

МОДИФИКАЦИЯ КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИНВАРИАНТОВ

А. В. ПОПОВ, И. В. КОСЕНКОВ, В. Э. ЖУМАЙ

Рассматривается модификация характерных для случайных потоков Пуассона инвариантов, используемых при акустико-эмиссионном контроле для решения задач исследования процессов разрушения силовых элементов конструкций.

The paper deals with modification of invariants characteristic for Poisson random flows, used in acoustic-emission testing to solve the problems of investigation of the processes of failure of load-carrying structural elements.

Акустико-эмиссионный (АЭ) контроль основывается на анализе информации, содержащейся в нестационарном случайном потоке импульсов эмиссии. Это дает возможность исследовать кинетику накопления повреждений и решать ряд вопросов оценки прочности конструкций. Для метода АЭ проблемным вопросом является разработка критериев оценки информативных параметров эмиссии для диагностики процессов накопления повреждений и разрушения конструкций.

Общими недостатками использования АЭ критериев являются влияние механических шумов, предыстории эксплуатации, размеров и формы контролируемых конструкций на результаты оценки процессов разрушения.

В данной работе предлагается дальнейшее развитие метода инвариантов, характеризующих АЭ процессы при разрушении материалов [1, 2]. Он основан на оценке изменения характеристик сигналов АЭ при деформировании конструкций и состоит в том, что для обеспечения постоянного и периодического контроля оценку процессов разрушения проводят путем анализа изменения распределений параметров АЭ. Установлено [1, 2], что стадии разрушения характеризуются инвариантом I

$$I = \frac{M[\tau^2]}{M^2[\tau]} = 2, \quad (1)$$

где $M[\tau^2]$ — математическое ожидание квадрата временных интервалов сигналов АЭ; $M^2[\tau]$ — квадрат математического ожидания временных интервалов сигналов АЭ.

При образовании микродефектов I менее или равно 2, при образовании и росте макродефектов I более 2. Величина отклонения I от числа 2 характеризует степень разрушения конструкций.

Рассмотрим возможность определения степени опасности развивающихся дефектов на основе использования «прореженных» потоков или потоков

Эрланга [2, 3]. С этой целью исходный поток τ «прореживается» с порядками k . Выбор k определяется свойствами исходного потока, в частности, интенсивностью (необходимо учитывать, что $k \leq 10$). Это объясняется тем, что при увеличении k распределение τ_k в простейшем потоке будет стремиться к нормальному [3].

Для определения оценок $M[\tau_k^2]$ и $M^2[\tau_k]$ можно использовать известные алгоритмы, например «скользящего среднего» или стохастической аппроксимации [4–6].

Для потока Эрланга k -го порядка с параметром λ [3]

$$M[\tau_k^2] = M^2[\tau_k] + D[\tau_k], \quad (2)$$

$$M[\tau_k] = \frac{k}{\lambda}, \quad D[\tau_k] = \frac{k}{\lambda^2}, \quad (3)$$

где λ — интенсивность исходного потока; $D[\tau_k]$ — дисперсия интервала времени между соседними событиями τ_k в потоке k -го порядка.

Инвариант (1) с учетом (2) и (3) имеет вид

$$\begin{aligned} I_k &= \frac{M[\tau_k^2]}{M^2[\tau_k]} = 1 + \frac{D[\tau_k]}{M^2[\tau_k]} = \\ &= 1 + \frac{kM^2[\tau]}{k^2M^2[\tau]} = \frac{k+1}{k}. \end{aligned} \quad (4)$$

Формула (4) справедлива для простейшего потока, для которого вероятностные характеристики i и $i-1$ акта независимы. На основе (4) вводим следующую форму инварианта:

$$I^* = \left| \frac{M[\tau_k^2]}{M^2[\tau_k]} - \frac{k+1}{k} \right| = 0. \quad (5)$$

В том случае, когда деформация приводит к объединению микроисточников в макродефект с

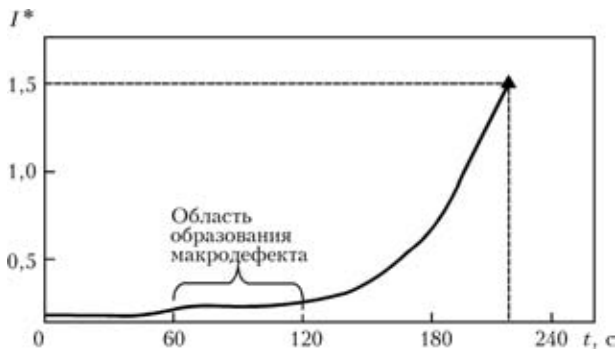


График зависимости отношения (5) от деформации образцов из сплава АМг6 (треугольником обозначен момент разрушения)

последующим его развитием, вероятностные характеристики актов АЭ становятся зависимыми. Это разрушает гипотезу пуассоновского потока, нарушает распределение Эрланга для случайной величины τ_k и соотношение (5) оказывается несправедливым. Этот факт «разладки» процесса можно использовать для диагностики процессов накопления повреждений и разрушения конструкций.

Вопросы задания порога невыполнения указанного соотношения, доверительной вероятности и интервала времени τ должны решаться с учетом конкретных условий работы конструкции, требований к запасам прочности, особенностей материала и в значительной степени основываться на результатах эксперимента.

Рассмотрим пример оценки степени опасности дефектов при разрушении серии стандартных плоских прямоугольных образцов из сплава АМг6 при одноосном нагружении. Для такого типа образцов характерна незначительная акустическая активность практически по всей диаграмме нагружения, что объясняется высокой пластичностью алюминиевых сплавов.

На рисунке показано сглаженное методом наименьших квадратов изменение отношения (5) в процессе деформирования. Распределение интервалов между актами АЭ, близкое к пуассоновскому потоку, наблюдается от начала нагружения и до 120-й секунды (что соответствует деформации $\varepsilon = 0,8\%$). Начиная со 120-й секунды наблюдается резкое увеличение значения «разладки», возрастание интенсивности сигналов, что объясняется, скорее всего, объединением микроисточников в макродефект (трещину), его последующим скачкообразным развитием вплоть до разрушения.

Разработанный подход дает возможность оценки в процессе контроля динамики и степени изменения распределений информативных параметров эмиссии, характеризующих степень предразрушающего состояния конструкции. Оценка с помощью приведенных соотношений позволяет оценивать как исходные, так и «прореженные» АЭ потоки любого порядка и не зависит от предыстории нагружения, что дает возможность осуществлять постоянный и периодический АЭ контроль.

1. *Расцепляев Ю. С., Попов А. В.* К вопросу исследования динамики акустико-эмиссионных процессов в задачах неразрушающего контроля методами теории случайных потоков // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2000. — № 3. — С. 24–27.
2. *Расцепляев Ю.С., Попов А. В.* Метод инвариантов в задаче исследования потоков акустической эмиссии // Дефектоскопия. — 2000. — № 10. — С. 79–82.
3. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1991. — 380 с.
4. *Тихонов В. И.* Оптимальный прием сигналов. — М.: Радио и связь, 1983. — 320 с.
5. *Ярлыков М. С.* Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике. — М.: Сов. радио, 1980. — 358 с.
6. *Сосулин Ю. Г.* Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. — М.: Сов. радио, 1978. — 319 с.

Ростовский военный институт ракетных войск,
Ростов-на-Дону

Поступила в редакцию
01.03.2007