

УДК 539 : 620.179.16

**А. В. Попов**

*(Таганрог)*

**ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИЙ  
ПО ДАННЫМ БЕСКОНТАКТНОГО  
АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Рассматривается возможность регистрации акустико-эмиссионных сигналов с помощью оптического интерферометра с объемной голограммой и дается оценка результатов контроля с помощью вероятностных критериев согласия.

В настоящее время метод акустической эмиссии (АЭ) получает все большее распространение как метод оценки технического состояния конструкций ответственного назначения. Измерение параметров потока сигналов методом АЭ позволяет исследовать кинетику накопления повреждений, контролировать образование дефектов и диагностировать ранние стадии разрушения. Однако вследствие затухания высокочастотных составляющих сигналов и резонансных свойств приемных пьезопреобразователей регистрируемые сигналы сильно искажаются, растягиваются, частично накладываются друг на друга. При определенных условиях это может приводить к существенным ошибкам в оценке повреждений по сигналам акустической эмиссии [1].

Создание новых аппаратных средств для акустико-эмиссионной диагностики на базе ЭВМ дает возможность проводить оценку по новым информативным параметрам и критериям [2].

В предлагаемой работе рассмотрены вопросы разработки бесконтактного оптического регистратора акустико-эмиссионных сигналов на основе лазерного голографического интерферометра и метода оценки результатов акустико-эмиссионного контроля с использованием вероятностных критериев согласия.

Нами разработана экспериментальная схема измерения сигналов эмиссии на основе лазерного голографического интерферометра (рис. 1). Интересным является то, что в качестве фазочувствительного элемента интерферометра используется объемная отражательная фурье-голограмма [3, 4]. Схема работает следующим образом. Излучаемый лазером 1 световой поток проходит через линзы объектива 2, 3 и падает на отражательную голограмму 4, экспонированную в линейном режиме. В результате дифракции на голограмме одна часть светового потока образует реконструированное изображение и попадает в плоскость экрана 5, а другая, проходя через голограмму, отражается поверхностью объекта измерений 6, находящегося под нагрузкой 7, и повторно проходит через голограмму в плоскость экрана. Световые потоки

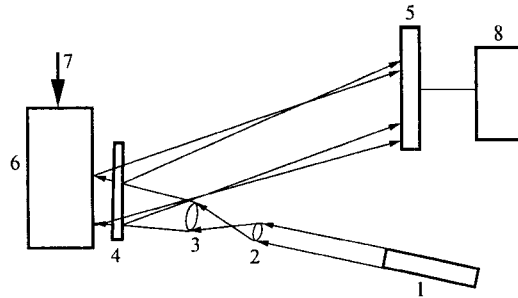


Рис. 1

от объекта контроля и голограммы интерферируют в плоскости экрана, образуя интерферограмму в виде кольцевых полос максимумов и минимумов интенсивности оптического поля. В плоскости экрана размещаются фотоприемники, которые регистрируют изменения интенсивности полос, вызываемые нормальными к поверхности контроля перемещениями, обусловленными выходом на поверхность упругих волн АЭ. Получаемая информация обрабатывается прибором АПС1-Э [1], блоком АЦП, ПЭВМ 8.

На рис. 2 показаны осциллограммы сигналов (кривая 1 – генерируемый импульс, 2 – зарегистрированные разработанным интерферометром, 3 – пьезодатчиком).

Используемый метод определения перемещений на основе анализа волновых фронтов оптического поля с применением эталонных голограмм [3, 4] для обработки акустико-эмиссионных сигналов обладает следующими преимуществами: в центральной области информационного изображения формируются низкие пространственные частоты и концентрируется энергия оптического поля (до 84 %), что повышает пороговую чувствительность измерителя до уровня не менее  $10^{-9}$  м и обеспечивает высокую точность измерения сигналов эмиссии.

Для оценки степени опасности дефектов в конструкциях при проведении АЭ-контроля предлагается использовать для анализа данных вероятностные критерии согласия [5]. В частности, рассматривается применение критерия  $\chi^2$ -Пирсона.

Исходя из того, что результаты АЭ-диагностики несут информацию о развивающихся дефектах, актуальной является разработка АЭ-критериев разрушения, позволяющих при проведении контроля давать оценку степени опасности дефектов.

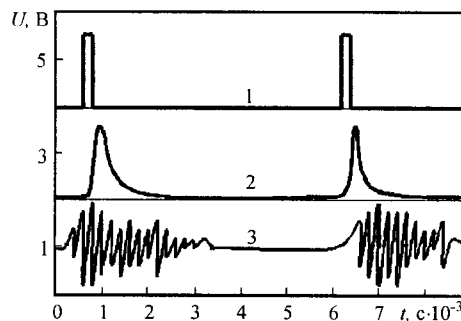


Рис. 2

Дефекты структуры в материале бездефектной (отсутствуют магистральные трещины) конструкции располагаются случайным образом, что определяет пуассоновский характер потока импульсов эмиссии и подтверждается результатами экспериментальных исследований [1].

Теоретические соотношения для амплитудного распределения импульсов и распределения временных интервалов между актами АЭ на ранних стадиях деформирования [1] подтверждаются экспериментальными, полученными при испытании образцов из стали 45Х и композиционных материалов, и показывают, что справедливы следующие кривые:

– амплитудное распределение

$$\omega(x) = (x/x_0)^{-m}, \quad 0,5 \leq m \leq 3; \quad (1)$$

– распределение временных интервалов между импульсами

$$\omega(t) = N_a \exp(-N_a t), \quad (2)$$

$$N_a = N_p / (1 - N_p k), \quad (3)$$

$$k = \frac{\sum t_0}{T - \sum t_0}, \quad (4)$$

где  $x$  – амплитуда импульса (В);  $x_0$  – уровень шумов (В);  $m$  – экспериментально определяемый для каждой секунды степенной показатель;  $N_p$  – зарегистрированная пьезопреобразователем интенсивность импульсов (имп./с);  $N_a$  – восстановленная (действительная) интенсивность импульсов (имп./с);  $k$  – коэффициент перекрытия импульсов;  $t$  – время (с);  $t_0$  – средняя длительность сигнала АЭ в исследуемом интервале (с);  $T$  – время оцениваемой выборки (с).

Обработка сигналов осуществлялась базовым АЭ-прибором АП-51Э [1], блоком АЦП, ПЭВМ (на базе процессора Pentium 2) по следующему алгоритму:

– за оцениваемый интервал времени производится выборка значений амплитуд и временных интервалов импульсов эмиссии;

– по соотношениям (1)–(4) рассчитываются теоретические ряды частот;

– с использованием вероятностных критериев согласия [5] проводится анализ величины расхождения («разладки») между теоретическими и опытными данными в исследуемом интервале;

– по характеру изменения величины «разладки» и условий работы конструкции делается заключение о степени опасности развивающихся в ней дефектов.

Рассмотрим пример использования критерия при диагностике металлической конструкции из стали 45Х по таблице, где  $\epsilon$  – деформация (%),  $\beta$  – вероятность того, что исследуемая величина, имеющая

$t, c$	$\epsilon, \%$	$\beta_u$	$\beta_t$	$N_a,$ имп./с
20	0,1	0,01	0,02	3
40	0,13	0,03	0,04	18
60	0,15	0,05	0,07	20
80	0,18	0,07	0,09	31
100	2,1	0,08	0,012	46
120	2,3	0,011	0,013	223
140	2,4	0,21	0,018	450
160	2,5	0,34	0,41	699
180	2,7	0,48	0,52	1020

$\chi^2$ -распределение, примет значение  $\chi_0^2$ , не меньшее чем вычисленное распределение расхождения теоретического и эмпирического рядов частот ( $\beta_u$  – для амплитудного распределения,  $\beta_t$  – для распределения временных интервалов между импульсами).

$P(\chi^2 \geq \chi_0^2) = \beta$ . Если  $\beta < 0,01$ , имеет место стадия развития микродефектов, если  $\beta > 0,01$ , – макродефектов.

Из таблицы следует, что, согласно изменению характеристик  $\beta_u$  и  $\beta_t$ , 120-я секунда нагружения является началом образования магистральной трещины, что подтверждается данными металлографии, увеличением «разладки», резким возрастанием интенсивности АЭ.

Полученные результаты позволяют определить момент начала образования макродефекта (магистральной трещины) и прогнозировать процесс разрушения конструкции.

Созданная на основе полученных результатов схема измерений позволяет осуществить бесконтактную регистрацию АЭ-сигналов при оценке технического состояния объектов, не допускающих контактную установку датчиков, расширить частотный диапазон и повысить достоверность АЭ-контроля [6, 7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буйло С. И. Использование моделей статистической радиофизики для повышения достоверности результатов акустико-эмиссионного метода контроля и диагностики предразрушающего состояния // Дефектоскопия. 1995. № 7. С. 13.
2. Муравин Г. Б., Лезвинская В. В., Шип В. В. Акустическая эмиссия и критерии разрушения (Обзор) // Дефектоскопия. 1993. № 8. С. 5.
3. Прыгунов А. Г., Сизов В. П., Безуглов Д. А. Метод определения перемещений объектов на основе анализа волновых фронтов оптического поля с использованием эталонных голограмм // Оптика атмосферы и океана. 1995. № 6. С. 826.
4. Безуглов Д. А., Прыгунов А. Г., Трепачев В. В. Анализ дифракции света на эталонной голограмме при измерении перемещений объектов пространственно-спектральным методом // Автометрия. 1998. № 5. С. 27.
5. Карасев А. И. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Статистика, 1970.
6. Попов А. В., Прыгунов А. Г. Голографический метод регистрации акустико-эмиссионных сигналов при деформации твердых тел // Дефектоскопия. 2000. № 6. С. 64.
7. Попов А. В. К вопросу оценки достоверности определения технического состояния конструкций методом акустической эмиссии // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 1998. № 3. С. 38.

*Поступила в редакцию  
16 декабря 1999 г.*