



ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ АЭ СОБЫТИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ КООРДИНАТ

А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, М. А. ОВСИЕНКО (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины)

Рассмотрено влияние методики проведения измерений, настройки АЭ систем и обработки входных данных на формирование событий АЭ и результаты работы алгоритмов расчета координат источников АЭ. Приведены на примере АЭ системы ЕМА-3 рекомендации по выполнению процедуры настройки ряда параметров, влияющих на получаемую информацию в целом и, в частности, на точность определения координат событий АЭ. Проведенный анализ влияния различных факторов на получение достоверной АЭ информации может быть полезен для специалистов в области АЭ контроля и при создании унифицированной процедуры метрологии АЭ систем различных типов.

The paper deals with the influence of measurement procedure, AE system adjustment and input data processing on AE event formation and results of operation of algorithms for calculation of AE source coordinates. Recommendations are given for the case of AE system EMA-3 on performance of the procedure of setting up a number of parameters affecting the obtained data as a whole, in particular, accuracy of determination of AE event coordinates. Conducted analysis of the influence of various factors on obtaining valid AE data can be useful for specialists in the field of AE testing and in development of a unified procedure of metrology of AE systems of different types.

Широкое применение акустико-эмиссионного (АЭ) метода контроля состояния конструкций, в том числе и работающих после окончания нормативного срока эксплуатации, в различных отраслях промышленности [1] дало серьезный толчок к более глубокому изучению явления акустической эмиссии, совершенствованию самого метода и расширению сферы его применения, усовершенствованию аппаратуры и развитию нормативно-методической базы.

Несмотря на смещение в последнее время акцентов в развитии данного метода контроля в сторону оценки состояния конструкций в целом и прогноза их разрушения, большое внимание следует уделять и вопросам приема и обработки поступающей с объекта контроля информации, повышению ее достоверности, расширению возможностей программного обеспечения и аппаратурной части систем технической диагностики конструкций.

Переход к мониторинговому (непрерывному) контролю состояния объектов также не уменьшил значимости повышения точности определения местоположения источников АЭ — дефектных областей конструкций, поскольку это позволяет в кратчайшие сроки и с минимальными потерями времени и ресурсов проводить ремонт контролируемых изделий, избежать крупных технологических аварий.

Разработка методов локации источников сигналов акустической эмиссии представляет собой важную область знаний, исследования в которой

ведутся еще с 1960–1970-х гг. Теоретическая часть, связанная с решением данной проблемы, представлена в многочисленных публикациях, например [2–9], некоторые из них считаются «классическими». Практически все современные системы АЭ диагностики решают эту задачу более-менее успешно.

Существуют различные методы и алгоритмы расчета координат источников АЭ по разнице времени прихода сигнала на несколько размещенных по поверхности объекта контроля АЭ датчиков. В зависимости от типа объекта контроля используются разнообразные конфигурации расположения датчиков: линейные, плоскостные (планарные) или объемные [7, 10, 11]. Работа датчиков АЭ в режиме не только приемников, но и излучателей сигналов АЭ определенного диапазона позволяет уточнить координаты датчиков на поверхности объекта в процессе подготовки к проведению контроля, учесть изменение скорости распространения сигналов. На решение данного вопроса также направлено и применение кластеризации полученной информации как по координатному принципу, в том числе и с учетом веса, например, использование в качестве веса амплитуды (энергии) сигналов, так и по временным задержкам с последующим определением координат. Изучение путей распространения сигналов на реальных конструкциях достаточно сложно, поэтому оценка погрешности определения источников АЭ при работе на таких объектах проводится предварительно с использованием различных имитаторов сигналов акустической эмиссии (например, исполь-

зование датчиков в режиме имитации сигналов АЭ) при подготовке к проведению испытания.

Однако методы, алгоритмы и формулы расчета координат по временным задержкам являются только одной составляющей проблемы. В данной работе рассмотрена вторая, не менее важная, составляющая — влияние методики проведения измерений, настройки АЭ системы и обработки получаемых данных на формирование событий АЭ и результаты работы алгоритмов расчета координат источников АЭ. Приведены также рекомендации по выполнению процедуры настройки ряда параметров, влияющих на получаемую информацию в целом и, в частности, на точность определения координат источников АЭ на примере АЭ системы ЕМА-3.

Результаты многолетней работы по проведению краткосрочных, длительных испытаний и непрерывного АЭ мониторинга самых разнообразных изделий убедительно показывают, что выбор правильной методики проведения испытаний и настройки АЭ систем является чрезвычайно важным фактором как для определения координат источников АЭ, так и для получения достоверной оценки состояния объектов контроля.

Рассмотрим некоторые аспекты построения современных АЭ систем. Все они являются электронными устройствами, преобразующими входную информацию в цифровой вид и обрабатывающими ее на компьютере [7, 8]. Потоки входных данных настолько велики, что без их цифровой обработки какой бы то ни было их анализ просто невозможен. Разрешающая способность канала АЭ системы для корректной обработки сигнала и последующего использования данных при определении координат должна быть не ниже 1 мкс. При такой разрешающей способности погрешность определения координат при условии отсутствия других влияющих факторов составит при скорости распространения звуковой волны в материале 5 мм/мкс не более 5 мм. Отметим, что данный параметр является не единственным, оказывающим влияние на точность определения координат.

Приведем некоторые соображения относительно настроек АЭ систем, существенно влияющих на получаемые результаты. Большинство приведенных ниже примеров, содержащих конкретные данные по настройкам, получены при использовании систем АЭ диагностики Defectophone, ЕМА-1...ЕМА-4, ГАЛС-1. Тем не менее, учитывая все большую унификацию современных методов получения АЭ информации, вероятность их соответствия условиям работы других АЭ систем достаточно велика, несмотря на отсутствие на данный момент единой процедуры их метрологической аттестации. Следует отметить также неполноту существующих стандартов в области АЭ и необязательность их использования, что приво-

дит к расхождениям в терминологии, используемой как различными разработчиками АЭ систем, так и эксплуатирующими их предприятиями. Вопрос стандартизации терминологии и единой процедуры поверки является чрезвычайно важным, но хотя он пока и не решен полностью общие принципы организации преобразования и последующей цифровой обработки входных аналоговых данных во многих современных АЭ системах аналогичны.

Типичная АЭ система является многоканальным прибором, в котором информация, получаемая каждым каналом, обрабатывается независимо. Каждый канал может быть настроен индивидуально, причем количество таких настроек в разных системах варьируется от одной-двух до нескольких десятков. Рассмотрим те из них, которые присущи многим системам и существенно влияют на процедуры идентификации событий АЭ и определения координат мест их возникновения. Отметим также, что в зависимости от типа используемой АЭ аппаратуры и программного обеспечения упомянутые настройки могут быть выполнены на аппаратурном уровне, на программном или на обоих индивидуально. Различие в этих настройках состоит в том, что ограничения, внесенные на аппаратурном уровне, не всегда могут быть отменены или скорректированы при послеэкспериментальной обработке данных. Поэтому, если при проведении АЭ измерений есть возможность пользоваться только программными ограничениями без потери качества получаемых результатов, следует выбирать именно их.

Рассмотрим вначале наиболее важные аппаратурные и программные решения, касающиеся настройки и ограничения параметров АЭ, которые влияют в большей степени не на определение координат, а на количество регистрируемых событий АЭ. Некорректная их реализация или установка может привести к тому, что некоторые события не будут зарегистрированы вообще, или же за счет отсутствия отбраковки шумов и переотраженных сигналов может быть зарегистрировано множество ложных событий с произвольными координатами.

Принципы объединения отдельных единичных откликов датчиков в единое событие. Единичный отклик (срабатывание) одного датчика на действие источника АЭ некорректно называть событием. Событие формируется как совокупность срабатываний датчиков на одно и то же действие источника АЭ. В некоторых случаях, например при установке слишком низкого порога амплитудной дискриминации, отклик датчика может происходить вследствие повышения общего шумового фона или по ряду других причин.

Современные АЭ системы могут работать в режиме зонной локации, когда определение координат источников АЭ не выполняют, или же в режиме локационной антенны (другое название —



локационная группа), когда по задержкам времени прихода сигнала на различные датчики рассчитывают координаты источника АЭ.

Следует учесть следующее:

- не каждое срабатывание датчика АЭ соответствует действию реального источника АЭ в материале;

- не каждый реальный источник АЭ приводит к появлению той полезной информации, которая может быть использована для определения его координат и характеристик, и является истинным событием АЭ;

- не каждый источник АЭ имеет отношение к реальным процессам накопления повреждений и разрушения в материале.

В связи с этим принцип интерпретации отдельных срабатываний датчиков и последующего объединения их в события играет важнейшую роль как при определении координат источников АЭ, так и при их анализе.

Существует два основных подхода к формированию событий АЭ на основе пришедших на датчики и вызвавших отклики сигналов:

- включать в событие все срабатывания, зарегистрированные в установленный, достаточно малый промежуток времени;

- включать в событие фиксированное число срабатываний на основании заранее заданного признака.

Достоинства и недостатки имеют оба подхода. Достоинством первого является возможность получения дополнительной информации в случае, если количество сработавших датчиков было большим, чем требуется для определения координат источника АЭ. Это в некоторых случаях позволяет уточнить координаты источника, его количественные параметры и дополнительно проанализировать характер распространения акустического сигнала от данного источника АЭ. Недостатком является то, что в качестве события могут быть восприняты одиночные срабатывания или такие наборы срабатываний, для которых расчет координат невозможен или приведет к серьезным ошибкам (например, только два датчика сработали при плоскостной локации). Вероятна также интерпретация более поздних срабатываний нескольких датчиков в результате переотражений сигнала как нового события, координаты которого, естественно, не будут соответствовать местоположению реального источника АЭ в материале.

Преимуществом второго подхода является гарантия того, что если событие сформировано, то расчет координат источника возможен. Обеспечивая достаточность информации, данный подход в то же время приводит к отсеву всех избыточных данных, что в некоторых случаях является недостатком. Например, если для определения координат

источника АЭ на плоскости требуются срабатывания трех датчиков, то в событие будут включены только они. В то же время дополнительная информация, полученная, например, от четвертого сработавшего датчика, могла бы помочь уточнить рассчитанные координаты.

В связи с изложенным выше рекомендуется наличие в системах АЭ контроля обоих вариантов организации событий.

Дискриминация по амплитудному признаку называется также амплитудным порогом или порогом чувствительности. Является одним из самых важных ограничений, вносимых в настройки систем АЭ, предназначенным для корректного выделения сигналов из общего шумового фона. Как правило, выполняется только для ограничения минимальных значений амплитуд принимаемых сигналов АЭ. Установка слишком высоких порогов приводит к тому, что полезные сигналы могут быть отбракованы, а занижение, напротив, ведет к тому, что в качестве полезных сигналов могут быть ошибочно восприняты кратковременные повышения шумового фона.

Важно отметить, что понятие амплитуды сигналов АЭ в разных системах диагностики отличается. Величина регистрируемой амплитуды зависит от используемого типа датчика, предварительных и основных коэффициентов усиления, принципов выделения события из общего потока непрерывной эмиссии. Ограничение максимальных значений амплитуд может представлять некоторый интерес при лабораторных исследованиях АЭ свойств различных материалов.

Многие современные АЭ системы предусматривают автоматическую или полуавтоматическую установку амплитудных порогов. Рассмотрим некоторые общие методические принципы этой процедуры.

Как правило, пороги устанавливаются перед началом нагружения материала, но при работающей системе нагружения (при проведении АЭ контроля в рабочем режиме эксплуатации объекта необходимо предварительно оценить уровень производственного шума). Установив первоначальные значения порогов достаточно высокими, их постепенно снижают до тех пор, пока не возникают отдельные срабатывания датчиков, вызванные тем, что общий шумовой фон начинает периодически достигать установленного порога. Затем порог постепенно поднимают до исчезновения таких срабатываний. Обычно такой подход обеспечивает максимальную чувствительность датчиков и отбраковку ложных сигналов, вызванных повышением фона.

Дискриминация по признаку строба. Данный признак называется также мертвым временем или временем молчания. Принцип работы строба заключается в том, что некоторое время, отсчи-

тываемое от начала или завершения текущего события АЭ, используется для отсева всей поступающей после него АЭ информации, которая считается связанной с переотражением уже принятых сигналов. Настройка, как правило, выполняется только для ограничения минимальных значений. Это означает, что срабатывания датчиков, полученные в этот период времени, будут отбракованы. Отключение строга или установка слишком малых его значений приводит к тому, что в качестве основного будет интерпретирован переотраженный сигнал, каждое срабатывание датчика будет воспринято как новое событие АЭ, а это, в свою очередь, приведет к регистрации множества ложных событий с различными, «разбросанными» координатами.

Автоматическая установка строга может быть выполнена расчетным или экспериментальным путем. В программном обеспечении систем ЕМА-3 использован расчетный метод, который с учетом скорости распространения волны в материале определяет время, в течение которого будут происходить переотражения. Экспериментально определение строга может быть выполнено с использованием генератора импульсов или механического имитатора, например, графитового стержня. Подав на объект контроля одиночный акустический импульс, строг устанавливается таким образом, чтобы такому импульсу соответствовало одно срабатывание каждого используемого датчика. Как правило, такой метод работает достаточно эффективно и гарантирует отбраковку переотраженных сигналов.

Дискриминация по признаку частоты сигнала является полезным средством для отсева помех, в частности производственных. Датчики АЭ работают, как правило, в широком частотном диапазоне, поэтому вероятность приема сигналов, не имеющих отношения к происходящим процессам в материале, весьма велика. Помеха может быть сигналом как в низкочастотном, так и в высокочастотном диапазоне, поэтому требуются фильтры как нижних, так и верхних частот. Еще более эффективным представляется использование наборов полосовых фильтров, в чем-то подобных используемым в аудиотехнике эквалайзерам. При проведении испытаний промышленных объектов идеальной представляется ситуация, когда частотный диапазон вероятного источника помех известен заранее, и можно еще до начала испытания установить соответствующие ограничения на принимаемые сигналы [7].

В то же время использовать ограничения по частоте следует обоснованно, поскольку ошибки могут привести либо к регистрации помех в качестве истинных событий, либо, напротив, к неоправданной отбраковке полезной информации и

снижению качества результатов проводимых измерений.

Изложенное выше проиллюстрируем представленными на рис. 1 результатами различных способов обработки одного и того же лабораторного эксперимента. На плоском алюминиевом листе толщиной 8 мм была начерчена окружность, в отдельных точках которой последовательно, перемещаясь по часовой стрелке, проводили излом графитного стержня. Для локаций использовали четыре датчика АЭ, расположенные в вершинах квадрата размером 600×600 мм. Точками показаны координаты отдельных событий АЭ, флажками — образованные на их основе кластеры с радиусом кластеризации 30 мм. Очевидно, что при оптимальных настройках порогов амплитуды и строга картина (рис. 1, а), получаемая на экране системы ЕМА-3, наиболее соответствует реальности. При завышенных порогах амплитуды большая часть событий отбраковывается, и полезная информация пропадает (рис. 1, б). При отключенном строге, напротив, за счет переотражений в материале возникают ложные события АЭ, которые системой не отбраковываются (рис. 1, в). При установке завышенного порога частоты ситуация аналогична случаю, приведенному на рис. 1, б, за исключением того, что отбракованы полезные сигналы не с более низкой амплитудой, а с более низкой частотой (рис. 1, г).

Дискриминация по признакам длительности события, числа осцилляций и времени нарастания сигнала. Данные параметры сигнала АЭ имеет смысл рассматривать совместно, хотя они и не полностью взаимосвязаны. Покажем их схематически на рис. 2. Число осцилляций C , длительность сигнала W и его средняя частота F_{cp} связаны простой математической зависимостью $F_{cp} = C/W$.

Время R нарастания сигнала до максимума амплитуды (от английского «Rise time») должно, естественно, находиться в диапазоне $0...W$, но реальный физический смысл предельные значения будут иметь далеко не всегда. Естественные физические процессы, связанные с развитием повреждаемости материала, обычно порождают акустические сигналы сложной формы, но с ненулевым временем нарастания и спада. Поэтому в условиях производственных помех имеет смысл проанализировать характер получаемой информации и при наличии событий АЭ с нулевым или максимальным временем нарастания провести их отбраковку как не соответствующих по параметрам развитию дефектов в материале.

Особенностью производственных помех является то, что акустические сигналы от них не имеют четкой локализации и приводят, как правило, к практически одновременному срабатыванию всех датчиков АЭ. В зависимости от используе-



мого алгоритма локации в качестве координат источников таких сигналов будет определен тот участок конструкции, для которого задержки времени прихода сигнала на разнесенные датчики будут близки к нулю.

Пример отбраковки событий с нулевым временем нарастания сигнала до максимального значения амплитуды представлен на рис. 3.

При гидроиспытаниях трубы длиной 8000 мм с заглушками, приваренными с двух сторон кольцевыми швами, начало накопления повреждений соответствовало области швов. При этом локационная антенна из равномерно размещенных по линии вдоль верхней образующей трубы датчиков АЭ показала акустическую активность как в области швов, так и в центральной части трубы (рис. 3, а). Анализ полученных событий АЭ в среднем кластере показал, что все они имеют одинаковое время прихода на датчики 2 и 3 и, соответственно, нулевые задержки.

Значение времени нарастания у всех событий было нулевым. После установки ограничения минимального значения времени нарастания равным 125 нс (соответствует разрешающей способности

системы) локализация принимаемых сигналов АЭ на экране изменилась, как показано на рис. 3, б. Учитывая, что разрушение материала произошло впоследствии по одному из швов, можно сделать вывод, что путем установленного ограничения были исключены шумы, связанные с работой системы нагружения.

Ограничения времени нарастания по максимуму, а также остальных рассматриваемых здесь параметров, могут, вероятно, иметь смысл в отдельных специальных случаях, в целом же следует исходить из понимания физической природы процессов, протекающих в материале при проводимых испытаниях. Общие рекомендации по их применению в рамках данной работы сформулировать трудно.

Проанализировав параметры АЭ, влияющие на правильность формирования событий и отбраковку на их основе ложной информации, и представив на рис. 1, 3 их влияние на окончательные результаты, перейдем к рассмотрению параметров уже сформированных событий, влияющих непосредственно на определение координат независимо от методов и формул их расчета.

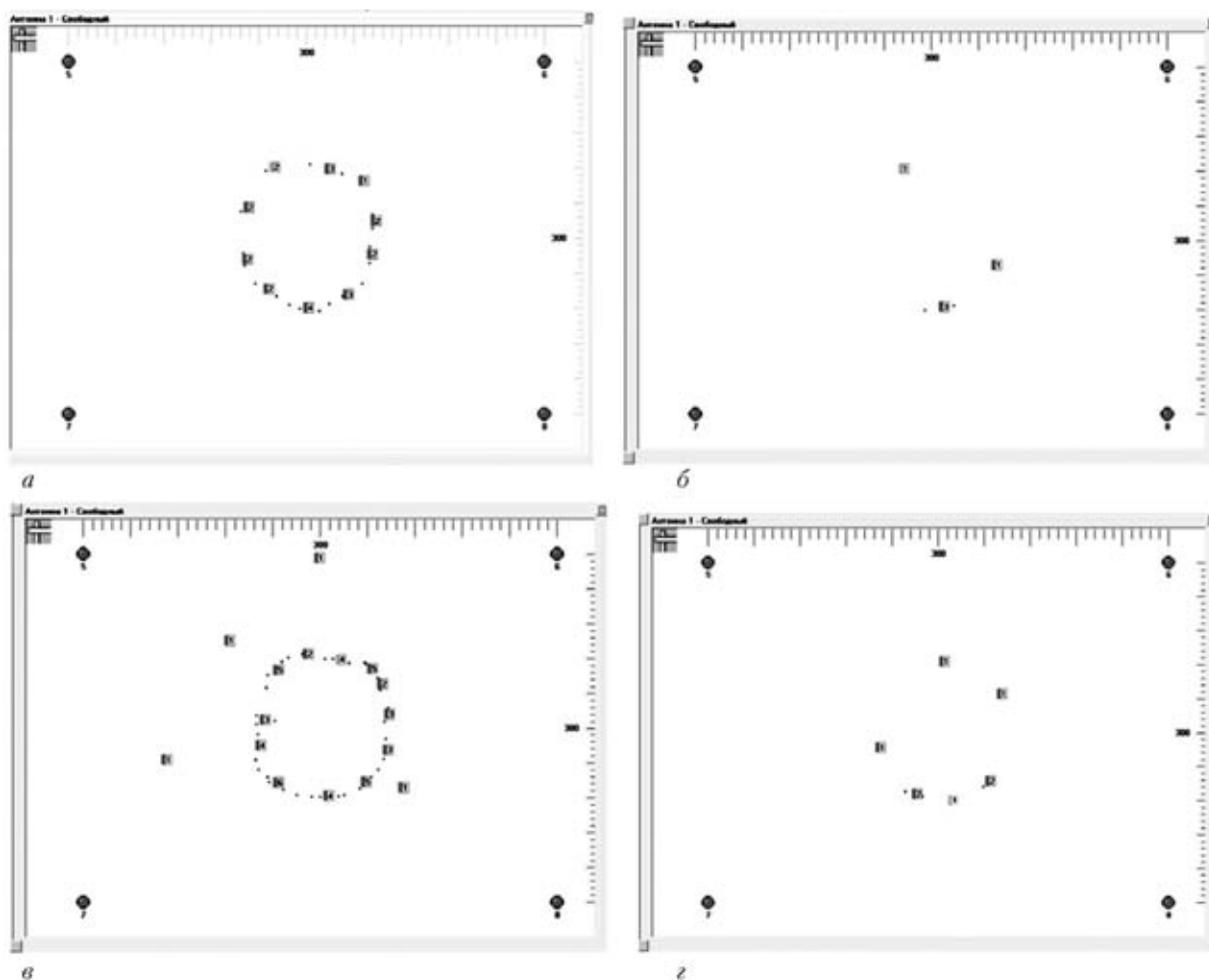


Рис. 1. Локация событий АЭ системой ЕМА-3 на плоскости при механическом воздействии — изломе графитового стержня — по точкам окружности: а — оптимальные настройки; б — нижний амплитудный порог повышен до 48 дБ; в — строб отключен; г — нижний порог частоты повышен до 310 кГц

Скорость распространения волны в материале. Физический параметр, используемый в большинстве расчетных методов при определении координат событий АЭ (пример-исключение: при линейной локации за счет избыточности количества датчиков (более двух) и, соответственно, временных задержек в расчетных формулах вместо скорости можно использовать соотношение задержек). Вне зависимости от используемого метода расчета координат неправильное определение скорости приведет к смещению расчетного положения источника АЭ относительно истинного. В случае линейной локации антенной из двух датчиков использования простейшего метода расчета и отсутствия погрешностей измерения других величин при истинной скорости распространения звуковой волны в материале $V_{и} = 5$ мм/мкс и расстоянии между датчиками $B = 100$ мм максимальная погрешность определения координат за счет задания неверного значения скорости $V = 4,9$ мм/мкс составит 2 мм, а при значении скорости $V = 4$ мм/мкс уже 20 мм. При таком же значении скорости и установке датчиков на рас-

стоянии 10 м ошибка составит 2 м, т. е. точность локации будет неудовлетворительной.

Существуют различные методы определения скорости распространения акустических волн в материале. Отметим только необходимость выполнения этой процедуры перед началом каждого проводимого АЭ испытания, поскольку табличные значения данного параметра могут существенно отличаться от его значения в конкретном случае сочетания «материал–конструкция». Одним из действенных способов проверки правильности установленного значения скорости можно считать использование имитаторов акустической эмиссии. Точно зная координаты такого источника, легко проверить, насколько правильно АЭ система их определяет. Можно также, варьируя установленным значением скорости, убедиться, насколько оно является оптимальным применительно к локации источников АЭ на данном конкретном объекте.

Ограничения по времени задержки служат для отбраковки событий АЭ, не соответствующих физическим свойствам и конфигурации объектов контроля. Важны как ограничение времени задержки, так и отслеживание порядка прихода сигнала на датчики. Ограничение времени должно соответствовать условию прохождения сигнала АЭ в пределах установленной группы датчиков и определяется, исходя из расстояния между ними и скорости распространения акустических волн в материале. Особенности, связанные с установкой значений скорости, рассмотрены выше. Если порядок прихода сигналов на датчики и, соответственно, их срабатывание не соответствует физической природе распространения волн в материале, такое событие АЭ подлежит отбраковке.

Ограничения по зоне контроля применяются к уже сформированным событиям, прошедшим

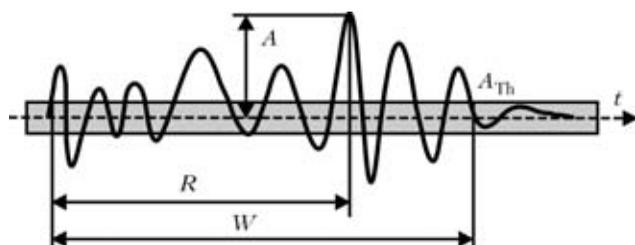


Рис. 2. Выделение единичного срабатывания датчика из непрерывного АЭ сигнала (началом события считается превышение амплитудой сигнала порога дискриминации A_{Th} , завершением — снижение амплитуды до уровня ниже порога; A — максимальная амплитуда; W — полная длительность события; R — время нарастания сигнала до максимума. Число осцилляций C соответствует числу превышений сигнала над порогом)

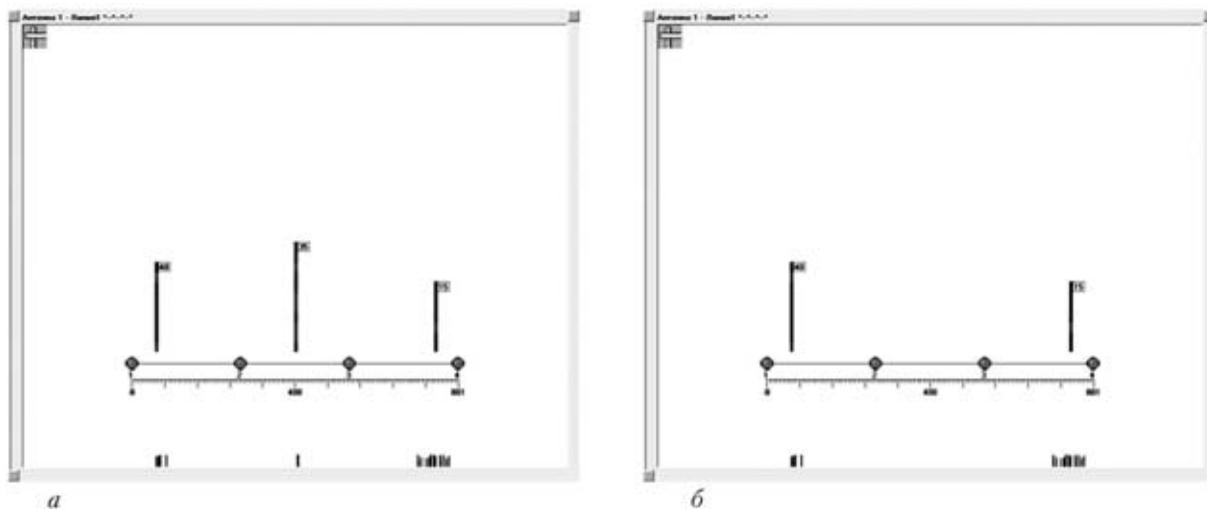


Рис. 3. Экран локации системы ЕМА-3 при гидрониспытаниях трубы: *а* — без установки ограничений на параметры АЭ; *б* — с ограничением минимума времени нарастания до 125 нс. В нижней части экрана показаны координаты событий АЭ, столбики с флажками — результат их объединения в кластеры

отбраковку по всем приведенным выше параметрам. Используется, во-первых, для исключения из дальнейшего анализа событий, находящихся за пределами выбранной для локации области, во-вторых, для исследования АЭ активности на выбранном локальном участке материала.

Влияние перечисленных выше параметров на результаты локации приведены на рис. 4 применительно к эксперименту, ранее представленному на рис. 1.

Очевидно, что увеличение задаваемой скорости звука в материале (рис. 4, б) приводит к изменению расчетных координат событий АЭ, и полученная окружность растягивается. Уменьшение задаваемой скорости звука (рис. 4, в) приводит к тому, что окружность сжимается и, кроме того, два ложных события, отсеянные за счет ограничения зоны контроля при правильно установленной скорости звука, на этот раз попадают в контролируемую область. На рис. 4, г показано, как

эти события могут быть эффективно отфильтрованы за счет уменьшения значения допустимого максимального времени задержки прихода сигнала на датчики АЭ.

Кластеризация. Возможность объединения событий АЭ в кластеры, несмотря на ее чрезвычайную полезность, имеется не во всех современных системах АЭ контроля. На приведенных выше рисунках наряду с результатами локации помимо точек (при линейной локации — столбиков), отображающих координаты отдельных событий АЭ, показаны также результаты кластеризации событий системой ЕМА-3. Задавая различные размеры кластера, можно по-разному интерпретировать и анализировать получаемую информацию. Изначально в эксперименте, результаты которого приведены на рис. 1 и 4, при имитации отдельных событий АЭ по точкам окружности выбраны размеры кластера 30 мм. Покажем на рис. 5 работу алгоритма кластеризации при очень малых (рис.

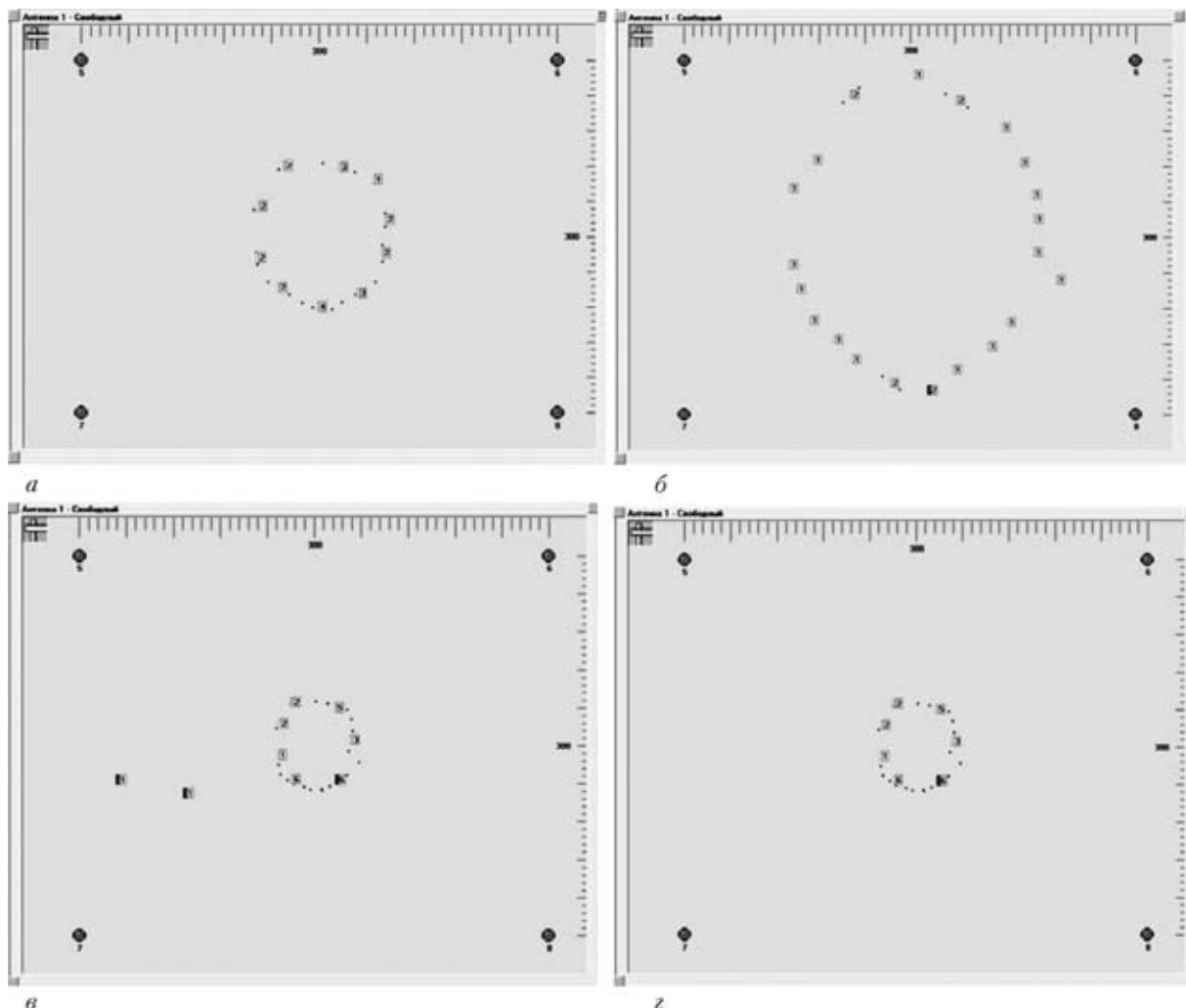


Рис. 4. Влияние параметров настройки системы ЕМА-3 на результаты локация событий АЭ на плоскости при изломе графитового стержня в точках окружности: а — оптимальные настройки; б — задаваемая скорость звука в материале увеличена с 3,5 до 7 мм/мкс; в — задаваемая скорость звука в материале уменьшена с 3,5 до 2 мм/мкс; г — при задаваемой скорости звука в материале 2 мм/мкс установлено максимальное время задержки 80 мкс

5, а) и очень больших (рис. 5, б) (в рамках данного эксперимента) размера кластера.

Очевидно, что в первом случае каждый образованный кластер соответствует единичному событию АЭ, во втором образуется только один кластер, соответствующий с заданной вероятностью геометрическому центру всех полученных событий АЭ. Если объединение многих событий в один общий кластер в условиях данного эксперимента не является целесообразным, то применение такого подхода при испытаниях образцов и реальных конструкций, особенно из-за сложной формы объектов и в условиях наличия помех, является очень эффективным.

При наличии существенного разброса в определяемых координатах событий, с высокой вероятностью относящихся к одному и тому же процессу в материале, объединение их в кластер позволяет наиболее точно указать место возникновения их источника. Особенно это важно для тех участков конструкций, доступ к которым по техническим причинам невозможен. Простым при-

мером эффективности кластерного анализа может служить испытание на статическое растяжение образца из стали 12Х18Н10Т при температуре 560°С (рис. 6). Рабочая часть образца находилась внутри электропечи [12] и была недоступна как для установки датчиков АЭ, так и для визуального наблюдения. Следует учитывать также достаточно высокий уровень шумов, создаваемых системой нагружения.

Как видно из рис. 6, при проведении испытания события АЭ были зарегистрированы на всем рабочем участке. Для определения наиболее вероятного места разрушения перед началом испытания был задан размер кластера 600 мм. Все полученные события АЭ с координатами, расположенными между датчиками 1 и 2, обрабатывали как принадлежащие одному и тому же источнику. Обработка данных кластера показала, что его геометрический центр расположен на участке образца с координатой 360 мм (отсчет координат выполняли от датчика 1).

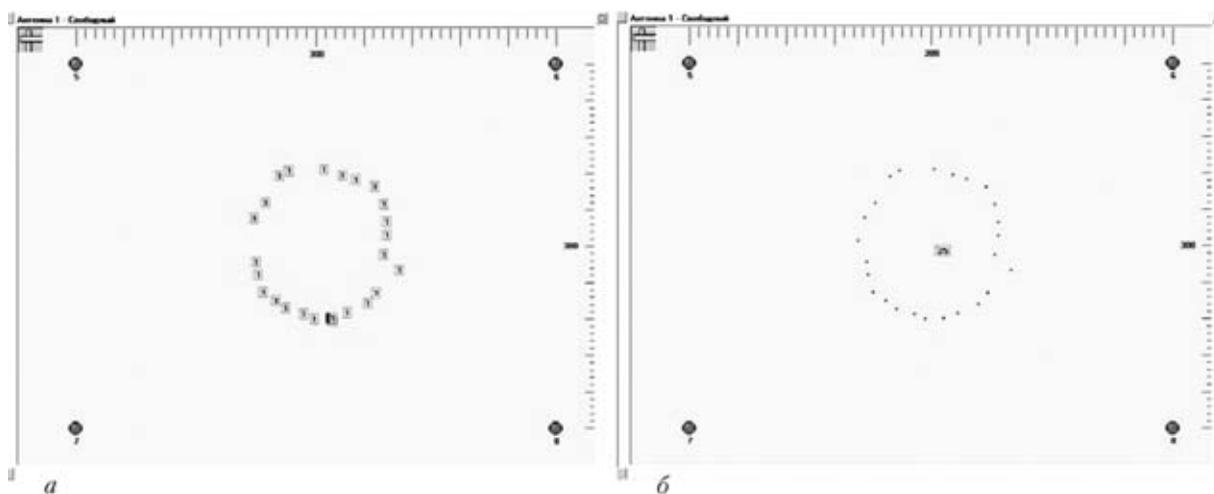


Рис. 5. Влияние размера кластера на результаты локации событий АЭ на плоскости при изломе графитового стержня по точкам окружности: а — 1; б — 300 мм

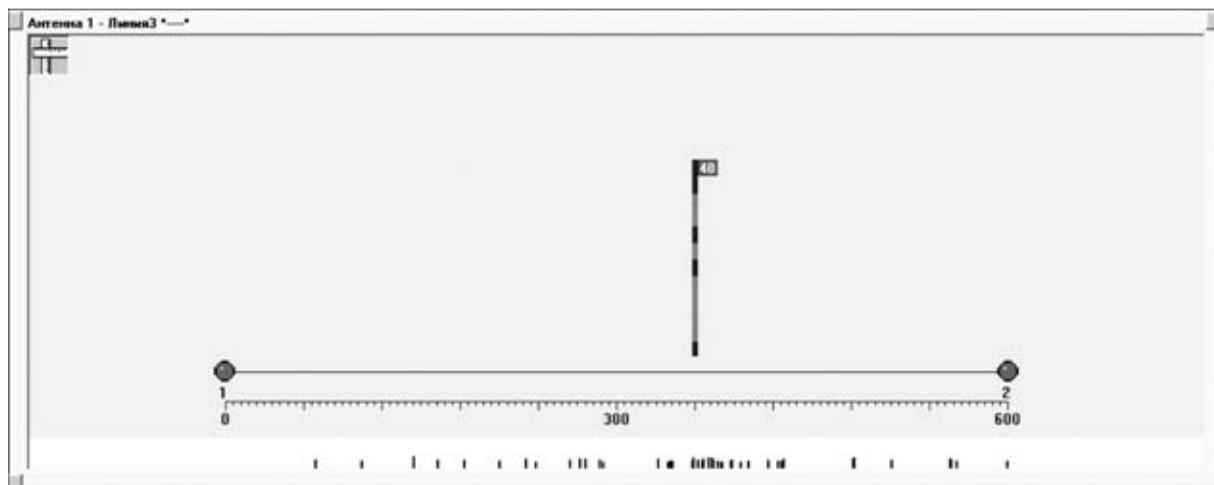


Рис. 6. Окно локации системы ЕМА-3 после испытания образца из стали 12Х18Н10Т при температуре 560 °С (столбик с флажком соответствует кластеру, показывающему вероятное место разрушения)



После окончания испытания и извлечения образца провели замеры, показавшие, что разрушение образца произошло на участке с координатой 357 мм. Таким образом, кластерный анализ показал хороший результат, так как погрешность определения координаты места разрушения по отношению к расстоянию между датчиками (так называемой базе антенны) составляет 0,5 %. Очевидно, что при отсутствии кластерной обработки судить о вероятном месте разрушения было бы достаточно трудно несмотря на несколько большую плотность распределения сигналов в области, где сформировалась трещина и затем произошло разрушение.

Учитывая, что в системе АЭ диагностики ЕМА-3 реализован алгоритм прогноза разрушающей нагрузки и предупреждений об опасности состояния материала [13–15], возможность кластеризации данных для данной системы является принципиально необходимой. Это позволяет группировать полученные события таким образом, чтобы они соответствовали конкретному источнику развития разрушения в материале. В противном случае прогноз пришлось бы выполнять на основе всех без исключения событий, в том числе относящихся к абсолютно разным источникам, что негативно отразилось бы на качестве прогнозных данных.

Укажем еще раз на достаточно сложную процедуру обработки первоначальной АЭ информации, необходимую для отбраковки ложных данных, формирование событий, подготовки для расчета координат источников АЭ и последующего прогнозирования состояния материала. В качестве резюме на рис. 7 приведем принятую для систем ЕМА-3 последовательность обработки АЭ информации.

Очевидно, что приведенный анализ факторов, влияющих на достоверность получаемых АЭ данных, не является исчерпывающим. Тем не менее,



Рис. 7. Обработка АЭ информации в системе ЕМА-3

следует полагать, что рассмотренные факторы действительно являются как наиболее важными с точки зрения рассматриваемой проблемы, так и общими для различных систем АЭ диагностики. Поэтому приведенные результаты могут быть полезными для специалистов в разных областях применения метода АЭ: при разработке АЭ систем, при проведении АЭ испытаний, при создании и совершенствовании методик АЭ контроля применительно к различным промышленным объектам. Учитывая потребность в создании стандартов, других нормативных документов в области метрологии АЭ систем и необходимость унификации процедуры проведения АЭ измерений [15], выполненные и систематизация представляются своевременными.

Выводы

Проанализированы основные факторы, оказывающие существенное влияние на достоверность получаемых методом АЭ результатов, формирование событий АЭ и работу алгоритмов расчета их координат. Показано, что выбор методики проведения измерений, обработки входных данных, отбраковки ложной информации, корректной настройки параметров систем АЭ диагностики приобретает особую важность.

Показано, что применение кластерного анализа при обработке полученных с использованием систем АЭ диагностики данных позволяет обеспечить определение координат источников АЭ в производственных условиях, при наличии акустических помех и отсутствии доступа к поверхности объектов контроля.

Проведенный анализ влияния различных факторов на получение достоверной АЭ информации может быть полезен для специалистов, работающих в области АЭ контроля, при создании унифицированной процедуры метрологии АЭ систем различных типов.

1. *О применении метода акустической эмиссии для контроля промышленных конструкций / А. Я. Недосека, М. А. Яременко, М. А. Овсиенко, Л. Ф. Харченко // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2003. — № 3. — С. 3–6.*
2. *Dunegan H. L. Acoustic Emission—A Promising Technique // Lawrence Livermore Laboratory Report UCID—4643. — 1963.*
3. *А. с. 868574 СССР, МКИ G 01 N 29/04. Многоканальное устройство для определения координат дефекта методом акустической эмиссии / С. И. Буйло, Г. А. Кузьмин, А. С. Трипалин. — Оpubл. 3.08.81, Бюл. № 36.*
4. *Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в атомной энергетике / Под ред. К. В. Вакара. — М.: Атомиздат, 1980. — 216 с.*
5. *Андрейків О. Є. Теоретичні основи методу акустичної емісії в механіці руйнування / Г. Т. Сулим, В. Р. Скальський. — Львів: Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. — 461 с.*
6. *Грешиников В. А., Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия для испытаний материалов и изделий. — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 273 с.*



7. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностика сварных конструкций. — Киев: Индпром, 2008. — 815 с.
8. Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций / В. А. Стрижало, Ю. В. Добровольский, В. А. Стрельченко и др. / Под ред. Г. С. Писаренко. — Киев: Наук. думка, 1990. — 232 с.
9. Назарчук З. Т., Скальський В. Р. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: Наук.-техн. посібник: у 3 т. — Т.2. Методологія акустико-емісійного діагностування. — Київ: Наук. думка, 2009. — 263 с.
10. Определение координат развивающихся дефектов на цилиндрических поверхностях / А. Я. Недосека, М. А. Яременко, М. А. Овсиенко, Л. Ф. Харченко // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2006. — № 1. — С. 11–13.
11. Особенности распространения акустико-эмиссионных волн на поверхности трубооболочечных конструкций / А. Я. Недосека, М. А. Овсиенко, Л. Ф. Харченко, М. А. Яременко // Там же. — 2005. — № 2. — С. 24–28.
12. Исследование АЭ характеристик материалов при высоких температурах. Сообщение 1. Методика / Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека, С. А. Недосека и др. // Там же. — 2009. — № 1. — С. 5–10.
13. Недосека С. А. Диагностика и прогнозирование ресурса сварных конструкций методом акустической эмиссии. Дис. ... д-ра техн. наук. — Киев: Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, 2010 г. — 422 с.
14. Недосека С. А. Прогноз разрушения по данным акустической эмиссии // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2007. — № 2. — С. 3–9.
15. Недосека А. Я., Недосека С. А. Об оценке надежности эксплуатирующихся конструкций (состояние вопроса и перспективы развития) // Там же. — 2010. — № 2. — С. 7–17.

Поступила в редакцию
08.12.2010



16-а МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ЛЕОТЕСТ-2011» В СЛАВСЬКУ

Традиційно наприкінці зими спеціалісти з неруйнівного контролю збираються у засніжених Карпатських горах у відомому гірськолижному центрі Славське Львівської області. Цього року чергова Міжнародна науково-технічна конференція «ЛЕОТЕСТ-2011: Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів» проходила 21 – 25 лютого.

Організаторами цієї щорічної конференції виступили: Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики (УТ НКТД), Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України (ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ), м. Львів; Івано-Франківський національний університет нафти і газу (ІФНТУНГ) і Центр «Леотест-Медіум», м. Львів (організаційне бюро конференції).

Відкрив конференцію голова Оргкомітету, член Правління і голова Західного відділення УТ НКТД, директор центру «Леотест-Медіум» Учанін В. М.

Жвавий інтерес та цікаву дискусію викликали доповіді багатьох учасників конференції.

Як і щороку, найбільшу кількість доповідей винесли на суд колег науковці ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Цікаві доповіді зробили науковці ряду провідних установ та підприємств України:

ОАО «НИИК», г. Дзержинськ; ОАО «Насосэнергомаш», м. Суми; Ультракон-Сервіс», м. Київ; ДП «АНТОНОВ», м. Київ; «ДМКД», «ДДАП-РАКС», ПКТЬ ЦВ Укрзалізниці, м. Дніпродзержинськ;

Багато цікавих доповідей представили науковці різних університетів України: Севастопольського національного університету ядерної енергії і промисловості; НТУУ «КПІ», м. Київ; НТУ «Харьковский политехнический институт», Харьковского професійного коледжу; Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та ін.

Конференція пройшла в діловій та доброзичливій атмосфері. Її учасники мали досить часу для плідних дискусій та відпочинку. Проживали учасники конференції в пансіонаті «Бойківщина», який розташований на околиці містечка Славське в оточенні багаторічних сосен, ялин та смерек, поблизу гірськолижних трас. Частина дня учасники конференції мали змогу присвятити відпочинку на гірських лижах на схилах гір Тростяні, Кремінь, Погар та Високий Верх (див. сайт www.trostian.com). Крім того, шанувальники активного зимового відпочинку відвідали новий гірськолижний центр «Плай» біля с. Плав'є на автотрасі Львів – Чоп.

Організатори конференції чекають на Вас і в наступному році.

Ю. М. Посипайко, ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ