

УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 681.620.19

Шпонько А.А., Шумова Л.В.

МЕТОД РАСЧЕТА КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОБЪЕМЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБЪЕКТА

Катастрофические разрушения промышленных объектов, как правило, связаны с развитием трещин. По современным представлениям, любой технический промышленный объект содержит трещины того или иного размера. Микроскопические и мезоскопические трещины не представляют непосредственной опасности. Но трещины, которые могут быть обнаружены и идентифицированы техническими средствами неразрушающего контроля, недопустимы. Одним из методов обнаружения трещин в промышленных объектах (котлонадзора, системах газоснабжения, подъемных сооружениях и т.д.) является акустико-эмиссионный метод неразрушающего контроля*, основанный на регистрации акустических сигналов, возникающих при развитии различных дефектов. В этом методе координаты трещин в объектах контроля определяют по разнице во времени прихода сигналов от одного источника на разнесенные в пространстве датчики, которые располагаются в виде антенной группы.

Для определения координат источников акустической эмиссии (АЭ) при контроле протяженных объектов (трубопроводов пара и горячей воды, газопроводов и т.д.) используются два датчика. Если необходимо рассчитать координаты источников АЭ на плоскости, необходимо, как минимум, три датчика, причем, чем больше датчиков используется, тем меньше методическая ошибка расчета. Для того чтобы определить местоположение дефектов в объеме контролируемого объекта, требуется четыре и более датчиков.

Рассмотрим, как можно рассчитать координаты источников АЭ в объеме контролируемого объекта, используя 4 и 5 датчиков. При использовании четырех датчиков расположим их по схеме антенной группы в виде квадрата, как на **рис. 1**.

* Неразрушающий контроль: Справочник/ Подред. В.В. Клюева. Т. 7. Кн. 1. Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 2005.

В точках A_1, A_2, A_3, A_4 расположены датчики, где $A_1A_2A_3A_4$ – квадрат со стороной $2L$. Импульс АЭ возникает в точке C .

Введем обозначения:

S_1, S_2, S_3, S_4 – расстояния от источника до вершин квадрата.

Введем декартову систему координат, начало координат которой совпадает с центром квадрата и оси параллельны сторонам квадрата так, чтобы точка A_1 , куда вернулся импульс первым, имела отрицательные координаты.

После ввода системы координат следующие точки имеют координаты:

$$A_1(-L; -L; 0), A_2(L; -L; 0), \\ A_3(L; L; 0), A_4(-L; L; 0).$$

Если обозначить через (x, y, z) координаты точки C , то расстояния от точки C до вершин квадрата:

$$S_1 = \sqrt{(x+L)^2 + (y+L)^2 + z^2};$$

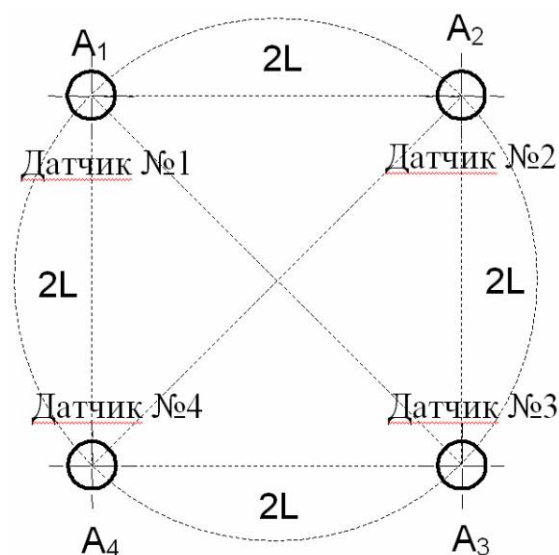


Рис. 1. Схема антенной группы в виде квадрата

$$\begin{aligned} S_2 &= \sqrt{(x-L)^2 + (y+L)^2 + z^2}; \\ S_3 &= \sqrt{(x-L)^2 + (y-L)^2 + z^2}; \\ S_4 &= \sqrt{(x+L)^2 + (y-L)^2 + z^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Обозначим через V скорость распространения импульса. Тогда имеем:

$$\begin{aligned} \frac{S_1}{V} &= t_1; \quad \frac{S_2}{V} = t_1 + \delta_{21}; \\ \frac{S_3}{V} &= t_1 + \delta_{31}; \quad \frac{S_4}{V} = t_1 + \delta_{41}, \end{aligned} \quad (2)$$

где δ_{k1} – разность между временем прихода импульса в точку A_k ($k=2, 3, 4$) и временем прихода импульса в точку A_1 .

После подстановки (1) в (2), возведения равенств (2) в квадрат и вычитания из первого равенства второго находим

$$t_1 = \frac{-4xL - V^2\delta_{21}^2}{2V^2\delta_{21}}. \quad (3)$$

Аналогично, вычитая в (2) из первого равенства третье и используя (3), получим

$$y = \frac{8xL(\delta_{31} - \delta_{21}) + 2V^2\delta_{21}\delta_{31}(\delta_{21} - \delta_{31})}{8L\delta_{21}}. \quad (4)$$

Вычитая в (2) из первого равенства четвертое и используя (3), получим

$$y = \frac{8xL\delta_{41} + 2V^2\delta_{21}\delta_{41}(\delta_{21} - \delta_{41})}{8L\delta_{21}}. \quad (5)$$

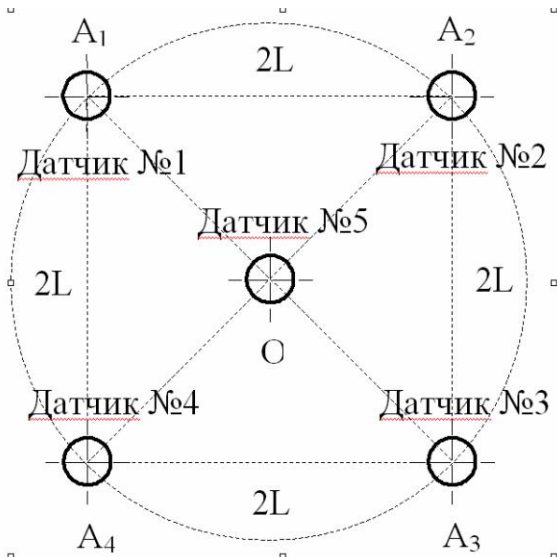


Рис. 2. Схема антенной группы в виде централизованного квадрата

Приравняв правые части (4) и (5), выразим x :

$$x = \frac{V^2\delta_{21}(\delta_{41}\delta_{21} - \delta_{41}^2 - \delta_{31}\delta_{21} + \delta_{31}^2)}{4L(\delta_{31} - \delta_{21} - \delta_{41})}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5), получим

$$y = \frac{V^2\delta_{41}(\delta_{31}^2 - \delta_{21}^2 + \delta_{21}\delta_{41} - \delta_{41}\delta_{31})}{4L(\delta_{31} - \delta_{21} - \delta_{41})}. \quad (7)$$

Подставив (6) в (3), получим выражение для t_1

$$t_1 = \frac{\delta_{41}^2 - \delta_{31}^2 + \delta_{21}^2}{2(\delta_{31} - \delta_{21} - \delta_{41})}. \quad (8)$$

Из первого равенства (2) выразим z^2

$$\begin{aligned} (x+L)^2 + (y+L)^2 + z^2 &= V^2t_1^2 \text{ или} \\ z^2 &= V^2t_1^2 - (x+L)^2 - (y+L)^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, по формулам (6), (7) и (9) с учетом (8) можно вычислить координаты точки C – источника АЭ.

Использование 5-ти датчиков позволит определить координаты источника АЭ в объеме контролируемого объекта без предварительного определения скорости распространения акустических колебаний в нем. Пять датчиков расположим по схеме антенной группы в виде централизованного квадрата, как на рис. 2.

Пятый датчик поместим в точку O – центр квадрата. Обозначим через R расстояние от центра квадрата до точки C .

Тогда

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \text{ и } \frac{R}{V} = t_1 + \delta_{R1}, \quad (10)$$

$$\text{т.е. } x^2 + y^2 + z^2 = V^2(t_1 + \delta_{R1})^2.$$

Подставим z^2 из (9) в (10)

$$-2xL - 2yL - 2L^2 = V^2(2t_1\delta_{R1} + \delta_{R1}^2). \quad (11)$$

Подставив выражения для x, y, t_1 в (11), получим уравнение для скорости V , из которого можно выразить V^2 :

$$V^2 = \frac{-4L^2(\delta_{31} - \delta_{21} - \delta_{41})}{a + b + c}, \quad (12)$$

$$\text{где } a = \delta_{21}(\delta_{41}\delta_{21} - \delta_{41}^2 - \delta_{31}\delta_{21} + \delta_{31}^2),$$

$$b = \delta_{41}(\delta_{31}^2 - \delta_{21}^2 + \delta_{21}\delta_{41} - \delta_{41}\delta_{31}),$$

$$c = 2\delta_{R1}(\delta_{41}^2 - \delta_{31}^2 + \delta_{21}^2) + 2\delta_{R1}^2(\delta_{31} - \delta_{21} - \delta_{41}).$$

Координаты источника АЭ в объеме контролируемого объекта без предварительного определения скорости распространения акустических колебаний вычисляются по формулам (6), (7), (9) с учетом (8), (12).

Описанный метод можно применять для расчета координат трещин в бетонных конструкциях, футеровках металлургических агрегатов, используя в качестве датчиков низкочастотные широкополосные преобразователи акустических сигналов.