения координат очагов трещинообразования и параметров трещин проводились двумя способами. Первый – по отметкам времени первых вступлений СА импульсов и с помощью построения направления лучей. Второй – аппаратурой АФ-15.

*Временная синхронизация измерений нагрузок, деформаций и сейсмоакустических импульсов.* Предварительно проводилось измерение размеров образца и определялась скорость продольной волны. Датчики расположены на торцевых гранях образцов с определением базы  $L$  между ними. Аналогичным образом закреплялись сдвоенные датчики в режиме «взвешивания», входящие в комплект АФ-15. Тип пьезоэлектрических преобразователей П113-(0,2-0,5)А. Для хорошего контакта и надежной работы датчики и образец смазывались силиконом и прижимались кольцом из эластичной резины.

Испытание образцов проводилось по комплексной методике с определением влияния скорости нагружения, циклических воздействий с различным уровнем пригрузки на СА активность. Проводилось испытание составных моделей песчаник – уголь – песчаник, алевролит – уголь – алевролит. Режим нагружения образцов выполнялся от плавно изменяющихся до ступенчатых нагрузок.

Регистрация генерации сейсмоакустических импульсов слабых горных пород и углей проводилась на прессе П-50 по схеме микрофон-ноутбук и аналого-цифрового преобразования напряжений и деформаций с временной синхронизации измеряемых параметров. Функциональная схема устройства представлена на рис. 5.

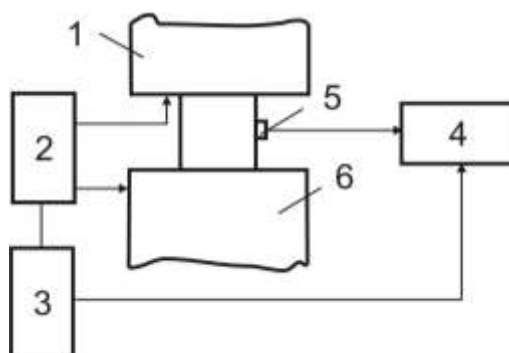


Рис. 5 – Устройство цифрового контроля разрушения образцов угля

Сейсмоакустические исследования проводились на установке, которая состоит из пресса 1, датчиков продольных деформаций и силомера 2, аналого-цифрового преобразователя 3, ноутбука 4. Между пуансонами пресса 6, устанавливается образец, к которому крепятся приемники акустических колебаний 5 при помощи кольца из эластичной резины. Так как основным материалом для исследования был уголь, то значительный объем работ проведен на прессах П-10,20, а также П-50 с применением устройств цифровой индикации диаграмм « $\sigma - \epsilon$ » и « $\sigma - t$ ». В качестве аналого-цифрового преобразователя использовалось устройство сбора данных (УСД) National Instruments USB-6008/6009 [6]. Технические характеристики аналого-цифрового преобразователя приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристика АЦП USB-6008

| Характеристика   | АЦП USB-6008   |
|--|--|
| Разрешение при аналоговом вводе                                    | 12 бит (дифференциальное подключение)<br>11 бит (подключение с общим проводом) |
| Максимальная частота дискретизации, один канал*                    | 10 кГц   |
| Максимальная частота дискретизации, несколько каналов (суммарная)* | 10 кГц   |
| Конфигурация цифрового ввода / вывода                              | Открытый коллектор   |

\* Может зависеть от конфигурации системы

Исследование сейсмоакустической эмиссии проведено на образцах породы и угля различной стадии метаморфизма от ПАО «Павлоградуголь» до ПАО «Краснодонуголь». Образцы подвергались документированию, зарисовывались и замерялись трещины, определялась скорость продольных и поперечных волн и заносились в формуляр. После разрушения образец фотографировался, определялись параметры магистральных трещин и размер отдельностей. На рис. 6. представлена запись типичной сейсмограммы разрушения образца угля.





Рис. 6 – Типичная сейсмограмма разрушения образца угля в условиях одноосного сжатия

Из динамики появления импульсов следует, что единственный импульс, имеющий слабый энергетический потенциал приводит к развитию продолжительной серии импульсов, характеризующих консолидацию микротрещин в магистральную.

Обработка результатов испытаний образцов угля различного марочного состава на всех стадиях деформирования и разрушения и построение на этой основе 3D моделей позволили выявить основные закономерности протекания трещинообразования [7-13].

Исходя из описания проявления акустической эмиссии на всех стадиях деформирования и разрушения [12] на рис. 7 представлена обобщенная модель акустической эмиссии при трещинообразовании в угле от действующих нагрузок.

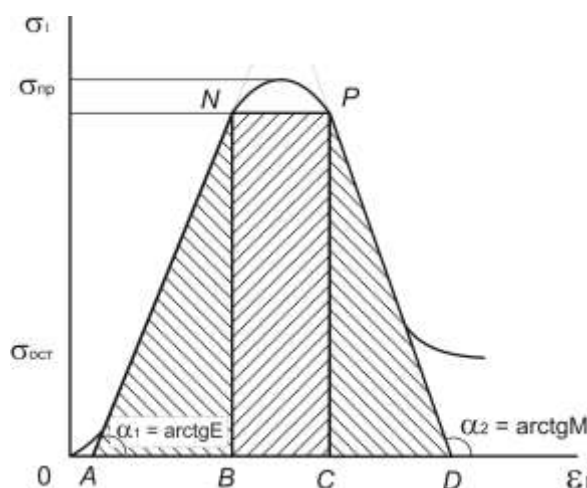


Рис. 7 –Обобщенная модель разрушения угля при трещинообразовании

Если принять площадь каждой стадии разрушения как эквивалент энергетической плотности сигнала акустической эмиссии, то исходя из совместных диаграмм «напряжение – деформация – акустическая эмиссия» можно построить баланс энергии деформирования – разрушения и параметров АЭ (энергетическая плотность сигнала, амплитуда и длительность импульса).

Соотношения площадей ANB – упругая область, BNPC – область предельного состояния, CPD – область запредельного деформирования, будет отражением интенсивности процессов трещинообразования, которые в значительной мере зависят от скорости нагружения образцов угля, горных пород, в условиях

лабораторного эксперимента и скорости подвигания линии очистного забоя при регистрации АЭ в углепородном массиве.

Анализ диаграмм «напряжение-деформация», формы сигналов АЭ, амплитудно-частотных характеристик во всем временном интервале разрушения позволил выделить основные этапы проявления напряженного состояния геоматериала и последовательность образования трещин, его разрушения. Эти этапы можно разделить на 7 стадий.

Первая – начальный этап пригрузки образцов, амплитуда и частота импульсов проявляется при закрытии трещин и частичной изоляции пор при развитой системе трещино-порового пространства. Акустические сигналы определяются в виде «шороха» – низкие частоты импульсов, незначительная амплитуда, слабая энергетическая плотность сигналов.

Вторая – начальный этап упругого деформирования среды. Появляются отдельные импульсы небольшой длительности, время нарастания продолжительное, энергетические показатели слабые.

Третья – линейное деформирование угля и горных пород. Проявляются отдельные импульсы, связанные с дефектностью геоматериала, упругое сжатие каркаса среды, естественные трещины закрыты, характеристики акустических импульсов аналогичны второй стадии.

Четвертая – первый этап упруго-пластического деформирования – акустические импульсы большой амплитуды, длительность импульсов незначительная, длительность фронта импульсов короткая, плотность сигналов высокая, частота импульсов высокая до 5-6 кГц.

Пятая – область предельного состояния геоматериала. Особенности заключаются в повышенной длительности импульсов, их высокой амплитуде, время нарастания минимальное, энергетическая плотность очень высокая, длительность фронта импульсов минимальная.

Шестая – начало консолидации трещин в крупные магистральные. Для этой области характерно наложение одних импульсов на другие, параметры импульсов самые разнообразные, сказывается принцип суперпозиции АЭ, энергетическая плотность сигналов различна, частоты сигналов имеют широкий спектр.

Седьмая – область пластического течения, где формируются сдвиговые, сколовые и другие трещины. Характерны следующие особенности: небольшая амплитуда, низкая частота АЭ, акустические импульсы возникают только за счет сдвигового трения берегов магистральных трещин.

Параметры АЭ измерялись при скоростях нагружения 0,2, 1 и 1,8 МПа/с. Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Параметры акустической эмиссии при разрушении образцов угля с различной скоростью нагружения

| Шахта, пласт, скорость нагружения $V_{нагр}$ , МПа/с                                  | Прочность $\sigma$ , МПа | Скорость продольной волны, $V_p$ , км/с | Амплитуда импульса, В, мкВ | Длительность импульса, $t_{имп}$ , мкс | Время нарастания импульса, $t_n$ , мкс |
|---|--------------------------|---|----------------------------|--|--|
| Шахта «Днепро-<br>вская», ПАО<br>«Павлоградуголь»<br>Уголь $C_1$<br>0,2<br>1,0<br>1,8 | 35,7                     | 2,5-2,9                                 | –                          | –                                      | –                                      |
|   |                          |   | 1375                       | 13                                     | 11                                     |
|   |                          |   | 1613                       | 10                                     | 8                                      |
|   |                          |   | 1410                       | 23                                     | 17                                     |
| ПАО «Шахта им.<br>А.Ф. Засядько»<br>Уголь $I_1$<br>0,2<br>1,0<br>1,8                  | 15,6                     | 2,2-2,4                                 | –                          | –                                      | –                                      |
|   |                          |   | 659                        | 29                                     | 32                                     |
|   |                          |   | 907                        | 18                                     | 24                                     |
|   |                          |   | 1030                       | 31                                     | 11                                     |

Как следует из табл. 5, на параметры АЭ в значительной степени оказывают влияние прочность и скорость продольной волны в угле. Эти параметры также связаны со структурно-чувствительными характеристиками геоматериала, которые заложены в генетических особенностях формирования угольных пластов.

За активизацией трещинообразования, как правило, наступал отрезок времени, за которым следовало акустическое затишье, продолжительность которого зависела от скорости нагружения. Результаты определения очагов генерирования трещин и записи формы акустических сигналов были использованы для исследования частотных особенностей АЭ при образовании трещин различного типа. Идентификацию трещин выполняли по частотному составу и диапазону генерирования, амплитуде, времени вступления и знаку первой фазы. Перечисленные параметры в пределах одного цикла нагружения при изменении нагрузки изменялись незначительно. Однако при тех же координатах и уровне нагрузки встречались отдельные акустические сигналы других частот и амплитуд. Форма записи сигнала и его параметры также существенно отличаются при параметризации импульсов. Особенности записи сигналов хорошо проявляется при многоканальных исследованиях акустических характеристик. В связи с этим была выдвинута гипотеза о том, что при разрушении образцов угля, ввиду различия их строения и состава при разрушении образуются разные виды трещин – сдвиговые, сколовые, Ределя и их комбинации. Результаты изучения АЭ при разрушении образцов угля и сопоставление с данными комплексного контроля показали, что все методы, позволившие дифференцировано вести контроль развития процессов в различных областях образца (деформации, прохождение упругих волн, электрическое сопротивление и переходные процессы вызванной поляризации), указывают на возникновение очагов структурной нарушенности, которые приводят к образованию магистральных трещин, скорость распространения которых изменяется в пределах от 0,3 до 1,9 км/с, но не

более, чем скорость продольных волн в образцах керна или кубика. Возникшие области очагов с нарушенной структурой интерпретируются как участки дилатансии и микротрещинообразования. Неоднородности этих участков в объеме образца являются особенностью подготовки процесса разрушения угля при наличии естественных дефектов (кливаж, отдельные трещины) и являются, как правило, очагами развития магистральных трещин и окончательного разрушения в геоматериале.

Приведенные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы и наметить основные задачи контроля трещинообразования флюидонасыщенных горных пород и угля.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана методология комплексных геофизических исследований, позволившая на более высоком качественном уровне изучить особенности многоканального сейсмоакустического контроля разрушения геоматериала, а также расширить возможности метода при регистрации СА событий.

2. В широком диапазоне напряжений и деформаций исследованы амплитудно-частотные и амплитудно-временные СА характеристики трещинообразования в образцах угля различной стадии метаморфизма и уточнены закономерности изменения их параметров от влажности, пористости и анизотропии естественной трещиноватости геоматериала.

3. Подтверждена кинетическая природа генерирования СА импульсов при образовании сдвиговых, сколовых трещин и трещин Ределя, которые подчиняются функции наследственности для каждого образца геоматериала (кливаж, трещинно-поровое пространство и их ориентация по отношению к направлению главных напряжений).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, А.Ф. Методические рекомендации по геофизическому контролю и диагностике геомеханического состояния подземных геотехнических систем угольных шахт / А.Ф. Булат, Б. М. Усаченко, С. И. Скипочка [и др.]. – Днепропетровск-Донецк: ВИК, 2009. – 80 с.
2. Анциферов, М. С. Сейсмические исследования и проблема прогноза динамических явлений / М. С. Анциферов, Н. Г. Анциферова, Я. Я. Качан. – М.: Наука, 1971. – 110 с.
3. Курленя, М. В. Спектрально-временные характеристики ЭМИ излучения при трещинообразовании горных пород / М. В. Курленя, Г. И. Кулаков, Г. Е. Яковицкая // ФТПРПИ. – 1993. – № 1. – С. 37–41.
4. Касьян, М. В. Изменение спектров эмиссионных сигналов при развитии трещин и разрушении горных пород / М. В. Касьян, В. А. Робсман, Г. Н. Никогосян // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 306. – № 4. – С. 1171–1187.
5. Стрижало, В.А. Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций / В. А. Стрижало, Ю. В. Добровольский, В. А. Стрельченко, С. Н. Пичков. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 232 с.
6. Измерения в Lab/ VIEW. Руководство по применению: Российский филиал корпорации «National Instruments». – Новосибирск: Изд-во Новосиб. Госуд. техн. ун-та, 2006. – 148 с.
7. Булат, А.Ф. Определение очагов трещинообразования и напряженного состояния массива методом многоканальной сейсмоакустики / А. Ф. Булат, С. Ю. Макеев, Ю. Н. Пилипенко [и др.] // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. XX Межд. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2010. – С. 75–77.
8. Соболев, Г.А. Крупномасштабное моделирование подготовки и предвестников землетрясений / Г.А. Соболев, Н.В. Кольцов. – М.: Наука, 1988. – 208с.
9. Рац, М. В. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород / М. В. Рац, С. Н. Чернышев. – М.: Недра, 1970. – 164 с.
10. Скипочка, С.И. Сейсмоакустический контроль изменения напряженного состояния угленосного массива в зонах разрывных дислокаций / С.И. Скипочка, Ю.Н. Пилипенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 91. – С. 27–32.
11. Скипочка, С.И. Геомеханическое состояние угольных пластов при подходе очистных работ к разрыв-

ным нарушениям сложной морфологии / С.И. Скипочка, Ю.Н. Пилипенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 83. – С. 288–292.

12. Пилипенко, Ю.Н. Дегазация угольных пластов в зонах тектонических нарушений / Ю.Н. Пилипенко // Геолог Украины. – 2011. – № 2. – С.69-73.

13. Булат, А.Ф. Теоретические предпосылки оценки напряженно-деформированного состояния угольных пластов методом многоканальной сейсмоакустики / А.Ф. Булат, Ю.Н. Пилипенко, С.Ю. Макеев // Математические проблемы технической механики – 2011: Материалы XI Международной научной конференции (13-15 квітня 2011 р.). – Днепропетровск, Днепродзержинск, 2011. – С.4.

**УДК 622.833.5.001.5**

Доктора техн. наук С.И. Скипочка,  
Т.А. Паламарчук,  
инж. Н.Т. Бобро  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО БЛОЧНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

Виконано аналіз особливостей будови структурно-неоднорідного блокового масиву гірських порід.

## **FEATURES OF STRUCTURE OF STRUCTURAL-INHOMOGENIOUS BLOCK MASSIF ROCKS**

The analysis of features of structure of structural-inhomogenous block massif rocks is executed.

При изучении механических свойств горных пород как среды, в которой проводятся горные выработки (т.е. создаются полости), необходимо различать поверхности ослабления: а) большой протяженности, по которым происходит скольжение одной части деформируемого массива относительно другой, являющиеся поверхностями разрыва сплошности массива, и б) небольшой протяженности, расположенные ступенчато относительно друг друга и образующие системы определенным образом ориентированных трещин. При деформировании больших областей массива (линейные размеры которых на порядок больше линейных размеров блоков, ограниченных смежными трещинами) структурные ослабления небольшой протяженности не являются поверхностями скольжения и разрыва непрерывности деформаций и смещений, а являются лишь элементами структуры массива горных пород, снижающими прочность (или сопротивление сдвигу) массива горных пород (рис. 1) [1-3].

Структурные элементы первого типа (так будем называть поверхности ослабления большого протяжения), их расположение и характеристики сопротивления сдвигу по ним оказывают большое влияние на формирование нагрузок (силовых полей) в окрестности горных выработок, распространение области влияния выработок, изменение напряжений в массиве горных пород и параметры сдвижения горных пород. Например, если покрывающая полезное ископаемое толща представлена крепкими породами, то граница области влияния очистных выработок и параметры сдвижения существенно будут зависеть от мощности слоев, разграничиваемых поверхностями ослабления первого типа.