

УДК 622.023:534.6

В.Л. Шкуратник, Е.А. Новиков А.Г., Айнбиндер

**О ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ОБРАЗЦОВ УГЛЯ СО
СТЕПЕНЬЮ ИХ СТРУКТУРНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ***

Приводятся и обсуждаются результаты экспериментального исследования влияния степени структурной нарушенности антрацита на проявления акустико-эмиссионных эффектов в нем при монотонном и циклическом нагревании соответствующих образцов.

Ключевые слова: термостимулированная акустическая эмиссия, уголь, образец, структурные нарушения, акустико-эмиссионный эффект памяти

Одним из ключевых факторов, определяющих свойства углей, является степень их структурной нарушенности, обусловленной условиями формирования и постгенетическими воздействиями природного и техногенного характера. Основным направлением решения задачи комплексной оценки указанной нарушенности (позволяющей выявлять не только поверхностные дефекты, как в случае микроскопии, но и давать интегральную оценку поврежденности всего объема объекта контроля) являются испытания на образцах, сопровождаемые комплексом деформационных, акустических, электрических и других видов измерений. В последние годы для решения этой задачи, среди активных и пассивных акустических методов, все большее распространение получает метод акустической эмиссии (АЭ). Его реализация предполагает анализ динамики информативных параметров АЭ в геоматериале под влиянием внешних

воздействий той или иной физической природы [1]. Традиционно в качестве таких воздействий использовалось механическое нагружение исследуемых объектов. При этом, если в качестве геоматериала последних выступали различные типы углей (отличающиеся, как известно, высокой неоднородностью и относительно низкой прочностью), то соответствующие испытания осложнялись трудностью изготовления образцов требуемых размеров, геометрии и качества нагружаемых поверхностей [2, 3]. Альтернативой механическому нагружению является термическое нагружение образцов, которое не предъявляет жестких требований к их форме и размерам. Необходимым условием является лишь, чтобы эти образцы имели хотя бы одну плоскую поверхность, контактирующую с волноводом, через который осуществляется прием информативных сигналов термостимулированной акустической эмиссии (ТАЭ). В связи с этим и за счет более

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 годы, Соглашение №14.В37.21.0655.

высокой технологичности очевидна перспективность использования метода ТАЭ для исследования степени поврежденности структуры углей. Кроме этого известно, что в антрацитах проявляется термоэмиссионный эффект памяти (ТЭП) заключающийся в невоспроизводимости АЭ вплоть до максимальной температуры предшествующего цикла нагрева и резком увеличении активности АЭ при достижении конечной температуры предыдущего цикла [4]. В работе [5] установлено влияние на ТЭП таких помеховых факторов как время между циклами нагревания, увлажнение и замораживание. Поскольку эти факторы изменяют поврежденность угля, очевидна перспективность ТЭП для исследования последней.

С учетом изложенного, в настоящей статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований влияния степени нарушенности структуры образцов антрацита на характер их ТАЭ.

Методическое и аппаратное обеспечение термоакустоэмиссионных измерений

Для проведения исследований использовалась установка, содержащая нагревательную трубчатую печь типа Nabertherm RT 50/250/11 с контроллером типа Р 320, которая позволяет производить нагрев образцов до 1100 °С с заданной скоростью. В печи, ось которой ориентирована вертикально, между волноводами из кварцевого стекла фиксируется исследуемый образец горной породы, сигналы ТАЭ которого через нижний волновод передаются на приемный акустический преобразователь измерительной системы A-Line 32D. Верхний волновод служит в качестве резервного информационного канала

и обеспечивает прижим, необходимый для поддержания должных контактных условий между образцом геоматериала и нижним волноводом. Эта система принимает, усиливает и оцифровывает сигналы АЭ в полосе 30-500 кГц, а также измеряет комплекс их информативных параметров. Кроме того на параметрический канал системы поступают сигналы с термодпары, контактирующей с образцом и обеспечивающей измерение его температуры.

В качестве объектов исследований использовались образцы антрацита пласта k_2 шахты «Дальняя», расположенной в пос. Тополевый Красносулинского района Ростовской области. Всего с помощью кернового бурения из параллельных скважин, расположенных в одной области выработки и на одной высоте, было отобрано и испытано 4 группы образцов (по 10 штук в каждой). Образцы первой группы были взяты на расстоянии 10 см от контура выработки, проведенной взрывным способом. Вторая группа образцов, была получена из области околывыработочного пространства, отстоящей вглубь массива от контура выработки на 20 см. Третья и четвертая группы образцов были взяты с глубин 30 см и 40 см соответственно.

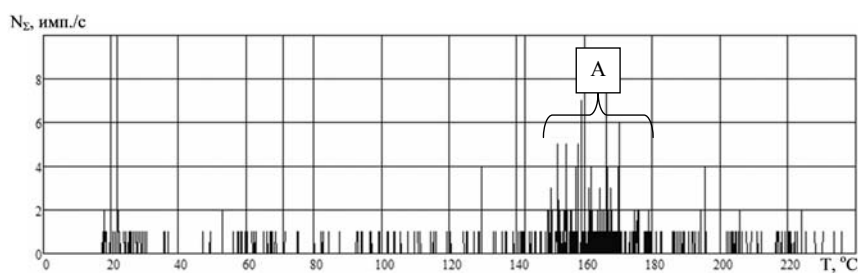
Из полученного таким образом керна изготавливались образцы, имеющие форму призм примерно одинакового объема с длиной ребер около 25 мм. Учитывая, что скалярный характер теплового поля не требует соблюдения идеальности формы образцов угля, они не подвергались дополнительной механической обработке для придания им правильных геометрических форм, что позволило сохранить исходную нарушенность структуры этих образцов.

Таблица 1

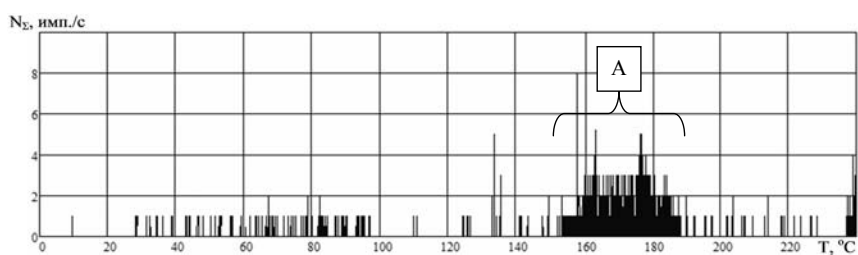
Основные характеристики использованных в работе углей

Индекс пласта	Марка	Содержание влаги в аналитической пробе, %	Зольность на сухую массу, %		Содержание общей серы на сухую массу, %	Объемный выход летучих веществ на горючую массу, см ³ /г	Теплота сгорания, МДж/кг	
			Чистого угля	На выемочную мощность			На горючую массу	На рабочую массу
k ₂	A	2.1-3.5	5.0-8.0	7.9-12.6	0.7-0.9	60-90	34.4	29.7-30.4

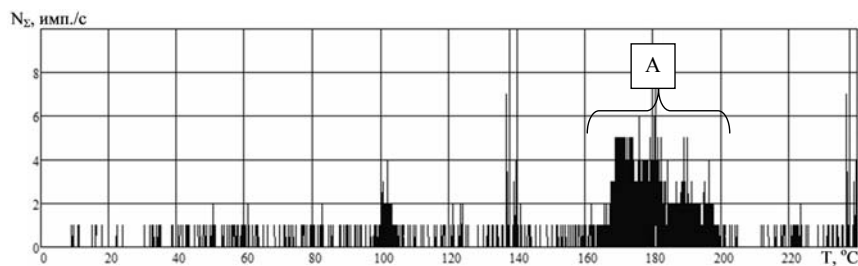
а



б



в



г

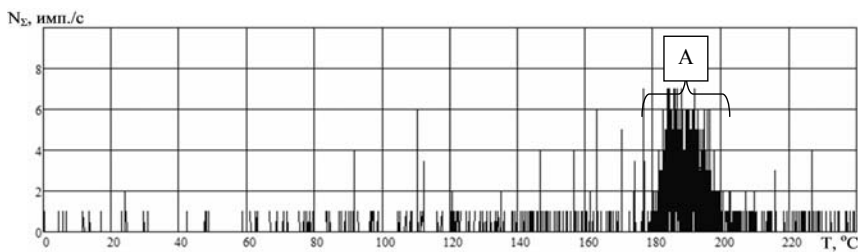


Рис. 1. Зависимость активности N_{Σ} ТАЭ в функции от температуры T нагрева образцов антрацита группы № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) и № 4 (г)

Использование в качестве объектов исследования образцов антрацитов взятых из одного участка массива, но с разных его глубин, характеризующихся различной степенью техногенного воздействия, позволяет получить исходный материал для качественного изучения влияния именно нарушенности на проявления ТАЭ при прочих близких свойствах геоматериала. Следует отметить, что средние значения параметров, качественно характеризующих исследованные угли (табл. 1) разных групп образцов, меняются в незначительных пределах, при этом их прочностные свойства и, соответственно, структурная нарушенность различаются достаточно сильно. Так механическая прочность образцов 4-й группы, определенная согласно ГОСТ 15490-70 «Угли бурые, каменные, антрацит и термоантрацит. Методы определения механической прочности» превосходила аналогичным образом определенную механическую прочность образцов 1-й группы более чем в 2 раза. Таким образом угли указанных двух групп отражают существенно различные степени структурной нарушенности. Это позволяет, соотнеся различия в результатах испытаний полученных групп образцов, сделать выводы о влиянии степени структурной поврежденности на характер ТАЭ.

В ходе испытаний все образцы подвергались двухцикловому нагреву от комнатной температуры до возрастающей от цикла к циклу конечной температуры прогрева (I цикл — $T_{\max}=240$ °С, II цикл — $T_{\max}=300$ °С). Скорость нагрева составляла 2,0 град./мин., параллельно с термическим воздействием производилась регистрация параметров ТАЭ.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Проведенное исследование показало, что термоакустограммы, полученные в рамках каждой группы образцов, по основным своим характеристикам достаточно близки между собой. Поэтому на рис. 1 приводятся не все, а лишь характерные результаты испытания одного из образцов антрацита каждой из выделенных групп в процессе первого цикла нагрева.

Как следует из рис. 1, чем дальше находится зона отбора образцов от контура выработки и, соответственно, меньше их структурная нарушенность тем больше сигналов ТАЭ при прочих равных условиях они излучают в единицу времени. Очевидно, что причиной этого является наличие у мало- и ненарушенных углей большого числа потенциальных источников ТАЭ, в то время как у образцов 1-й группы эти источники уже большей частью выработаны. В дополнение к этому часть возникающих ТАЭ сигналов затухает на пути к приемному преобразователю за счет рассеяния, обусловленного разрушенными структурными связями на направлении распространения акустической волны, а чем больше доля разрушенных структурных связей в общем их числе, тем больше значение коэффициента затухания и меньше процент возбужденных сигналов достигающих регистрирующего устройства.

Можно заметить, что вместе с пропорциональной зависимостью демонстрируемой функцией N_{Σ} от степени нарушенности, у образцов взятых ближе к поверхности выработки область А экстремальных значений N_{Σ} формируется при более низких температурах. Отмеченное объясняется тем, что при малой исходной нару-

шенности геоматериала, находящегося на удалении от контура выработки, требуются большие термонапряжения и, соответственно, большая температура прогрева для интенсификации процессов дефектообразования, связанных с возникновением новых и ростом существующих трещин, разложением органической массы угля, удалением газожидких включений и т.д.

Отмеченные выше особенности ТАЭ антрацитов позволяют заключить пригодность описанного в настоящей работе метода для качественной оценки степени исходной структурной нарушенности углей.

С учетом изложенного была выдвинута гипотеза о невоспроизводимости ТЭП при сильной структурной нарушенности из-за разрушения внутренних структурных связей в геоматериале, за счет которых возникает эффект ТЭП. Для количественной оценки последнего использовался такой параметр как FR (Felicity ratio — FR), в случае ТЭП имеющий вид

$$FR_T = T^II / T^I_{max},$$

где T^II — температура при которой проявляется ТЭП во втором цикле нагревания, а T^I_{max} — максимальная температура исследуемого образца горной породы в первом цикле его нагревания.

Значение приведенного параметра характеризует «стирание памяти», то есть чем показатель FR_T ниже, тем хуже сохранность памяти. Для углей 4-й группы FR_{T4} колебался в диапазоне 0,80-0,90; $FR_{T3} = 0,75-0,60$; $FR_{T2} = 0,40-0,55$; $FR_{T1} < 0,15$. Исходя из этих данных можно заключить, что существует обратно пропорциональная связь между FR_T и степенью нарушенности структуры геоматериала, что на качественном уровне подтверждает выдвинутую гипотезу. Однако все еще требует изучения вопрос количественного выделения из множества различных помеховых факторов, влияющих на FR_T , «вклад» именно степени структурной нарушенности геоматериала, что может позволить использовать ТЭП в качестве инструмента численной интегральной оценки нарушенности структуры геоматериала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавров В.В., Шкуратник В.Л. Акустическая эмиссия при деформировании и разрушении горных пород обзор (обзор) // Акустический журнал, 2005, том 51, Приложение. — С. 6-18.
2. Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л., Кучурин С.В. Закономерности акустической эмиссии в образцах угля при трехосном деформировании // ФТПРПИ. — 2005. — № 1. — С. 53-62.
3. Вознесенский А.С., Тавостин М.Н. Акустическая эмиссия угля в состоянии запредельного деформирования // ФТПРПИ. — 2005. — № 4. — С. 3-10.
4. Шкуратник В.Л., Кучурин С.В., Винников В.А. Закономерности акустической эмиссии и термоэмиссионного эффекта памяти в образцах угля при различных режимах термического воздействия // ФТПРПИ. — 2007. — № 4. — С. 61-70.
5. Кучурин С.В., Шкуратник В.Л., Винников В.А. Закономерности влияния помеховых факторов на термоэмиссионный эффект памяти в образцах угля // ФТПРПИ. — 2008. — № 2. — С. 21-28. **ГЛАВ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шкуратник Владимир Лазаревич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ftkr@mail.ru,
Новиков Е.А. — аспирант,
Айнбиндер А.Г. — студент,
Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru