DOI 10.15276/imms.v10.no1-2.90
УДК 519.87:004(043)

Informatics and Mathematical Methods in Simulation
Vol. 10 (2020), No. 1-2, pp. 90-99

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ЕЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

А.Ф. Верлань[1], С.А. Положаенко[2]

[1]Институт проблем моделирования в энергетике НАН Украины,
ул. Генерала Наумова,15, Киев, 02000, Украина; e-mail: a.f.verlan@gmail.com
[2]Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: sanp277@gmail.com

При обработке сигналов акустической эмиссии (АЭ) в системе контроля с целью исследования диагностических признаков сигналов, статистической обработки результатов измерений, оценки степени опасности различных дефектов конструкций должны обеспечиваться запись и долговременное хранение результатов измерения, а также полученных оценок общей активности АЭ; распределения роста активности по зонам изделия; амплитудного распределения; временных интегральных и спектральных характеристик сигналов. Полную и качественную информационную картину источника АЭ при этом должен обеспечить первичный преобразователь сигналов АЭ, от корректности функционирования которого, в конечном итоге, зависит достоверность оценки исследуемого физического явления, формируемой системой регистрации в целом. В практических приложениях основную диагностическую ценность представляет ряд временных характеристик импульсов АЭ, из которых, прежде всего, наиболее информативным являются: амплитуда, длительность импульса и крутизна его переднего фронта. Информативной, по результатам первичных измерений, также является картина распределения факторов АЭ в изделии, позволяющая делать выводы о возможных механизмах динамических процессов, оценить уровень релаксации напряжений и возможных повреждений, прогнозировать вероятность трещинообразования, а также ухудшения прочностных свойств материала изделия от наличия примесей и продуктов износа. Сложность задачи выбора и разработки способов, программных и аппаратных средств регистрации АЭ-сигналов определяется большим разнообразием принципов организации соответствующих измерительных приборов и систем, недостаточной изученностью явления АЭ и, как следствие, отсутствием общепризнанной концепции АЭ-контроля и диагностики.

Ключевые слова: акустическая эмиссия (АЭ), первичный преобразователь (датчик) сигналов АЭ, математическая модель, параметрическая идентификация математической модели.

Введение

Задача обработки сигналов АЭ возникает в ряде практических приложений, например, при оценке степени опасности различного рода дефектов конструкций с целью исследования диагностических признаков сигналов, а также статистической обработки результатов измерений. Особая роль при этом отводится первичным преобразователям сигналов АЭ (датчикам), которые должны обеспечить полную и достоверную регистрацию как качественных, так и количественных характеристик указанных сигналов.

В известных работах, посвященных вопросам регистрации сигналов АЭ (в том числе и импульсных) [1–3], отмечается, что из временных характеристик последних наиболее информативными являются амплитуда A и длительность T импульса, а также крутизна $S_ф$ его переднего фронта. Кроме того, информативным следует считать распределение АЭ в элементах деформируемой (или имеющей дефекты, например, трещины) конструкции, которое (распределение) позволяет различать механизмы динамических явлений, оценить темп и масштаб накопления деформаций (разрушений), отличать пластическую деформацию от собственно трещин ηT, отсутствие трещинообразования от скопления неметаллических включений и т.д.

На основе аппроксимации плотности распределения амплитуд, например, усеченным релеевским или экспоненциальным распределениями могут быть предложены новые информативные параметры АЭ [4]. Для характеристик механических дефектов зарождения и развития магистральных трещин используется связь (коэффициент корреляции, в частности) между амплитудой огибающей импульсов АЭ и интервалов между ними. Энергетические и временные параметры физических проявлений АЭ используются во всех акустико-эмиссионных системах (примером может служить метод восстановления потока повреждений по сигналам АЭ, разработанный на основе кинетической концепции прочности). Значительное число работ посвящено использованию в акустико-эмиссионных системах спектральных характеристик сигналов АЭ [5]. В частности, одной из самых информативных признается спектральная плотность сигналов [5, 6].

Высокое качество регистрации сигналов АЭ обеспечивает возможность формирования диагностического портрета сигнала, который представляет собой определенный набор диагностических признаков, вычисленных либо по дискретным значениям сигнала, поступающего с выхода устройства регистрации сигнала, либо на основе модельных сигналов. Сюда следует включить координаты источника сигнала акустической эмиссии, а также порядковый номер и время регистрации сигнала.

Очевидно, что формируемый датчиком сигнал $y(t)$ должен позволять оценить все из указанных выше характеристик (параметров) первичного сигнала АЭ $x(t)$. При этом, в максимальной степени обеспечить желаемые качественные показатели датчику сигналов АЭ можно в ходе математического моделирования, задавшись тем или иным критерием.

Цель работы

Формирование математической модели (ММ) первичного преобразователя сигналов АЭ, обеспечивающей адекватное представление исходного акустического воздействия $x(t)$ в виде выходного отклика $y(t)$ в условиях ограничений на вычислительные ресурсы при ее численной реализации.

Основная часть

Математическая модель первичного преобразователя. Первичный измерительный преобразователь (датчик) можно рассматривать как динамическую систему и применять для его описания, анализа и моделирования соответствующий математический аппарат. Будем рассматривать класс линейных и стационарных первичных преобразователей (датчиков). На этом основании, в качестве (ММ) первичного преобразователя, можно использовать обыкновенное линейное дифференциальное уравнение (ОДУ) с постоянными коэффициентами и соответствующими начальными условиями (НУ)

$$\sum_{i=0}^{n}\alpha_i \frac{d^i}{dt^i} y(t) = \sum_{j=0}^{m} b_j \frac{d^j}{dt^j} x(t); \quad n \ge m, \frac{d^i}{dt^i} y(0) = 0; \quad i = 0,\dots,n-1; \quad \alpha_0 = 1, \tag{1}$$

где $x(t)$ – входной, а $y(t)$ – выходной сигналы; t – независимая координата времени; α_i, b_i – постоянные коэффициенты, которые являются параметрами ММ датчика, причем, по известным параметрам α_i, b_i можно произвести качественную и количественную оценку свойств датчика.

Представление ММ в виде эквивалентных интегральных уравнений во многих случаях повышает эффективность их компьютерной реализации. Представим дифференциальное уравнение (1) в области изображений по Лапласу:

$$\sum_{i=0}^{n}\alpha_{\,i} p^i Y(p) = \sum_{j=0}^{m} b_{\,j} p^j X(p) \text{ или } \sum_{i=0}^{n}\alpha_{n-i} p^{-i} Y(p) = \sum_{j=0}^{m} b_{n-j} p^{-j} X(p), \tag{2}$$

$$\alpha_0 = 1,\ b_j = 0, \text{ при } j > m.$$

Умножение изображения функции на p^{-1} соответствует операции ее интегрирования в области оригиналов, а умножение изображения функции на p^{-i} соответствует i-кратному интегрированию в области оригиналов. С другой стороны, произведению изображений двух функций соответствует, их свертка в области оригиналов. В частности, изображению p^{-i} соответствует функция-оригинал $\left\{\left(t^{n-1}\right)\big/\left[(n-1)!\right]\right\}$ [7]. Таким образом, (2) можно представить в области оригиналов в виде:

$$\alpha_n y(t) + \sum_{i=1}^{n}\frac{\alpha_{n-i}}{(i-1)!}\int_0^t (t-s)^{i-1} y(s)\,ds = b_n x(t) + \sum_{j=1}^{m}\frac{b_{n-j}}{(j-1)!}\int_0^t (t-s)^{j-1} x(s)\,ds, \tag{3}$$

$$\alpha_0 = 1,\ b_j = 0, \text{ при } j > m.$$

Дифференциальному уравнению (1) в области изображений соответствует понятие дробно-рациональной передаточной функции [8], которая, для рассматриваемого случая примет вид:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{\sum_{j=0}^{m} b_j p^j}{\sum_{i=0}^{n}\alpha_i p^i}, \quad n \ge m. \tag{4}$$

Дробно-рациональную передаточную функцию (4) можно представить в виде суммы элементарных дробей [8], применив, например, метод неопределенных коэффициентов [9]:

$$W(p) = k_1 + (1-k_1)\left(\sum_{g=1}^{r}\sum_{\alpha=1}^{\mu g}\frac{k_{g,\alpha}}{\left(T_g p + 1\right)^{\alpha}} + \sum_{\nu=1}^{u}\frac{p k_{\nu,1} + k_{\nu,0}}{\left(T_{\nu,2} p^2 + T_{\nu,1} p + 1\right)}\right), \tag{5}$$

где k_1, $k_{g,\alpha}$, $k_{\nu,1}$, $k_{\nu,0}$ – вещественные коэффициенты; T_g – постоянные времени инерционных звеньев; $\sqrt{T_{\nu,2}}$ – периоды колебаний; $T_{\nu,1}$ – постоянные времени затухания колебательных звеньев (T_g, $T_{\nu,1}$, $T_{\nu,2}$ определяются корнями полинома знаменателя дробно-рациональной передаточной функции); r – число простых корней полинома; μ_g – кратность g-го корня, u-число комплексно-сопряженных корней полинома.

Переходя в (3.5) от изображений к оригиналам, получим аналитическое выражение интегральной динамической модели в форме интегрального уравнения Вольтеры II рода относительно выходного сигнала:

$$y(t)=k_1x(t)+(1-k_1)\int_0^t K(t-s)x(s)ds \tag{6}$$

с ядром (весовой функцией) вида

$$\begin{aligned}K(t)=\sum_{g=1}^{r}\frac{1}{T_g}\exp\left(-\frac{t}{T_g}\right)\cdot\sum_{\alpha=1}^{\mu g}\frac{k_{g,\alpha}}{(\alpha-1)!}\left(\frac{t}{T_g}\right)^{\alpha-1}+\\+\sum_{\nu=1}^{u}\frac{1}{T_{\nu,1}}\exp\left(-\frac{t}{T_{\nu,1}}\right)\cdot\left(k_{s,\nu}\sin\left(\frac{2\pi\nu t}{T_\nu}\right)+k_{c,\nu}\cos\left(\frac{2\pi\nu t}{T_\nu}\right)\right),\end{aligned} \tag{7}$$

где $k_{s,\nu}$, $k_{c,\nu}$, $T_\nu=T_{0;2}^{1/2}$ аналитически связаны с $k_{\nu,1}$, $k_{\nu,0}$, $T_{\nu,1}$, $T_{\nu,2}$.

Процесс разложения дробно-рациональной функции на элементарные дроби включает в себя поиск корней полинома знаменателя для определения постоянных величин, составление и решение системы литейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для определения весовых коэффициентов. Интегральная модель с весовой функцией вида (7) соответствует представлению линейной стационарной динамической системы комбинацией масштабных, инерционных, колебательных и других звеньев. Из условия физической реализуемости системы ($K(t-s)=0$ при $s>t$) и состояния покоя до момента времени $t_0\left(y(t)=0 \text{ при } t<t_0\right)$ следует, что $k_1=0$. Параметры α_i, b_j дробно-рациональной передаточной функции $W(p)$ (4) соответствуют параметрам аналитического выражения весовой функции $K(t)$.

Акустические датчики являются динамическими системами с колебательными звеньями [10]. Поэтому, с учетом $k_1=0$ весовая функция интегральной динамической модели акустического датчика имеет вид

$$K(t)=\sum_{\vartheta=1}^{u}\frac{1}{T_{\vartheta,1}}\exp\left(-\frac{t}{T_{\vartheta,1}}\right)\cdot\sum_{\beta=1}^{\nu\vartheta}\left(\frac{t}{T_\vartheta}\right)^{\beta}\cdot\left(k_{s,\vartheta,\beta}\sin\left(\frac{2\pi\nu t}{T_\vartheta}\right)+k_{c,\vartheta,\beta}\cos\left(\frac{2\pi\nu t}{T_\vartheta}\right)\right).$$

Для исследования акустических датчиков применяются упрощенные модели [6] в пределах допустимой погрешности. Например, для заданной переходной функции акустического датчика вида

$$V(t) = A\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_\vartheta}\right)\cos(\omega t + \phi)\right),$$

где A – масштабный коэффициент, $T_{v,1}$ – постоянная времени затухания колебательного процесса, ω — угловая частота, ϕ – начальный сдвиг фазы – импульсная переходная (весовая) функция в модели (6) может быть записана следующим образом:

$$K(t) \equiv V'(t) = A\exp\left(-\frac{t}{T_\vartheta}\right)\cdot\left(\frac{1}{T_\vartheta}\cos(\omega t + \phi) + \omega\sin(\omega t + \phi)\right). \tag{8}$$

Использование модели с ядром вида (8) позволяет исследовать колебательные системы без привлечения больших вычислительных ресурсов.

Для повышения устойчивости модели (6) при $k = 0$ вводится малый регуляризирующий параметр [6]. Тогда модель (6) будет иметь вид:

$$\alpha x(t) + \int_0^t K(t-s)x(s)ds = y(t) \tag{9}$$

Для удобства компьютерного моделирования представим (8) в дискретной форме (в виде решетчатой функции):

$$K(nh) \equiv A\exp\left(-n\frac{h}{T_\vartheta}\right)\cdot\left(\frac{1}{T_\vartheta}\cos(n\omega h + \phi) + \omega\sin(n\omega h + \phi)\right), \tag{10}$$

где h – шаг дискретизации независимой переменной. Воспользовавшись таблицей Z - преобразований [7], определяем Z -изображение модели (9) с учетом (10):

$$Y(z) = X(z)\cdot A\left(\frac{h}{T_\vartheta}\frac{z^2\gamma^{-2}\cos\phi - z\gamma^{-1}\cos(\beta - \phi)}{z^2\gamma^{-2} - 2z\gamma^{-1}\cos\beta + 1} + \right.$$

$$\left. + h\omega\frac{z^2\gamma^{-2}\sin\phi + z\gamma^{-1}\sin(\beta - \phi)}{z^2\gamma^{-2} - 2z\gamma^{-1}\cos\beta + 1} + \alpha\right),$$

где $\beta = \omega h$, $\gamma = \exp\left(-\frac{h}{T_\vartheta}\right)$.

После проведения алгебраических преобразований получаем разностную схему моделирования колебательной системы:

$$y_n = 2\gamma\cos\beta y_{n-1} - \gamma^2 y_{n-2} + A\left(\left(\frac{h}{T_\vartheta}\cos\phi + h\omega\sin\phi\right)x_n + \right. \tag{11}$$

$$+\left(h\omega \sin\left(\beta-\phi\right)-\frac{h}{T_{\vartheta}}\cos\left(\beta-\phi\right)-\alpha\cos\beta \right)\gamma x_{n-1}+\alpha\gamma^2 x_{n-2}\,,$$

где $y_i = y(ih)$, $x_i = x(ih)$.

Разностная модель более удобна для компьютерной реализации и, кроме того, естественным образом учитывает «предысторию» входного сигнала, в отличие от прямой дискретизации.

Идентификация характеристик первичного преобразователя. Для адекватного моделирования динамической системы необходимо знание параметров $\alpha_i\left(i=1...n\right)$, $b_j\left(j=1...m\right)$ ее ММ (1). Для модели акустического датчика (11) параметры α_i, b_j однозначно определяют характеристики колебательной системы A, $T_{\vartheta,1}$, ω, ϕ. Для определения значений параметров воспользуемся одним из методов идентификации.

Методы идентификации характеристик датчиков можно разделить на три группы: временные, частотные и статистические. Использование методов двух последних групп, как правило, требует использования дорогостоящей прецизионной аппаратуры и продолжительного времени проведения эксперимента (например, для сбора необходимых статистических данных). Во многих практических случаях для оценки динамических характеристик датчиков оказывается вполне достаточно зарегистрировать одну реализацию реакции датчика на широкополосной входной сигнал, например, прямоугольный импульс (т.е. суть весовую функцию [8, 9]).

Определение параметров весовой функции элемента системы, обычно [8] осуществляют путем решения задачи интерпретации кривых переходных процессов, вызванных детерминированными входными тестовыми сигналами.

Чрезвычайно важной является задача оценки параметров передаточной функции при построении корректирующих устройств, для компенсации искажений, вносимых измерительными преобразователями (датчиками). Довольно часто может возникать необходимость в повторной идентификации датчика в связи с его старением или изменением условий эксплуатации. Это обстоятельство обуславливает целесообразность построения компактных специализированных устройств для идентификации характеристик первичных преобразователей.

Для однозначного определения линейного стационарного объекта необходимо знать конкретные величины параметров его ММ: α_i, b_j (для случая дробно-рациональной передаточной функции вида (3.4)). Параметры α_i, b_j $\left(i=0,...,n,\ j=0,...,m\right)$ определяются путем анализа отклика системы $y(t)$ на детерминированное входное воздействие $x(t)$.

Экспериментально можно зафиксировать сигналы $x(t)$ и $y(t)$ в $n+m+1$ различные моменты времени, что позволяет сформировать СЛАУ относительно неизвестных параметров α_i, b_j:

$$\sum_{i=0}^{n}\alpha_i\frac{d^i}{dt^i}y\left(t_k\right)-\sum_{j=0}^{m}b_j\frac{d^j}{dt^j}x\left(t_k\right)=0,\ k=1,...n+m+1,\ \alpha_0=1,\ n\ge m\,. \tag{12}$$

Для формирования СЛАУ (12) по экспериментальным данным $x(t_k)$, $y(t_k)$ необходимо численно определять производные высших порядков. Известные алгоритмы характеризуются большим числом операций и невысокой точностью, что практически исключает возможность прямого использования (12) для идентификации.

Более эффективные алгоритмы идентификации можно получить, используя в области оригиналов эквивалентные математические модели в виде интегральных уравнений, в частности, в свертках со степенными рядами (3). Экспериментально зафиксировав не менее $k=1,...,n+m+1$ значений входного $x(t_k)$ и выходного $y(t_k)$ сигналов в различные моменты времени можно получить СЛАУ относительно неизвестных (искомых) параметров α_i, b_j:

$$\alpha_n y(t_k)+\sum_{i=1}^{n}\frac{\alpha_{n-1}}{(i-1)!}\int_0^{t_k}(t_k-s)^{i-1}y(s)ds-b_n x(t_k)-\sum_{j=1}^{n}\frac{b_{n-j}}{(j-1)!}\int_0^{t_k}(t_k-s)^{j-1}x(s)ds=0, \qquad (13)$$

$$\alpha_0=1,\ \text{при}\ j>m,\ n\geq m;\ k=1,...,n+m+1.$$

В случае переменного шага дискретизации времени для вычисления свертки можно воспользоваться свойством разделяемости степенного разностного ядра, осуществляя разделение свертки на простые интегралы по одной переменной интегрирования путем представления степенного разностного ядра в виде биномиального многочлена. Однако такой алгоритм может потребовать дополнительные вычислительные ресурсы, так как предполагает вычисление линейных комбинаций степенных функций с существенно различными величинами аргументов.

С точки зрения более экономичной аппаратурной реализации целесообразно вычислять эквивалентные свертке кратные интегралы:

$$\int_0^t\ldots\int_0^t b(t)\,dt^n=\frac{1}{(n-1)!}\int_0^t(t-s)^{n-1}b(s)ds.$$

Тогда (13) запишется в виде:

$$\alpha_n y(t_k)+\sum_{i=1}^{n}\alpha_{n-1}\int\underset{0}{\overset{t_k}{\ldots}}\int y(s)ds^n-b_n x(t_k)-\sum_{j=1}^{m}b_{n-j}\int\underset{0}{\overset{t_k}{\ldots}}\int x(s)ds^n=0,$$

$$\alpha_0=1,\ b_j=0\ \text{при}\ j>m,\ n\geq m;\ k=1,...,m+n+1.$$

Одним из существенных достоинств интегральных методов идентификации является получение искомых параметров в явном виде, удобном для количественного анализа. Кроме того, найденные параметры инвариантны относительно шага дискретизаций. Важным достоинством интегральных методов является их высокая устойчивость, обусловленная усреднением (сглаживанием) высокочастотных помех при вычислении кратных интегралов. С другой стороны, точность интегрального метода ограничивается методической погрешностью численного интегрирования.

Интегральный метод идентификации дает возможность получить коэффициенты дробно-рациональной передаточной функции (4) динамической системы, которые используются для анализа динамики исследуемых процессов. Разложение передаточной функции (3.4) на элементарные дроби (5) позволяет легко переходить от изображений к оригиналам. Разложение дробно-рациональной передаточной функции на простые дроби можно осуществить, например, воспользовавшись методом неопределенных коэффициентов [8]. После разложения можно получить передаточную функцию в форме простых дробей вида (5), причем коэффициенты дробей, определяющие характеристики отдельных звеньев ММ динамической системы, определяются найденными в процессе идентификации коэффициентами α_i, b_j дробно-рациональной передаточной функции (4).

Выводы

Получена ММ первичного преобразователя сигналов акустической эмиссии (датчика) в виде интегрального уравнения Вольтерры II рода. Отличительной особенностью данной модели является ее очевидный физический смысл с представлением в виде весовой функции измеряемого акустического сигнала, а также простота компьютерной реализации при относительно невысоких вычислительных затратах. Кроме того, предложенная ММ легко может быть записана в терминах теории автоматического управления в форме передаточной функции, что позволяет, с одной стороны, исследовать ее с привлечением хорошо разработанного обширного аналитического аппарата указанной теории, а с другой – в удобной форме применять при синтезе соответствующих систем регистрации и управления.

Разработана действенная процедура параметрической идентификации предложенной ММ первичного преобразователя акустической эмиссии, цель которой состоит в определении постоянных коэффициентов исходного ОДУ, описывающего динамическое поведение первичного преобразователя. Процедура сводится к вычислению кратных интегралов, эквивалентных свертке изображений входного сигнала первичного преобразователя и отклика на него в области оригиналов.

Корректность предложенной ММ первичного преобразователя подтверждена решениями ряда тестовых задач, показавших отклонение от реальных измерений не более чем на $(3...5)\%$, что вполне допустимо при построение практических систем регистрации сигналов акустической эмиссии.

Список литературы

1. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Неразрушающий контроль: в 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля. Москва: Высшая школа, 1991. 283 с.
2. Андрейкив А.Е., Лысак Н.В. Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения. К. : Наукова думка, 1989. 176 с.
3. Baldev R. Fundamentals of acoustic emission. *British Journal of NDT*. 1994. V.36(1).
4. Носов В.В., Бураков И.Н. Использование параметров амплитудного распределения сигналов акустической эмиссии для оценки прочности конструкционных материалов. *Дефектоскопия*. 2004. №3. С. 15-21.
5. Boczar T., Zmarzly D. Analysis of the acoustic emission pulses generated by partial electrical discharges. *Insight*. 2008. V.45(7). P. 488-492.
6. Верлань А.Ф., Горошко И.О., Карпенко Е.Ю., Королев В.Ю., Мосенцова Л.В. Методы и алгоритмы восстановления сигналов и изображений: монография. К: НАН Украины, ИПМЭ им. Г.Е. Пухова, 2011. 368 с.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва: Наука, 1979. 831 с.
8. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Москва: Наука, 1975. 768 с.
9. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. Москва: Наука, 1973. 265 с.
10. Гуменюк В.А., Сульженко В.А., Яковлев А.В. Современные возможности и тенденции развития акустико-эмиссионного метода. *В мире неразрушающего контроля*. 2000. V.9(3). С. 8-12.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ТА ЇЇ ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ

А.Ф. Верлань[1], С.А. Положаєнко[2]

[1]Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України,
вул. Генерала Наумова, 15, Київ, 02000, Україна; e-mail: a.f.verlan@gmail.com
[2]Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: sanp277@gmail.com

При обробці сигналів акустичної емісії (АЕ) в системі керування з метою дослідження діагностичних ознак сигналів, статистичної обробки результатів вимірювань, оцінки ступеня небезпеки різних дефектів конструкцій повинні забезпечуватися запис і довготривале зберігання результатів вимірювання, а також отриманих оцінок загальної активності АЕ; розподілу зростання активності по зонам виробу; амплітудного розподілу; тимчасових інтегральних і спектральних характеристик сигналів. Повну і якісну інформаційну картину джерела АЕ при цьому повинен забезпечити первинний перетворювач сигналів АЕ, від коректності функціонування якого, в кінцевому підсумку, залежить достовірність оцінки досліджуваного фізичного явища, що формується системою реєстрації в цілому. У практичних застосуваннях основну діагностичну цінність представляє ряд тимчасових характеристик імпульсів АЕ, з яких, перш за все, найбільш інформативним є: амплітуда, тривалість імпульсу і крутизна його переднього фронту. Інформативною, за результатами первинних вимірювань, також є картина розподілу факторів АЕ у виробі, яка дозволяє робити висновки про можливі механізми динамічних процесів, оцінити рівень релаксації напружень і можливих пошкоджень, прогнозувати ймовірність утворення тріщин, а також погіршення характеристик міцностних властивостей матеріалу виробу від наявності домішок і продуктів зносу. Складність задачі вибору та розробки способів, програмних і апаратних засобів реєстрації АЕ-сигналів визначається значною різноманітністю принципів організації відповідних вимірювальних приладів та систем, недостатньою вивченістю явища АЕ і, як наслідок, відсутністю загальновизнаної концепції акустико-емісійного контролю та діагностики.

Ключові слова: акустична емісія (АЕ), первинний перетворювач (датчик) сигналів АЕ, математична модель, параметрична ідентифікація математичної моделі.

MATHEMATICAL MODEL OF THE PRIMARY CONVERTER OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS AND ITS PARAMETRIC IDENTIFICATION

A.F. Verlan[1], S.A. Polozhaenko[2]

[1]Institute for Modeling Problems in Power Engineering, NAS
15, General Naumov Str., Kyiv, 02000, Ukraine; e-mail: a.f.verlan@gmail.com
[2]Odessa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: sanp277@gmail.com

When processing acoustic emission (AE) signals in the control system in order to study diagnostic signs of signals, statistically process measurement results, assess the degree of danger of various structural defects, recording and long-term storage of measurement results and obtained estimates of the total AE activity, distribution of activity growth over product zones should be provided, amplitude distribution, time integral and spectral characteristics of signals. In this case, a complete and high-quality information picture of the AE source should be provided by the primary converter of the AE signals, the correct functioning of which ultimately determines the reliability of the assessment of the physical phenomenon under study, formed by the registration system as a whole. In practical applications, the main diagnostic value is a number of temporal characteristics of AE pulses, of which, first of all, the most informative are: amplitude, pulse duration, and steepness of its leading edge. According to the results of primary measurements, the picture of the distribution of AE factors in the product is also informative, which makes it possible to draw conclusions about the possible mechanisms of dynamic processes, assess the level of stress relaxation and possible damage, predict the probability of cracking, as well as the deterioration of the strength properties of the product material from the presence of impurities and wear products. The complexity of the problem of choosing and developing methods, software and hardware for recording AE signals is determined by a wide variety of principles for organizing the corresponding measuring instruments and systems, insufficient knowledge of the AE phenomenon and, as a consequence, the lack of a generally recognized concept of AE control and diagnostics.

Keywords: acoustic emission (AE), primary transducer (sensor) of AE signals, mathematical model, parametric identification of the mathematical model.