

# МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

УДК 667.64:678.02

## МАРАСАНОВ Владимир Васильевич

д.т.н., профессор кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Научные интересы:** интеллектуальные системы принятия решений, методы обработки многомерных данных.

## ШАРКО Артем Александрович

студент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Научные интересы:** методы и модели обработки данных.

### ВВЕДЕНИЕ

Математические модели обработки данных в системе определения дефектов методом акустической эмиссии базируются на представлении сплошной среды и континуальной теории дислокаций, где сигнал акустической эмиссии характеризует целый ряд процессов развития дефектной структуры материалов [1-2]. Эти процессы связаны с движением дислокации, переходом от упругих к пластическим деформациям, расширением дислокационных петель и аннигиляцией отдельных участков структуры. Дислокации, порожденные различными источниками, увеличивают энергию локальных искажений кристаллической решетки [3-5]. Механизмы внутренней перестройки сопровождаются излучением упругих волн напряжений. Развивающиеся дефекты производят сигнал акустической эмиссии. Локация дефектов и их местоположение являются актуальной задачей неразрушающего контроля и технической диагностики металлопродукции.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИЛИ ПРОБЛЕМЫ

Анализ публикаций по проблеме обработки данных в системе определения дефектов методом акустической эмиссии обнаруживает постоянное внимание к изучению конфигураций расположения датчиков акустической эмиссии и соответствующего математического обеспечения локализации источников акустических

сигналов [1-9]. Расширение диапазона возможных конфигураций расположения датчиков на контролируемой поверхности и создание соответствующего методического обеспечения диагностики металлопродукции представляет не только научный, но и практический интерес.

**Цель работы.** Построение моделей обработки данных в системе определения координат дефектов методом акустической эмиссии.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Анализ сигналов акустической эмиссии лежит в основе модельного представления развития дефектов. Важным информативным параметром контроля служит степень локализации источника сигнала. Степень локализации дефекта определяется измерением координат источника акустической эмиссии. В основу метода определения координат положено измерение разности времен прихода импульсов акустической эмиссии к нескольким разнесенным в пространстве точечным акустическим датчикам, регистрирующим акты акустической эмиссии. Датчики в своем расположении могут образовывать сетку, опоясывающую всю конструкцию.

При определении координат дефектов по трехточечной схеме контроля поверхность покрывается сетью приемников и измеряется разница времен приема сигнала от соседних приемников. Тогда источник аку-

стическая эмиссии находится внутри треугольника и его координаты определяются однозначно. Однако при таком способе расположения приемников возникают сложности при контроле границ объектной структуры [7, 8].

Эти сложности исчезают при контроле поверхности контролируемого объекта с использованием четырехточечной схемы контроля.

Система линейных уравнений для контроля с помощью четырех приемников имеет вид:

$$xx_i + yy_i + Rr_i = \frac{x_i^2 + y_i^2 - r_i^2}{2}; \quad i = \overline{0,3} \quad (1)$$

где  $x, y$  – координаты источника акустической эмиссии;

$x_i, y_i$  – координаты приемников акустических сигналов.

$$R = \frac{(x_1^2 + y_1^2 - r_1^2)(x_2y_3 - x_3y_2) - (x_2^2 + y_2^2 - r_2^2)(x_1y_3 - x_3y_1) + (x_3^2 + y_3^2 - r_3^2)(x_1y_2 - x_2y_1)}{2[r_1(x_2y_3 - x_3y_2) - r_2(x_1y_3 - x_3y_1) + r_3(x_1y_2 - x_2y_1)]} \quad (3)$$

Заменив  $x$  на  $x + \delta x$ ,  $y$  на  $y + \delta y$ ,  $R$  на  $R + \delta R$  и  $r_i$  на  $r_i + \delta r_i$  и пренебрегая членами второго порядка малости, эту систему можно записать в виде:

$$x_i \delta x + y_i \delta y + r_i \delta R = -(R + r_i) \delta r_i; \quad i = \overline{1,3} \quad (4)$$

Откуда можно найти формулы для определения погрешности вычисления координат:

$$\delta R = \frac{\Delta \delta R}{\Delta} \quad (5)$$

$$\delta x = \frac{(y_1(r_2 \delta R + (R + r_2) \delta r_2) - y_2(r_1 \delta R + (R + r_1) \delta r_1))}{x_1 y_2 - x_2 y_1}; \quad (6)$$

$$\delta y = \frac{(-x_1(r_2 \delta R + (R + r_2) \delta r_2) + x_2(r_1 \delta R + (R + r_1) \delta r_1))}{x_1 y_2 - x_2 y_1}.$$

Рассмотренные формулы справедливы для любых конфигураций расположения датчиков на плоских поверхностях. Однако, на практике такие поверхности контроля встречаются крайне редко. Практический интерес представляет определение координат на сферических поверхностях.

Кратчайший путь по поверхности сферы между двумя любыми точками  $D_0, D_1$  сферической поверхности в декартовой системе координат можно записать в виде:

Расчеты значительно упрощаются, если определить сначала  $R = \frac{\Delta R}{\Delta}$ , а затем определить координаты  $x$  и  $y$  с учетом известного расстояния до точки контроля ( $R$ ).

Для отбраковки ложных событий при таком способе вычисления координат можно использовать соотношение:

$$x^2 + y^2 + R^2 \leq \varepsilon, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – максимальная ошибка определения координат.

Для четырех приемников, расположенных произвольно, но не на одной прямой, имеем следующую формулу для определения расстояния до дефекта  $R$

$$R_{01} = 2R \cdot \arcsin \frac{\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 + (z_0 - z_1)^2}}{2R}, \quad (7)$$

где  $x_0, y_0, z_0$  – координаты точки  $D_0$ ;

$x_1, y_1, z_1$  – координаты точки  $D_1$ ;

$R_{01}$  – расстояние по поверхности сферы между точками  $D_0$  и  $D_1$ ;

$R$  – радиус сферы;

Это выражение можно привести к виду:

$$R_{01} = R \cdot \arccos \left( \frac{x_0 x_1 + y_0 y_1 + z_0 z_1}{R^2} \right). \quad (8)$$

При определении координат дефектов на плоскости происходит измерение двух независимых разностей времени прихода сигналов акустической эмиссии. Для этого достаточно трех приемников. Расположение приемников на поверхности участка сферы для определения координат источника акустической эмиссии  $M(x, y, z)$  представлено на (рис. 1)

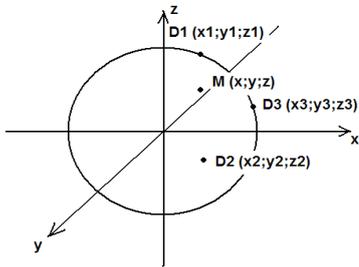


Рисунок 1 – Контроль участка поверхности сферы

Система уравнений для этого случая имеет вид

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \quad (9)$$

$$r_{21} = R \cdot \arccos\left(\frac{xx_2 + yy_2 + zz_2}{R^2}\right) - R \cdot \arccos\left(\frac{xx_1 + yy_1 + zz_1}{R^2}\right),$$

$$r_{31} = R \cdot \arccos\left(\frac{xx_3 + yy_3 + zz_3}{R^2}\right) - R \cdot \arccos\left(\frac{xx_1 + yy_1 + zz_1}{R^2}\right), \quad (10)$$

где  $r_{21} = v\Delta t_1$  – расстояние между вторым и первым приемником выраженное во временных координатах через разность времени прихода сигнала;

$r_{31} = v\Delta t_2$  – расстояние между третьим и первым приемником выраженное во временных координатах через разность времени прихода сигнала.

Для симметричного расположения четырех приемников на сегменте сферы схема контроля имеет вид (рис. 2).

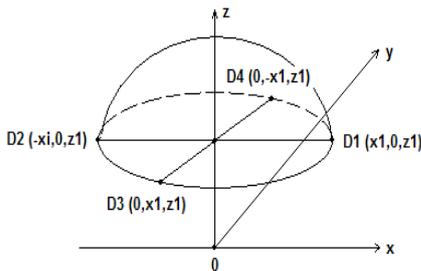


Рисунок 2 – Расположение четырех приемников на сегменте сферы

Система уравнений для этого случая имеет вид

$$\begin{cases} 2x^2x_1^2 + 2z^2z_1^2 + 2(2x^2x_1^2 - z^2z_1^2) \cos \frac{r_{12}}{R} + R^4 \cos^2 \frac{r_{12}}{R} = 0 \\ 2y^2x_1^2 + 2z^2z_1^2 + 2(2y^2x_1^2 - z^2z_1^2) \cos \frac{r_{32}}{R} + R^4 \cos^2 \frac{r_{32}}{R} = 0 \\ x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \end{cases} \quad (11)$$

Введем следующие обозначения:

$$A_1 = 2x_1^2 \left(1 + \cos \frac{r_{12}}{R}\right) \quad (12)$$

$$A_2 = 2x_1^2 \left(1 + \cos \frac{r_{34}}{R}\right)$$

$$B_1 = 2z_1^2 \left(1 + \cos \frac{r_{12}}{R}\right)$$

$$B_2 = 2z_1^2 \left(1 + \cos \frac{r_{34}}{R}\right)$$

$$C_1 = R^4 \cos^2 \frac{r_{12}}{R}$$

$$C_2 = R^4 \cos^2 \frac{r_{34}}{R}$$

Система трансформируется следующим образом

$$\begin{cases} x^2 A_1 + z^2 B_1 + C_1 = 0 \\ y^2 A_2 + z^2 B_2 + C_2 = 0 \\ z^2 = R^2 - x^2 - y^2 \end{cases} \quad (13)$$

Решением этой системы будут

$$x = \sqrt{\frac{(B_2 - A_2)(R^2 B_1 + C_1) + (R^2 B_2 + C_2) B_1 \operatorname{sign} r_{12}}{(A_1 - B_1)(A_2 - B_2) - B_1 B_2}}$$

$$y = \sqrt{\frac{(B_1 - A_1)(R^2 B_2 + C_2) + (R^2 B_1 + C_1) B_2 \operatorname{sign} r_{34}}{(A_1 - B_1)(A_2 - B_2) - B_1 B_2}} \quad (14)$$

$$z = \pm \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}$$

Методика, определения координат источников сигналов акустической эмиссии, на участках конструкции произвольной формы сводится к следующей последовательности действий:

- используя полученные выражения для расположения конфигураций датчиков, записывают систему уравнений, связывающих разности расстояний на поверхности между источниками акустической эмиссии и разнесенными на поверхности приемниками акустических сигналов;

- определяют уравнения кратчайшего пути от источника акустической эмиссии к приемникам на участке поверхности контролируемой конструкции;

- совместно решают систему уравнений кратчайшего пути от источника сигнала и расположения конфигураций датчиков;

- по счетчику разностей времени прихода фиксируются координаты источника дефектной структуры в соответствующем масштабе.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Модели обработки данных в системе определения дефектов методом акустической эмиссии имеют об-

щую основу, заключающуюся в измерении времени распространения сигналов от приемников акустической эмиссии, но различаются конфигурацией их расположения. Полученные формулы реализуют принципы построения математического обеспечения сложной динамической системы контроля методом акустической эмиссии. Представленные модели обработки дан-

ных в системе определения координат развивающихся дефектов методом акустической эмиссии в перспективе их использования могут служить основой диагностики и неразрушающего контроля технических объектов специального назначения (трубопроводов, металлических конструкций, сосудов высокого давления, ядерных реакторов, магистральных коммуникаций).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Jiang XU. Space-time evolution rules study on acoustic emission location in rock under cyclic loading/ Jiang XU, Xiaojun TANG, Shuchun LI, Yunqi TAO, Yongdong JIANG //Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China. – 2009. – N 3(4). – P. 422-427.
2. Nerazrushayushij kontrol': Spravochnik: v 7 t. Pod obshh. red. Klyueva V.V. T.7: v 2 kn. Kn.1: Ivanov V.I., Vlasov I.Eh. Metod akusticheskoj ehmissii. – M.: Mashinostroenie, 2005. – 829 s.
3. Ser'eznov A.N. Diagnostika ob"ektov transporta metodom akusticheskoj ehmissii /A.N. Ser'eznov, L.N. Stepanova, V.V. Murav'ev. – M.: Mashinostroenie. 2004. – 392 s.
4. Bunina N.A. Issledovanie plasticheskoj deformacii metallov metodom akusticheskoj ehmissii /N.A. Bunina. – L.: Izd-vo LGU, 1990. – 176 s.
5. Buketov A.V. Vliyanie izmeneniya dislokacionnoj struktury na akusticheskie karakteristiki materialov /A.V. Buketov, V.D. Nigalatij, S.A. Rozhkov, A.V. Sharko //Naukovi notatki. -Luc'k: LNTU. – Vipusk 48. – 2015. – S.220-224.
6. Abramov O. V. Izluchenie nelinejnyx akusticheskix signalov oblast'yu skopleniya mikrotreshhin, obrazuyushhix plastinchatuyu defektnuyu strukturu /O.V. Abramov, O.M. Gradov. //Materialovedenie. – 2004. – #4. – S.2-6.
7. Poleskaya L.M. Ob opredelenii koordinat defektov v konstrukcijax s proizvol'noj poverxnost'yu /L.M. Poleskaya, V.V. Grichuk, A.A. Balabanov, V.V. Marasanov //Defektoskopiya. – 1978. – #7. – S.50-56.
8. Berezin A. V. Akusticheskaya ehmissiya i destrukcija plasticheski deformirovannogo metalla / A.V. Berezin, L.M. Kozinkina, L.M. Rybakova //Defektoskopiya. – 2004. – #3. – S.9-14.
9. N.A. Semashko, V.I. Murav'ev, A.V. Frolov. Akusticheskaya ehmissiya v issledovatel'skoj praktike plasticheskoj deformacii i razrusheniya materialov. //Materialovedenie. – 2004. – #7. – S.36-40.

**Рецензент:** *д.т.н., доц. Рудакова А.В.,  
Херсонский национальный технический университет.*