

# ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ И ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЛОКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

С. А. НЕДОСЕКА, М. А. ОВСИЕНКО, Л. Ф. ХАРЧЕНКО, М. А. ЯРЕМЕНКО

ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены вопросы совершенствования методологии АЭ контроля путем решения проблемы быстрой и оперативной оценки возможных погрешностей при локации источников АЭ на объектах сложной геометрии. Оценка выполняется при помощи автоматизированного программного виртуального тестирования для заранее задаваемых конфигураций локационных антенн. Несомненным преимуществом предложенного решения является выполнение оценки до начала расстановки датчиков на объекте, что позволяет подбирать оптимальные схемы их размещения и наиболее подходящий алгоритм расчета координат источников АЭ. Выполненная работа полезна для автоматизации АЭ контроля, углубленного анализа АЭ данных, разработки новых алгоритмов и программ локации источников АЭ и является очередным этапом разработки интеллектуальных систем контроля. Библиогр. 7, рис. 10.

*Ключевые слова:* АЭ контроль, виртуальное тестирование, точность локации, скорости звуковых волн в материале

Постоянно растущее применение метода акустической эмиссии (АЭ) на разнообразных промышленных объектах, расширение их ассортимента требует постоянного совершенствования аналитических и экспериментальных методов определения параметров, характеризующих состояние контролируемой конструкции [1–3]. Одним из таких параметров являются координаты источников АЭ сигналов. От точности определения координат существенно зависит надежность прогнозирования разрушающей нагрузки материала конструкции и оценки ее остаточного ресурса. Это диктует новые задачи при разработке методологии АЭ контроля и соответствующего программного обеспечения [1–3], которые связаны с обеспечением точности локации координат источников АЭ и оперативной настройкой АЭ систем.

Переход к контролю объектов со сложной геометрией, особенно при произвольной расстановке датчиков АЭ, требует быстрой и оперативной оценки возможных погрешностей при локации источников АЭ. Ранее такую оценку проводили непосредственно на объекте экспериментальным путем после расстановки датчиков с использованием импульсного прозвучивания от специального генератора или методом Су–Нильсена, основанном на сломе графитового стержня.

Указанные способы оценки имеют ряд недостатков. Прежде всего надежная проверка точности локации требует длительного времени, которого при проведении контроля в условиях реального производства может просто не хватить [4]. В конструкциях и конструктивных элементах конечных размеров происходят изменения

спектральных, амплитудных и частотных характеристик волн АЭ, их взаимодействие и переотражение. Это сказывается на локальных скоростях волн на конкретных участках материала, регистрируемых временах прихода сигнала на датчики и определении координат источника. Если после расстановки датчиков выяснилось, что выбранная конфигурация их расположения не обеспечивает необходимой точности локации, потребуются переустановка датчиков и повторная проверка возникающих погрешностей. При отсутствии доступа к поверхности объекта контроля экспериментальная проверка точности локации становится невозможной.

В данной работе представлен один из способов решения описанной выше проблемы при помощи автоматизированного программного виртуального тестирования погрешностей локации для заранее задаваемых конфигураций локационных антенн. Несомненным преимуществом такого способа проверки является то, что ее можно выполнить очень быстро, причем до начала физической расстановки датчиков на объекте. Таким образом, подбираются оптимальная схема размещения датчиков и наиболее подходящий алгоритм расчета координат источников АЭ.

Программа для тестирования работы алгоритмов локации была создана вначале как полностью автономное приложение для компьютера, но такой подход оказался неэффективным. Пользователь вынужден был переключаться между программами для АЭ испытаний и для тестирования локации, конфигурировать локационные антенны в каждой из программ отдельно. В связи с этим модуль для тестирования

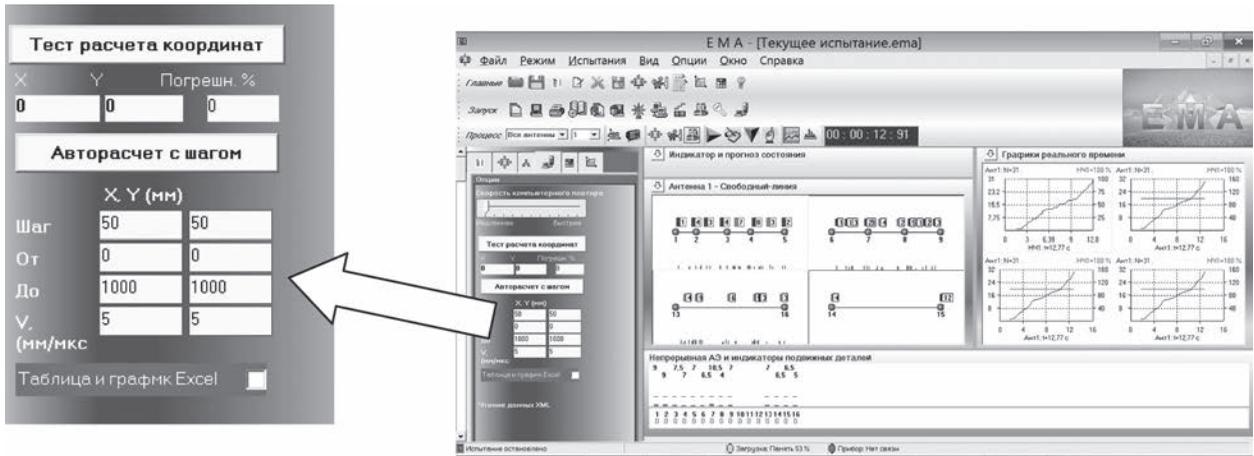


Рис. 1. Окно испытаний программы EMA-3.9 с элементами управления виртуальным тестированием погрешностей определения координат

локации был интегрирован в окно испытаний программы EMA версии 3.9. Панель управления виртуальным тестированием локации размещена вертикально в левой части окна испытаний (рис. 1) и содержит поля ввода для настройки тестирования, поля для оперативного вывода погрешностей локации, кнопки для запуска ручного и автоматического режимов тестирования и флажок, включающий вывод результатов тестирования в виде таблиц и графиков Microsoft Excel.

Метод тестирования достаточно прост. Вначале задают координаты датчиков, координаты виртуального источника АЭ и скорости распространения звуковых волн в материале – реальные и закладываемые в расчет координат. Затем на основании этих данных рассчитывается время прихода звуковой волны на каждый из датчиков локационной антенны. При возникновении события АЭ, ко-

торое вызовет  $N$  срабатываний различных датчиков, каждое из них будет характеризоваться своим временем начала  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . При реальных измерениях эти времена неизвестны, известны только разности времен срабатывания различных датчиков антенны  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ , на основании чего и построены все существующие алгоритмы определения координат.

Таким образом, расчетные времена распространения сигнала АЭ от виртуального источника до датчиков необходимо преобразовать в разности времен прихода, или, иными словами, задержки. Если считать, что ближе всего к источнику находится и первым сработает датчик №1, то  $\Delta t_1 = 0$ , а задержки  $\Delta t_n$  на остальных датчиках получают простым вычитанием  $\Delta t_n = t_n - t_1$ .

Далее полученные значения задержек подставляют в формулу расчета координат, после чего

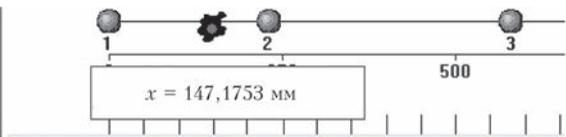
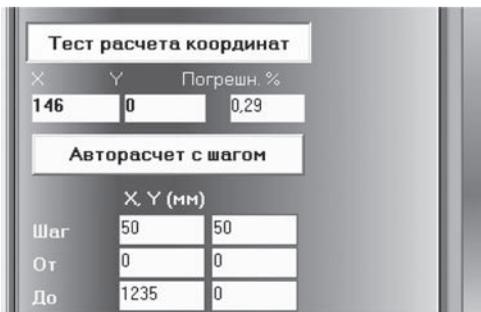
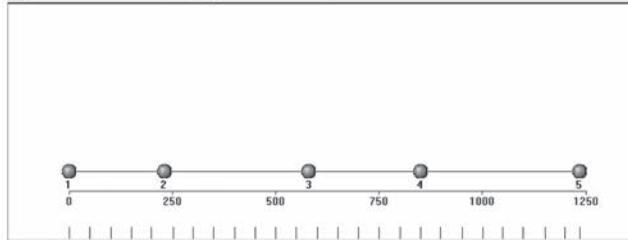


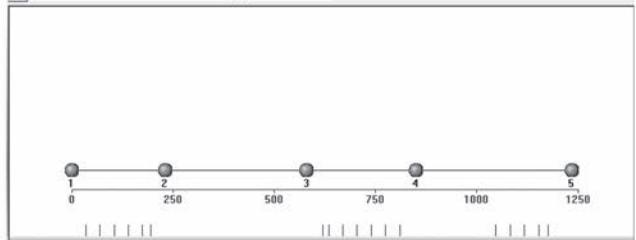
Рис. 2. Фрагмент окна испытаний программы EMA-3.9 с результатами ручного виртуального тестирования погрешности определения координат при линейной локации по формуле (1)

Антенна 1 – свободная линия



а

Антенна 1 – свободная линия



б

Рис. 3. Экран программы EMA-3.9 с результатами автоматического виртуального тестирования погрешности определения координат при линейной локации с шагом смещения источника 50 мм: а – скорости волн АЭ от источника и при расчете координат совпадают и равны 3,5 мм/мкс; б – скорость волн АЭ от источника 5 мм/мкс, при расчете координат 3,5 мм/мкс

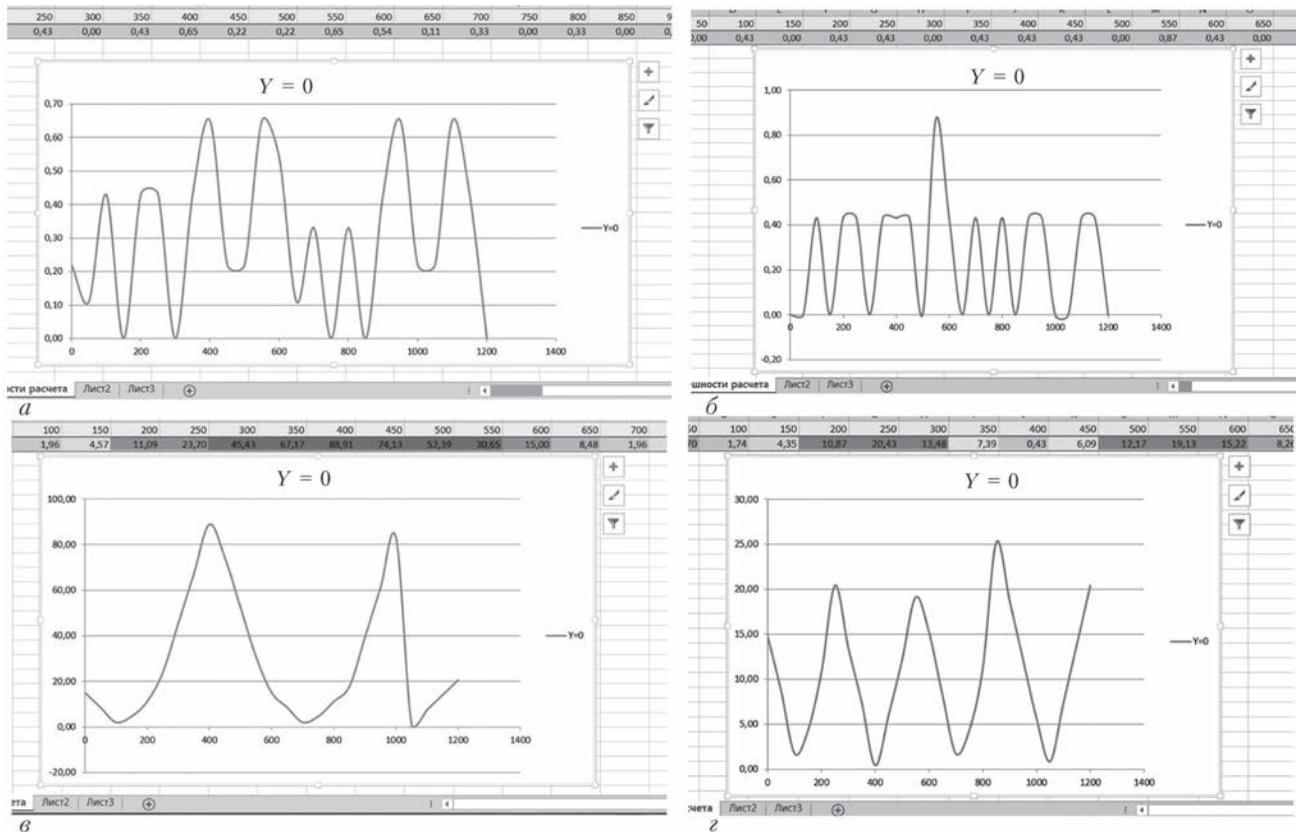


Рис. 4. Элементы рабочих листов Microsoft Excel с таблицами и графиками погрешности определения координат при линейной локации с шагом смещения источника 50 мм: а – скорости волн АЭ от источника и при расчете координат совпадают и равны 3,5 мм/мкс; б – скорость волн АЭ от источника 5 мм/мкс, при расчете координат 3,5 мм/мкс. Локация по формуле (1) (а, б); локация с использованием матрицы задержек из 1000 элементов (в, г)

расчетные координаты сравнивают с заданными и оценивают относительную погрешность [5], которая может меняться в пределах от 0 до 100 %. Для локационных антенн линейного типа это погрешность определения координаты  $X$ . Для плоскостных, цилиндрических и сферических антенн программа отображает большую из погрешностей при определении координат  $X$  и  $Y$ .

Рассмотрим вначале ручной режим тестирования. При его активации нажатием кнопки «Тест расчета координат» в области отображения локационной антенны появляется схематический виртуальный источник АЭ, который можно двигать мышью по экрану. Всплывающее сообщение показывает его текущие координаты по отношению к датчикам локационной антенны. Слева в полях вывода показываются расчетные координаты и

погрешность их определения. Пример, приведенный на рис. 2, демонстрирует результат определения координат при линейной локации. Для расчета координат в данном случае использовали так называемую простую формулу:

$$X = B/2 \pm C \Delta t/2, Y = B/2 \pm C \Delta t/2, \quad (1)$$

где  $C$  – скорость распространения звуковой волны в материале;  $\Delta t_{ij}$  – разность времен прихода волны на ближайшие к источнику пары датчиков, расстояние между которыми равно  $B$ .

Приведенный на рис. 2 источник АЭ имеет координату  $X = 147$  мм, а расчетная координата  $X$  составляет 146 мм. Погрешность в данном случае равна 0,29 %, что свидетельствует о достаточно высокой точности локации.

Ручной вариант тестирования удобен во многих случаях, но полную картину дает автомати-

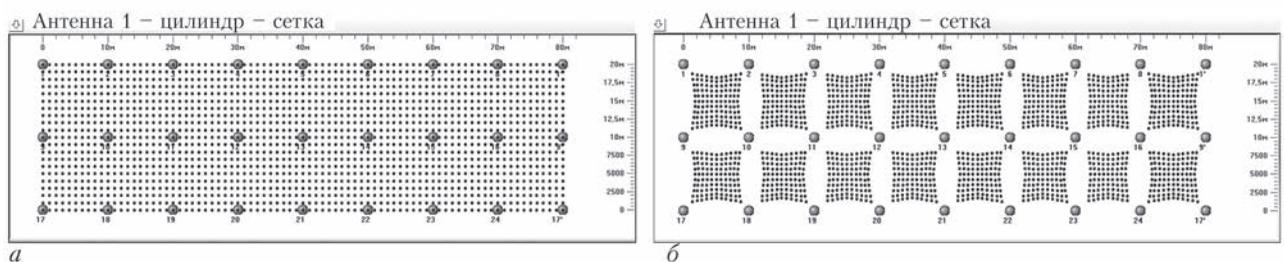


Рис. 5. Экран программы EMA-3.9 с результатами автоматического виртуального тестирования погрешности определения координат при локации на цилиндре с шагом смещения источника 100 мм: а – скорости волн АЭ от источника и при расчете координат совпадают и равны 3,5 мм/мкс; б – скорость волн АЭ от источника 5 мм/мкс, при расчете координат 3,5 мм/мкс



Рис. 6. Элементы рабочих листов Microsoft Excel с таблицами и графиками погрешности определения координат при локации на цилиндре с шагом смещения источника 100 мм: а – скорости волн АЭ от источника и при расчете координат совпадают и равны 3,5 мм/мкс; б – скорость волн АЭ от источника 5 мм/мкс, при расчете координат 3,5 мм/мкс. Локация по формуле окружностей [6]

ческий расчет, в котором можно задать диапазон координат, для которого выполняется проверка, и шаг перемещения источника. Вывод данных в виде таблиц и графиков Microsoft Excel позволяет наглядно увидеть распределение погрешностей локации по контролируемому участку. Таблицы содержат погрешности, расположенные по рядам с одной и той же координатой  $Y$ . Столбцы соответствуют одной и той же координате  $X$ . Количество строк и столбцов определяется заданным шагом по  $Y$  и  $X$ . Таким образом, при линейной локации все данные расположены в одном ряду таблицы, при двумерной – в нескольких. Графики содержат множественный набор линий, построенных для каждого ряда с общей координатой  $Y$ .

Для наглядности ячейки таблицы окрашиваются в зависимости от значения погрешности в цвета от зеленого до красного. Оттенки зеленого соответствуют погрешностям до 5 %, желтого – до 7,5 %, оранжевого – до 10 %. Ячейки, содержащие погрешности свыше 25 %, окрашиваются в ярко-красный цвет.

Отметим, что существенное значение для получения малых погрешностей имеет правильное задание скорости звуковых волн в материале [2, 3]. Ниже будет показано, что несоответствие реальной скорости звука той, которая задается при расчете координат, приводит к увеличению погрешностей определения координат в несколько раз и более.

На рис. 3 показаны результаты тестирования локации при линейном расположении датчиков АЭ с шагом смещения источника 50 мм для двух случаев. В первом случае скорость звука, заданная для виртуального эксперимента и для расчета координат, является одной и той же и составляет 3,5 мм/мкс. Во втором случае скорость звука для виртуального источника изменена до 5 мм/мкс. Несоответствие скоростей приводит к смещению расчетных координат, при-

чем весьма существенному. На экранах локации программы ЕМА-3.9 координаты источников АЭ показаны вертикальными черточками под схемой расположения датчиков. Как видим, на рис. 3, б их расположение совершенно не соответствует заданному шагу в 50 мм, в отличие от рис. 3, а, где представлены данные при совпадении заложеной в расчет координат и реальной скоростей.

Полученные данные наглядно демонстрируются таблицами и графиками Microsoft Excel. На рис. 4 приведены снимки рабочих листов с результатами расчета погрешностей для первого и второго случаев. Рис. 4, а, б соответствует расчету координат по формуле (1), рис. 4, в, г – расчету с применением так называемой матричной локации, при которой координату источника определяют по заранее теоретически рассчитанным временным

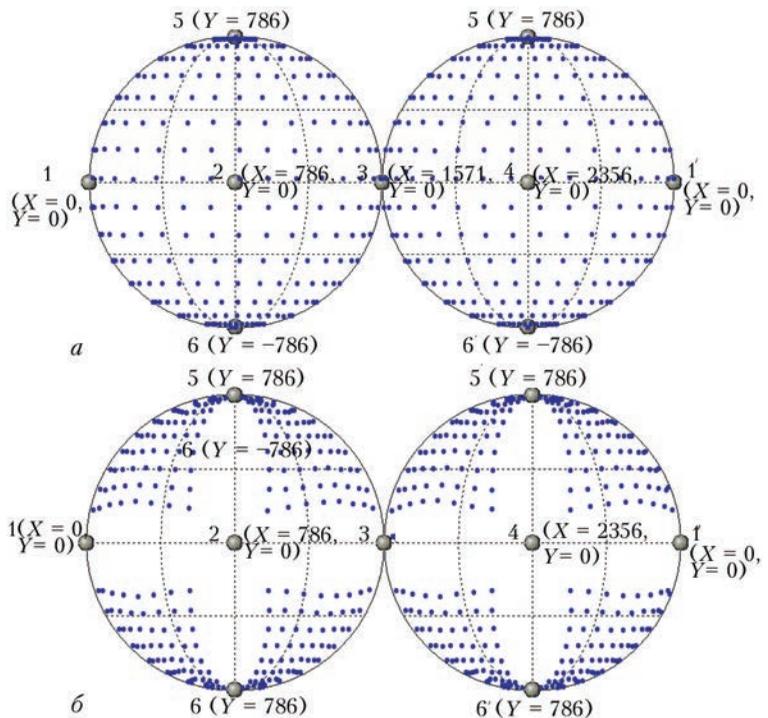


Рис. 7. Экран программы ЕМА-3.9 с результатами автоматического виртуального тестирования погрешности определения координат при локации на сфере с шагом смещения источника 100 мм вдоль экватора и по меридиану: а – скорости волн АЭ от источника и при расчете координат совпадают и равны 3,5 мм/мкс; б – скорость волн АЭ от источника 5 мм/мкс, при расчете координат 3,5 мм/мкс

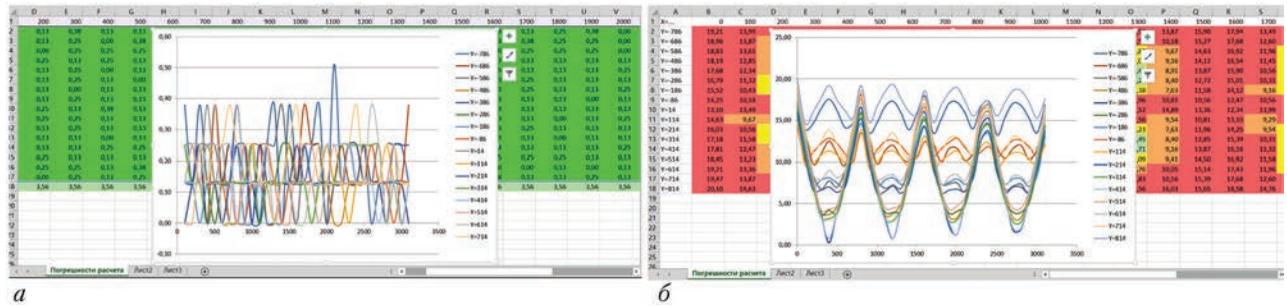


Рис. 8. Элементы рабочих листов Microsoft Excel с таблицами и графиками погрешности определения координат при локации на сфере с шагом смещения источника 100 мм вдоль экватора и по меридиану: а – скорости волн АЭ от источника и при расчете координат совпадают и равны 3,5 мм/мкс; б – скорость волн АЭ от источника 5 мм/мкс, при расчете координат 3,5 мм/мкс. Локация по формуле окружностей [6]

задержкам, из которых составлена матрица. Правильными считаются тот набор задержек и соответствующая ему координата источника, которые дают наименьшую невязку с данными, полученными при измерениях. Точность матричной локации одинакова для всей поверхности объекта и зависит от расстояния от источника до узла матрицы и шага, с которым задана матрица, а безразмерное действие обратно пропорционально количеству элементов матрицы.

Результаты работы обоих алгоритмов в данном случае вполне сопоставимы. При совпадении задаваемых и расчетных скоростей погрешность в обоих случаях не превышает 1 %, что является очень хорошим показателем. Матричный алгоритм показывает в целом меньшие погрешности, но есть отдельный выброс с большим значением.

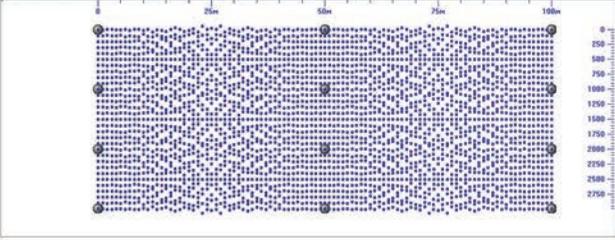
В случае же, когда скорость волн АЭ от источника равна 5 мм/мкс, а при расчете координат ее принимают равной 3,5 мм/мкс, погрешности увеличиваются во много раз. Интересно, что при этом матричная локация показывает намного луч-

шие результаты. Максимальная погрешность составляет 25 %, в то время как при расчете по формуле (1) она приближается к 90 %.

Полученные результаты типичны для локационных антенн линейного типа с произвольным размещением датчиков и для кольцевых антенн, отличающихся при расчете координат лишь необходимостью учета наличия замкнутого участка.

Прежде чем перейти к рассмотрению работы алгоритма тестирования применительно к двумерным поверхностям [5], отметим, что после его реализации в программе ЕМА-3.9 все используемые способы определения координат были проверены на предмет выявления случайных ошибок, которые трудно зафиксировать при реальных измерениях, когда в целом картина локации является адекватной, но возникают отдельные выбросы. Проведенное тестирование показало, что использованные ранее алгоритмы расчета координат в некоторых особых точках работали ошибочно, после чего они были скорректированы, что ранее было невозможно.

а) Антенна 1 – цилиндр горизонтальный – сетка



б) Антенна 1 – цилиндр горизонтальный – сетка

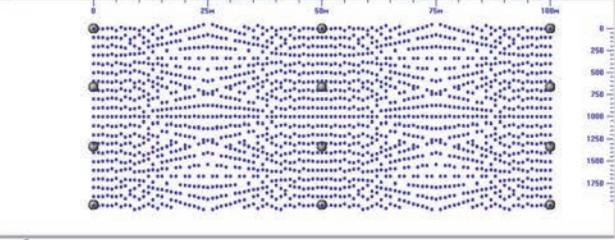


Рис. 9. Экран программы ЕМА-3.9 с результатами автоматического виртуального тестирования погрешности определения координат при локации на трубе длиной 100 м: а – диаметр трубы 1 м; б – диаметр трубы 0,666 м. Матричная локация



Рис. 10. Элементы рабочих листов Microsoft Excel с таблицами и графиками погрешности определения координат при локации на трубе длиной 100 м: а – диаметр трубы 1 м; б – диаметр трубы 0,666 м. Матричная локация



После коррекции все алгоритмы локации были проверены на точность. В результате проверки из программы были исключены алгоритмы расчета координат на двумерных поверхностях, основанные на модификациях формулы (1), как дававшие, в отличие от линейной локации, слишком большие погрешности. В качестве более точного расчетного алгоритма применили «метод пересекающихся окружностей» (далее «метод окружностей», «формула окружностей»), описанный, в частности, в работе [6]. В данном алгоритме на основании имеющихся данных по временным задержкам прихода сигнала на разнесенные датчики строится набор пересекающихся окружностей, координаты источника определяют из системы общих уравнений.

Таким образом, была выполнена унификация используемых алгоритмов определения координат. Для линейных и кольцевых типов антенн используются матричная локация или же основанная на формуле (1). Для плоскостных, цилиндрических и сферических антенн используются матричная локация или же метод окружностей. При правильном задании скоростей волн АЭ в материале их точность сопоставима и достаточно высока.

Рассмотрим для примера тестирование локации на двумерных объектах – цилиндре и сфере – с теми же начальными данными, что и при линейной локации, когда скорость волн АЭ от источника равна 3,5 мм/мкс, затем 5 мм/мкс, а при расчете координат 3,5 мм/мкс.

На рис. 5 показаны результаты тестирования для развертки цилиндра большого (80 м) диаметра и незначительной (2 м) высоты.

На цилиндре размещено 24 датчика АЭ с равномерным шагом в три ряда. Виртуальный источник смещали с шагом 100 мм. Использовали более быстрый, но менее точный расчет координат по формуле окружностей.

Как видим, в случае совпадения скоростей расчетные координаты перемещающегося источника определяются с очень высокой точностью, давая практически идеальную картину на экране. В случае несовпадения скоростей расчетные координаты равномерно смещаются к центру соответствующего квадранта. Полученные данные проанализированы с использованием таблиц и графиков Microsoft Excel. На рис. 6 приведены снимки рабочих листов с результатами расчета погрешностей для первого и второго случаев.

Согласно полученным результатам, при совпадении скоростей погрешность не превышает 0,03 %, при разных скоростях 18 %. Это значительно лучший результат, чем при линейной локации, а объяснен он может быть тем, что при двумерной локации в расчете координат учитыва-

ют временные задержки на 3 или 4 сработавших первыми датчиков, в отличие от 2 или 3 при линейной, что повышает точность. Отметим, однако, что при реальных АЭ испытаниях временные задержки далеко не всегда соответствуют теоретическим за счет сложных волновых процессов в материалах, в связи с чем конечная точность линейной и двумерной локации становится сопоставимой и реальные погрешности превышают теоретические.

Локация на плоскости в данной работе не рассматривается, поскольку является упрощенным вариантом локации на цилиндре, в котором не требуется учет замыкания поверхности, и выполняется с использованием тех же расчетных формул.

Рассмотрим далее тестирование локации на сфере.

На рис. 7 показаны результаты тестирования для развертки сферы диаметром 10 м. На сфере равномерно размещены 6 датчиков АЭ – 2 на полюсах и 4 на экваторе. Система координат выбрана меридиональная, датчики на экваторе имеют координату  $Y = 0$ . Координата  $Y$  источника АЭ соответствует широте и отсчитывается как расстояние в миллиметрах вверх и вниз от экватора с соответствующим знаком, координата  $X$  – долготе, и отсчитывается как расстояние в миллиметрах соответствующего меридиана от датчика № 1, отмеряемое по экватору против часовой стрелки. Виртуальный источник смещали с шагом 100 мм. Использовали точный расчет координат по формуле окружностей.

В данном эксперименте при совпадении скоростей расчетные координаты перемещающегося источника определяются с весьма неплохой точностью, что иллюстрирует рис. 7, а. В случае несовпадения скоростей расчетные координаты, как и при локации на плоскости, равномерно смещаются к центру соответствующего квадранта. Геометрически правильное размещение на рис. 7, б координат источников, определенных при неверном задании скорости звуковой волны, свидетельствует о том, что имеет место систематическая ошибка, при исправлении которой путем задания верного значения скорости координаты определяются правильно. Полученные данные проанализированы аналогичным предшествующему образом с использованием таблиц и графиков Microsoft Excel (рис. 8).

Точность локации на сфере несколько ниже, чем при локации на цилиндре. При совпадении скоростей погрешность не превышает 0,5 %, при разных скоростях 20 %. Это, тем не менее, как и в случае для цилиндра, значительно лучший результат, чем при линейной локации, по тем же причинам.

Таким образом, разработанная программа позволяет оценить погрешности различных алгорит-



мов расчета координат при линейной и двумерной локации. Рассмотрим ее применение в интересном прикладном аспекте. Значительное количество объектов АЭ контроля представляют собой протяженные конструкции или конструктивные элементы цилиндрической формы. К таким объектам относятся, в частности, балки, трубы, арматура, некоторые фермовые конструкции. Обычно для контроля таких объектов используют линейную локацию, находя только опасное сечение. Во многих случаях этого достаточно, но если требуется знать и вторую координату источника АЭ, его расположение по окружности сечения, то необходимо оценить точность определения обеих координат. Проблема состоит в том, что с изменением соотношения координат  $X$  и  $Y$  точность локации падает тем больше, чем больше оно отличается от 1.

Ниже показано, как при помощи виртуального тестирования доказать допустимость применения двумерной локации на трубе с расчетом координат по формуле для цилиндра. В качестве примера для расчета взяты два участка трубы длиной 100 м с диаметром 1 м и меньшим на треть – 0,666 м. Использовали для локации цилиндрические антенны горизонтального размещения из 9 датчиков, расположенных сеткой размером ячейки  $50 \times 1$  м и  $50 \times 0,666$  м соответственно. Два участка по длине трубы были сформированы, чтобы показать наличие для них одинаковой и симметричной картины размещения расчетных координат источника АЭ, что подтверждает, как уже говорилось выше, работоспособность алгоритма локации и систематичность ошибки. Проведено тестирование с шагом источника 1 м по оси  $X$ , т.е. вдоль образующей, и 100 мм по оси  $Y$ . Результаты тестирования приведены на рис. 9.

Как видим, уже при соотношении сторон ячейки локационной антенны 50 / 1 (рис. 9, а) возникают заметные визуальные отклонения расчетных координат источника АЭ от заданных. Для трубы с диаметром 0,666 м (рис. 9, б) эти отклонения значительно больше при той же тенденции – ближе к центру ячейки точность локации падает.

Оценим, насколько критичными являются погрешности в первом и втором случае. Допустимые погрешности при локации могут определяться разработчиком АЭ системы или же нормативными документами по ее применению в конкретных условиях. В любом случае погрешность свыше 10 % представляется нежелательной. Для трубы диаметром 1 м погрешность по координате  $Y$  величиной 10 % будет составлять около 30 см, что уже в принципе критично при точном поиске источника АЭ по сечению трубы. В то же время при проведении АЭ контроля могут быть иные соображения, определяющие требования к точности локации, зависящие от конкретных ус-

ловий и целей контроля. В данном случае погрешность определения координат более 10 % будем считать недопустимой.

На рис. 10 приведены снимки рабочих листов Microsoft Excel с результатами расчета погрешностей для первого и второго случаев. Для трубы диаметром 1 м (рис. 10, а) максимальная погрешность составляет 6,5 %, для трубы диаметром 0,666 м (рис. 10, б) 15 %. Таким образом, для используемой конфигурации локационной антенны соотношение длины участка трубы к ее диаметру более чем 50/1 приводит к нежелательным погрешностям при определении координат выбранным методом.

Аналогичным образом любой используемый тип локационной антенны, как и любой выбранный алгоритм расчета координат, могут быть эффективно протестированы до начала реального испытания.

В работе [2] авторы показали, что применительно к каждому конкретному объекту контроля должен быть применен индивидуальный подход, а решение об использовании того или иного алгоритма локации следует основывать на предварительном АЭ обследовании объекта, проводимом до начала его испытаний. Разработанная система тестирования позволяет реализовать указанный индивидуальный подход в вопросе расстановки датчиков АЭ, выбора метода расчета координат источников и обеспечения работы в пределах допустимой погрешности.

Выполненная работа представляется весьма полезной для автоматизации АЭ контроля, углубленного анализа АЭ данных, разработки и проверки новых алгоритмов и программ для обработки поступающей с объектов контроля информации, и является очередным этапом разработки интеллектуальных систем контроля [7].

### Выводы

Разработанная система тестирования точности локации источников АЭ позволяет существенно упростить и сократить по времени процесс настройки АЭ испытаний, а также заранее оценивать достоверность расположения обнаруженных при реальных измерениях источников АЭ на определенных участках объекта контроля.

Созданная программа позволяет оценить диапазон скоростей звуковых волн для выбора оптимального варианта, который следует использовать при локации, что существенно повышает ее точность.

С помощью виртуального тестирования существующие и вновь создаваемые алгоритмы локации источников АЭ могут быть быстро проверены на точность и наличие ошибок и своевременно откорректированы.



1. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностика сварных конструкций. – Киев: Индпром, 2008. – 815 с.
2. Недосека С. А., Овсиенко М. А. Особенности обработки данных акустической эмиссии для сложных и множественных локационных антенн // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2012. – № 2. – С. 7–12.
3. Недосека С. А., Недосека А. Я., Овсиенко М. А. Влияние методов обработки акустико-эмиссионной информации на формирование АЭ событий и определение их координат // Там же. – 2011. – № 2. – С. 7–17.
4. Недосека А. Я., Бойчук О. И., Овсиенко М. А. К вопросу об оценке погрешности определения источников акустико-эмиссионной информации на линейных объектах // Там же. – 1999. – № 1. – С. 68–70.
5. Особенности распространения акустико-эмиссионных волн на поверхности трубно-оболочечных конструкций / А.Я. Недосека, М.А. Овсиенко, Л.Ф. Харченко, М.А. Яременко // Там же. – 2005. – № 2. – С. 24 – 27.
6. Грешиников В. А., Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия для испытаний материалов и изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 273 с.
7. Опыт ИЭС им. Е.О. Патона в области акустико-эмиссионного контроля / Б.Е. Патон, Л.М. Лобанов, А.Я. Недосека и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2012. – № 1. – С. 7–22.

The paper deals with the issues of improvement of AE monitoring methodology by solving the problem of prompt and operative assessment of possible errors at location of AE sources on objects of complex geometry. Assessment is performed with application of automated programmed virtual testing for pre-assigned configurations of location arrays. An indubitable advantage of the proposed solution is performance of evaluation before the start of transducer arrangement on the object that will allow selection of optimum schematics of their arrangement and the most suitable algorithm for AE source coordinate calculation. Performed work is useful for automation of AE monitoring, more profound analysis of AE data, development of new algorithms and programs of AE source location, and is one of the stages of development of intelligent monitoring systems.

*Key words* : AE monitoring, virtual testing, location accuracy, velocities of sound waves in materials.

Поступила в редакцию  
07.20.2015

# ММС100

7–10 June 2016,  
Kyiv, Ukraine

[www.medovar100.org](http://www.medovar100.org)



## Международный симпозиум к 100-летию со дня рождения Б.И. Медовара

Дата проведения	7–10 июня 2016 г.
Тематика симпозиума	ЭШП и другие процессы специальной электрометаллургии, их научные основы, технологии и оборудование; электрошлаковое литье; сварка высоколегированных и высокопрочных сталей, а также аустенитных сталей и сплавов; теория кристаллизации сталей и сплавов; управление затвердеванием в металлургии и сварке; крупные кузнечные и листовые слитки; моделирование затвердевания в процессах специальной электрометаллургии и сварки; современные стали для магистральных газопроводов, сосудов давления, крупных поковок, роторов, валков; родственные области металлургии, сварки и металловедения.
Место проведения	Киев, Украина, Президент Отель
Организационный комитет	Тел.: +38(044) 287-52-18, +38(044) 337-30-81. Тел./факс: +38(044) 337-30-82 E-mail: <a href="mailto:org@medovar100.org">org@medovar100.org</a> , <a href="mailto:info@medovar100.org">info@medovar100.org</a> Дополнительная информация на сайте симпозиума <a href="http://www.medovar100.org">www.medovar100.org</a>