

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ МАТЕРИАЛА

Попков Артём Антонович, Бехер Сергей Алексеевич
Сибирский государственный университет путей сообщения
zabagy@gmail.com

Метод акустической эмиссии основан на регистрации упругих волн, возбуждаемых при развитии дефектов, и способен избирательно обнаруживать наиболее опасные для элементов конструкции дефекты – усталостные трещины. В процессе эксплуатации уменьшение вязкости материала значительно увеличивает скорость развития трещин [1]. Существенным недостатком, ограничивающим область применения акустико-эмиссионного метода неразрушающего контроля, является его низкая помехозащищенность. Поэтому необходимы методы кластеризации, основанные на анализе совокупности формы и параметров сигналов. Кластерный анализ и основанная на нем фильтрация потока сигналов позволяет выделить наиболее информативные из них [2]. Целью исследования является оценка устойчивости к внешним воздействиям параметров акустико-эмиссионных сигналов, возникающих при хрупком разрушении материала.

Экспериментальные исследования проводились на стеклянных листах толщиной 3 мм размерами 150x200 мм. Выбор стекла в качестве исследуемого объекта обусловлен распространенностью использования среди конструкционных материалов, а так же ярко выраженным хрупким характером разрушения. Ударным воздействием создавалась трещина размерами от 2 до 10 мм. Лист фиксировался зажимами на металлической подложке. Преобразователи акустической эмиссии устанавливались на расстояниях 30 мм от краев листа в вершинах треугольника. В процессе механического нагружения возникала изгибная деформация, контролируемая тензометрической системой «Динамика-1» с подключенным тензодатчиком типа ПКС-12-200. Изменения размеров трещины фиксировались камерой Panasonic разрешением 1920 на 1080 точек с частотой съемки 50 кадров в секунду. Сигналы акустической эмиссии регистрировались акустико-эмиссионной системой СЦАД 16.03 с дискретностью отсчета АЦП 0,5 мкс и уровнем шумов на входе предварительного усилителя не более 10 мкВ.

На этапе постобработки вычислялись амплитудные параметры акустико-эмиссионных сигналов: амплитуда U_m , размах R_{AE} , среднее квадратическое отклонение (СКО) $U_{СК}$ и энергетический параметр $MARSE$. Методом корреляционного анализа исследовались зависимости параметров двух сигналов, зарегистрированных разными парами преобразователей (рис. 1). Характер зависимостей оценивался с помощью коэффициента корреляции, для которого при минимальном влиянии внешних воздействий выполняется условие $(r - 1) \ll 1$, а зависимость параметров близка к линейной [3].

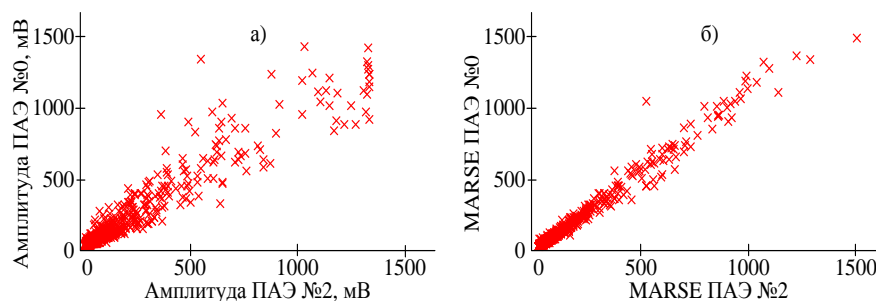


Рис. 1 – Зависимость амплитуды (а) и энергетического параметра $MARSE$ (б) сигналов с ПАЭ 0 от сигналов с ПАЭ 2 с коэффициентами корреляции 0,94 и 0,99 соответственно

При контроле элементов конструкций, размеры которых существенно меньше расстояния распространения акустической волны до затухания, использование в качестве параметров сигналов усредненных значений (рис. 1, б), например $MARSE$, предпочтительнее мгновенных экстремальных значений

таких, как амплитуда сигнала (рис. 1, а). Это обусловлено существенным влиянием многократных отражений от границ объекта контроля на форму регистрируемых сигналов. Незначительные изменения источника АЭ приводят к существенным случайным изменениям амплитуды сигнала.

Чувствительность коэффициента корреляции к малым изменениям неопределенности параметров не превышает 5%. Было введено понятие устойчивости параметра сигнала АЭ [4] к малым изменениям источника: параметр P_1 более устойчив, чем параметр P_2 , если при изменении источника изменения параметров $|\Delta P_1| \leq \varepsilon_1$ и $|\Delta P_2| \leq \varepsilon_2$, и при этом выполняется неравенство $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$. В качестве значения ε использовалось среднеквадратическое значение шумовой составляющей с нормальным распределением шумовой составляющей [5]:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{r^2} - 1},$$

где r – значение коэффициента корреляции между параметрами сигналов, зарегистрированных разными преобразователями акустической эмиссии.

Максимальная устойчивость к влиянию мешающих факторов наблюдается у СКО сигнала и MARSE, для которых коэффициент ε не превышает 0,05, минимальная устойчивость у амплитуды и размаха сигнала – ε от 0,15 до 0,35 (рис. 2).

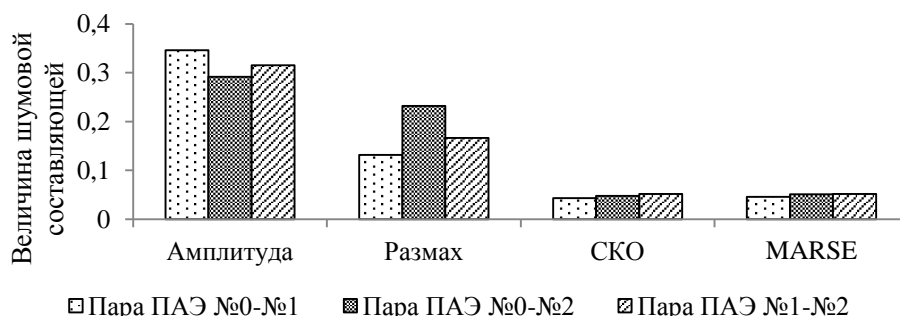


Рис. 2 – Гистограмма значения шумовой составляющей для разных параметров АЭ сигналов и пар преобразователей акустической эмиссии

Коэффициент корреляции параметров сигналов отличается слабой чувствительностью к малым изменениям параметров источника. В ходе эксперимента значение коэффициента корреляции варьировалось в диапазоне 0,94 – 0,99 (сильная зависимость исследуемых величин), что свидетельствует о невозможности использования коэффициента r в качестве критерия определения устойчивости параметров сигналов. Аналитически рассчитанные значения СКО шума ε при этом отличались в семь раз. Максимально устойчивыми среди анализируемых являются параметры MARSE и СКО – значение ε не превышает 0,05. Разработанная методика позволяет для конкретного объекта экспериментальным способом выбрать и обосновать параметры сигналов, оптимальных для процедуры кластеризации.

Список литературы:

- [1] Буйло С. И. Критерий оценки хрупкого разрушения стекла по сигналам акустической эмиссии / В. Р. Скальский, С. И. Буйло, Е. М. Станкевич. – Дефектоскопия. – 2012. – №5. – с. 26-34
- [2] Бехер, С.А. Устойчивость параметров сигналов акустической эмиссии при контроле литых деталей тележек / С.А. Бехер // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. – 2014. – с. 159.
- [3] Попков, А.А. Применение корреляционных методов анализа акустико-эмиссионных сигналов при контроле литых деталей сложной формы / А.А. Попков // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность. – 2015. – с. 130-134.
- [4] Бойков, И.В. Устойчивость решений дифференциальных уравнений: монография / И.В. Бойко. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. – 244 с.
- [5] Попков А.А., Бехер, С.А. Корреляционные методы анализа информативности параметров сигналов акустической эмиссии / А.А. Попков, С.А. Бехер // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке. – 2016. – с. 195-196.