

3. Бартнев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. - М.: Химия, 1984. - 280 с.
4. Костандов Ю.А., Рыжаков А.Н., Шиповский И.Е. Напряженно-деформированное состояние и энергетические потоки в пластине со стационарной трещиной при импульсном нагружении // Проблемы прочности. - 2000.-№4.- С. 128-139.

**УДК 622.831:542.34**

А.С. Вознесенский, Ю.Л. Филимонов,  
Ю.В. Демчишин

## **РАСПОЗНАВАНИЕ СТАДИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ КАМЕННОЙ СОЛИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

В статті приведено результати розпізнавання стадій повзучості (затухаюча, стала, прогресуюча) кам'яної солі на основі реєстрації повного сигналу акустичної емісії в діапазоні частот до 2 МГц. Розпізнавання виконувалося за критерієм Байеса з використанням апроксимації ймовірних розподілень сумою нормальних ядер. За інформативні параметри взято амплітуди гармонік нормованих спектрів сигналів.

## **RECOGNITION OF CREEPINESS STAGES OF STONE SALT BY AN ACOUSTIC ISSUE METHOD**

There're given in clause the results of creepiness stages recognition (fading, establishing, progressing) stone salt on the basis of complete signal registration of acoustic issue in a frequencies range up to 2 MHz. The recognition is carried out by Bayes criterion with use of approximation probability of distributions by the sum of normal nucleuses. In quality the information of parameters the harmonics amplitudes of signals normalized spectra are taken.

Метод акустической эмиссии (АЭ) в ряде случаев является единственным методом, позволяющим по наблюдениям на поверхности твердых тел и, в частности, горных пород, контролировать и прогнозировать процессы разрушения в их глубине. Но интерпретация этих результатов часто бывает сложна. Современная регистрирующая аппаратура, входящая в состав информационно-измерительных систем, позволяет расширить количество информативных параметров и тем самым повысить достоверность контроля стадий деформирования горных пород. Это необходимо для того, чтобы можно было вовремя принять меры, предотвращающие последствия от разрушений. В настоящей работе производится оценка достоверности распознавания стадий ползучести каменной соли при лабораторных испытаниях образцов цилиндрической формы размером 35x70 мм. Достоверность оценивается долей правильно распознанных сигналов, соответствующих той или иной стадии ползучести, в общем количестве сигналов АЭ.

Как известно, различают три стадии ползучести: затухающая, установившаяся и прогрессирующая. Эти стадии отчетливо видны из результатов испытаний образца каменной соли Р202, извлеченного из скважины Тульской площади, представленных на рис.1, где изображена зависимость продольных деформаций образца от времени. Он испытывался в одноосном напряженном состоянии с нагружением ступенями по 0,1 от разрушающей нагрузки. На десятой ступени образец разрушился, пройдя через все три стадии ползучести.

На рис. 2 изображена зависимость активности акустической эмиссии от времени на том же участке. Из сопоставления графиков рис. 1 и 2 видно, что большей скорости деформирования на начальном и конечном участках соответствует большее значение активности акустической эмиссии. Во время эксперимента кроме параметров нагрузки, продольных и поперечных деформаций, активности АЭ регистрировался также полный сигнал АЭ с частотой дискретизации 5 МГц в полосе частот от 20 кГц до 2 МГц.

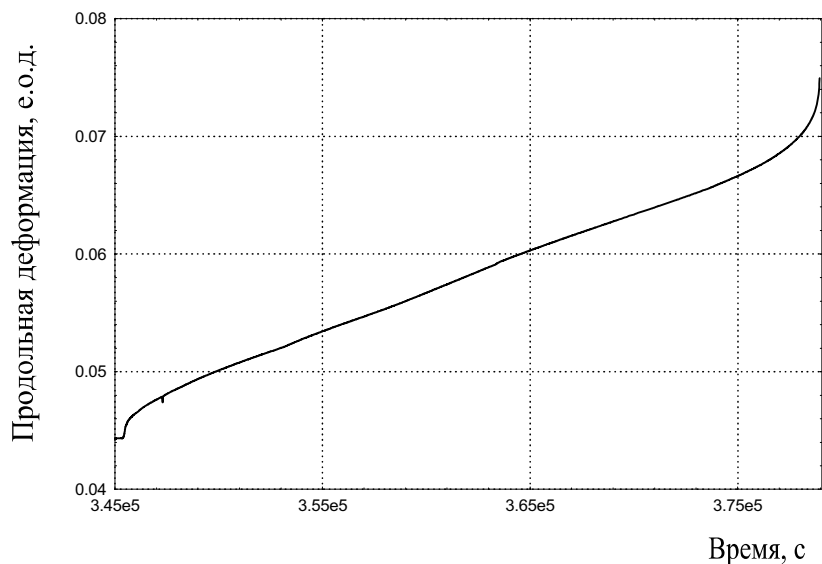


Рис. 1 - Зависимость продольной деформации от времени для образца P202 на 10-й ступени

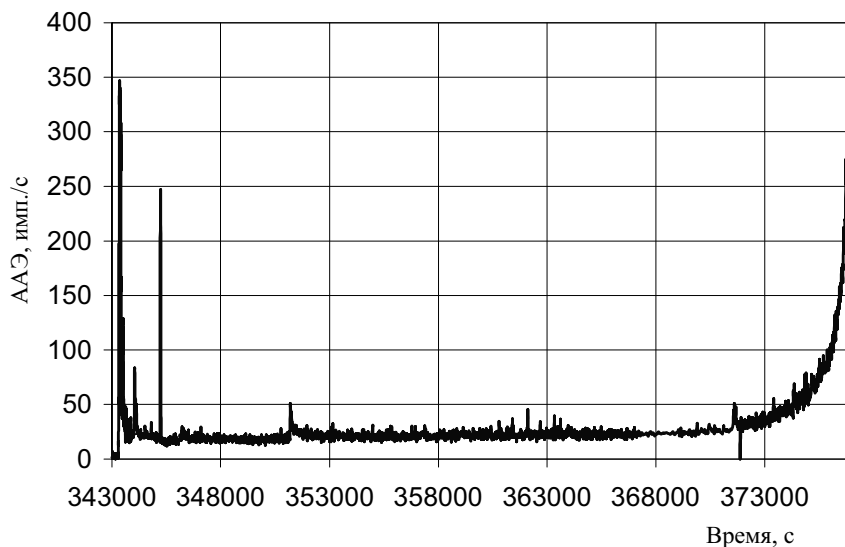


Рис. 2 - График зависимости активности акустической эмиссии от времени на 10-й ступени

В процессе обработки из полной выборки вырезались участки – от начала сигнала первый и второй по 256 отсчетов каждый. После исключения ограни-

ченных сигналов по указанным выборкам вычислялись спектры, состоящие из 128 отсчетов. Распознавание осуществлялось с использованием программы MULTIEFF [1], позволяющей осуществлять эту операцию по количеству информативных параметров до 6. Для распознавания нужно было выбрать из набора спектральных гармоник те, амплитуды которых, используемые в качестве информативных параметров, обеспечили бы минимальную ошибку распознавания. Такой выбор осуществляется по величине отношения

$$I_{i,j} = \frac{|\bar{x}^i - \bar{x}^j|}{\sqrt{(\sigma^i)^2 + (\sigma^j)^2}},$$

где  $\bar{x}^i, \bar{x}^j, \sigma^i, \sigma^j$  - средние значения и среднеквадратические отклонения в  $i$ -том и  $j$ -том классах соответственно. Эта величина тем больше, чем больше расстояние между центрами плотностей распределения вероятностей информативных параметров и чем меньше их разброс. Для распознавания выбираются гармоники с максимальными значениями этой величины.

Следует заметить, что при использовании гармоник полученных спектров результаты распознавания неудовлетворительны, поскольку велики ошибки распознавания. Причиной является большой статистический разброс в спектрах отдельных сигналов. Поэтому перед распознаванием было проведено сглаживание спектра каждого сигнала скользящей медианой с различной шириной окна, и только потом вычисление параметра  $I_{i,j}$ . Зависимости  $I_{i,j}$  от номера гармоники спектра для второй группы из 256 отсчетов со сглаживанием окном шириной 5 элементов приведены на рис. 3; где кружки означают значения указанного параметра для 1 и 2 классов; крестики – 2 и 3 классов; квадраты – 1 и 3 классов. По оси абсцисс отложены номера гармоник, по оси ординат - значения параметра  $I_{i,j}$ . Выбираем гармоники с максимальными величинами  $I_{i,j}$ , т. е. с номерами 6, 7, 8, 9, 16, 17. Процедура распознавания по критерию Байеса предусматривает вычисление условного риска от принятия решения, что состояние объекта  $\alpha_i$

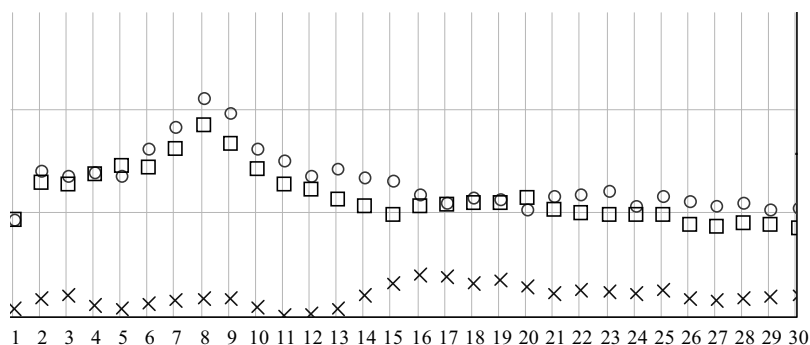


Рис. 3 - Зависимости  $I_{i,j}$  от номера гармоники спектра для второй группы из 256 отсчетов со сглаживанием окном шириной 5 элементов

$$R(\alpha_i | x) = \sum_{j=1}^s c(x_i | \omega_j) P(\omega_j | x)$$

где  $x$  – вектор значений информативных параметров;  $s$  - количество классов состояний;  $c_{ij} = c(\alpha_i | \omega_j)$  - потери от решения  $\alpha_i$  о том, что состояние геомеханического объекта  $\omega_i$ , в то время как на самом деле его состояние  $\omega_j$ ;  $P(\omega_j | x)$ - апостериорные (условные) вероятности состояний  $\omega_j$ , при условии, что получены значения измеряемых параметров  $x$  (один параметр или вектор параметров). При вычислении апостериорных вероятностей использовались условные плотности вероятности, рассчитанные методом аппроксимации суммой нормальных ядер. Из всех возможных выбирается то решение, которое соответствует минимуму условного риска.

При оценке результатов распознавания по критерию Байеса подсчитывалось общее количество ошибок, соответствующее каждому случаю. В таблице 1 представлены платежная матрица, матрица результатов, отражающая количество распознанных сигналов, попадающих в ту или иную категорию  $\|N_{ij}\|$ , матрица вероятностей ошибок  $\|P_{ij}\|$  и значение суммарной вероятности ошибки  $P_{ou}$ . Первый индекс означает истинную категорию, а второй – ту, которая получена в результате распознавания. Распознавание проводится несколько раз с различными значениями элементов платежной матрицы. Суммарная вероятность ошибки рассчитывается по формуле

$$P_{ou} = \sum_{i=1}^3 P_i^{anp} \sum_{j=1}^3 P_{ij}, \quad i \neq j,$$

где  $P_i^{anp}$  – априорная вероятность  $i$  класса,  $P_{ij}$  – вероятность ошибки распознавания, когда класс  $i$  распознан как класс  $j$ .

Таблица 1 - Платежная матрица, матрица результатов, отражающая количество распознанных сигналов, попадающих в ту или иную категорию  $\|N_{ij}\|$ , матрица вероятностей ошибок

$\|P_{ij}\|$  и значение суммарной вероятности ошибки  $P_{ou}$

$c_{ij}$			$N_{ij}$			$P_{ij}$			$P_{ou}$
0	1	1	91	4	8	1	0.04	0.09	
1	0	1	0	49	2	0	0.54	0.02	
1	1	0	0	37	76	0	0.42	0.89	
0	1	2	91	4	7	1	0.04	0.08	0,14
1	0	1	0	81	20	0	0.90	0.23	
1	2	0	0	5	59	0	0.06	0.69	

В данном случае при сглаживании по пяти точкам при оптимальной платежной матрице суммарная вероятность ошибки имеет величину около 14%.

Таблица 2 – Сравнение результатов распознавания по 1 сигналу при различной ширине интервала сглаживания скользящей медианой

Кол-во отсчетов, часть сигнала (1 или 2)	Ширина окна сглаживания по количеству гармоник	Минимальная вероятность ошибки
256-1	3	0,18
	5	0,17
	7	0,18
256-2	3	0,17
	5	0,14
	7	0,18

Первая часть сигнала АЭ характеризует собой процесс развития трещин, вторая часть связана с областью максимальной энергии. Обращает на себя внимание, что минимальная вероятность ошибки получена для второй части сигнала. Дальнейшее уменьшение вероятности ошибки может быть достигнуто сглаживанием гармонических составляющих по ансамблю из нескольких сигналов.

Работа выполнена в рамках гранта поддержки ведущих научных школ № 00-15-98590.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский А.С., Вознесенский В.А. Информационные критерии качества распознавания состояния объектов и выбор параметров для его осуществления // Информационные технологии. 1996, № 5. - с. 35-39.

УДК 622.235

И.В. Ульянов

#### РАЗРУШЕНИЕ ПОРОД ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Розглянуто вплив тривалості імпульсу навантаження на характер руйнування порід з оглядом на реологічні фактори.

#### ROCKS DESTRUCTION AT IMPULSE LOADING

The influence of loading impulse duration on character of breeds' destruction with the account reological factors is considered.

Изучение кинетики разрушения показало, что в динамике существует определенное взаимоотношение между импульсом и спектром взаимодействующих с ним трещин-дефектов в материале. Как оказывается, короткие импульсы с высоким пиком напряжений могут воздействовать только на короткие трещины-дефекты, длинный же импульс равной энергии с низким пиком напряжений может воздействовать преимущественно на относительно длинные трещины.