

ПРИБОРЫ ДЛЯ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. Я. НЕДОСЕКА, д-р техн. наук, С. А. НЕДОСЕКА, А. А. ГРУЗД, кандидаты техн. наук, М. А. ОВСИЕНКО, инж., М. А. ЯРЕМЕНКО, канд. техн. наук, Л. Ф. ХАРЧЕНКО, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены материалы испытаний и исследований работоспособности приборов акустико-эмиссионного контроля и диагностирования нового поколения, а также результаты внедрения обновленного программного обеспечения указанных приборов, которое обеспечивает новые технологические возможности их практического использования.

Ключевые слова: сварные конструкции, диагностика, акустико-эмиссионный контроль, приборы, прочность материала

Опыт экспертного обследования объектов повышенной опасности в основном базируется на современных достижениях в областях создания теории и разработки эффективных методов и аппаратных средств контроля и технического диагностирования. Это имеет непосредственное отношение к технологиям диагностирования на основе метода акустической эмиссии, эффективность которых подтверждена их широким применением в наиболее ответственных объектах. В ИЭС им. Е. О. Патона проводится ряд разработок по техническому диагностированию в наиболее авторитетных направлениях, таких, как программное обеспечение (ПО) и аппаратура, реализующие технологию контроля и включающие программы получения, обработки и сжатия входной информации, алгоритмы распознавания разрушающих процессов на основе математической статистики, теории вероятностей, теории прогнозирования и принятия решений; сертификация создаваемых методик и контрольного оборудования; обучение персонала, выполняющего работы по контролю состояния материалов конструкций и др.

В качестве объектов исследования отобраны четырехканальный акустико-эмиссионный (АЭ) прибор ГАЛС1, доработанный и протестированный при различных условиях эксплуатации совместно с НПФ «Промприбор», и лабораторный образец прибора АЭД для диагностических систем нового поколения ЕМА-3.5, разработанный совместно с венгерской компанией «Видеотон» (рис. 1) [1]. Тестируемые приборы являются разработками нового поколения в области АЭ технологии и имеют новые технологические возможности, а именно высокую разрешающую способность, работу с формой сигналов АЭ в реальном времени, а также большое количество параметров

настройки, позволяющих фильтровать ложные сигналы АЭ и эффективно обрабатывать полезные.

Базовое ПО систем ЕМА-3.5 доработано для новых систем АЭ с учетом разработанных производителями протоколов обмена данными. Реализованы алгоритмы сохранения данных на жестком диске в измененном формате в соответствии с новыми протоколами обмена. Протестирована работа приборов в лабораторных условиях и на промышленном стенде ИЭС им. Е. О. Патона. Проверены стабильность работы приборов, а также их акустических и других показателей, возможность локации сигналов АЭ при различной конфигурации локационных антенн (под локационной антенной следует понимать группу датчиков АЭ, которые обрабатывают информацию совместно, в частности, с целью определения координат источника АЭ).

В рамках настоящей работы определено влияние погрешности измерения времени прихода сигналов АЭ к датчику на их локализацию с использованием системы АЭ диагностирования ЕМА-3 и полученные оценки будут учтены при аттестации новых и разрабатываемых систем АЭ диагностирования, а также при создании методических и нормативных документов.

С помощью приборов ГАЛС1, АЭД и с использованием ПО ЕМА-3 подтверждена эффективность методов определения координат источника АЭ, в том числе при условиях имитирования разных источников на промышленном стенде и в ходе реальных механических испытаний.

Имитацию сигналов осуществляли с помощью датчиков-имитаторов и при изломе грифеля карандаша. Квадрант был разбит сеткой, в узлах которой имитировали источники АЭ (рис. 2). Как видно из рисунка, имеются определенные отклонения в локации сигналов АЭ, поступающих из конкретных точек. Определенные визуально отклонения незначительны, реальное значение погрешнос-

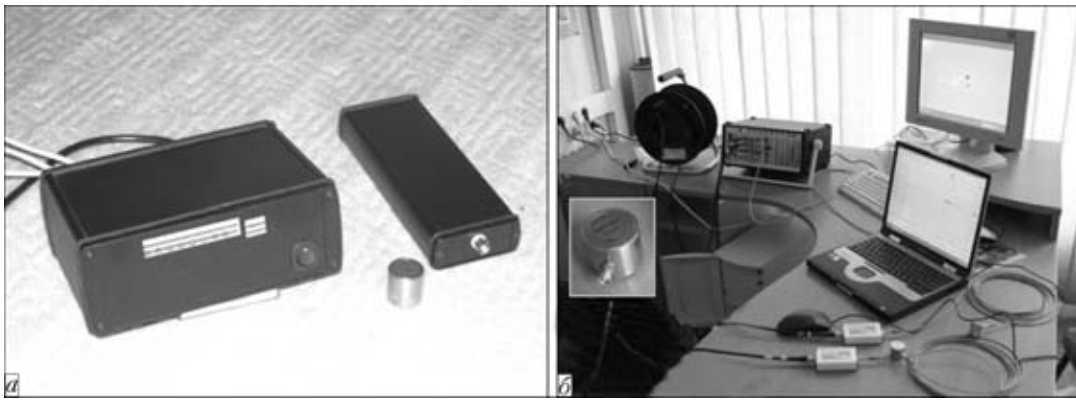


Рис. 1. Внешний вид приборов ГАЛІС1 (а) и ЕМА-3.5 (б)

ти не превышает 3% расстояния между датчиками АЭ. Можно сделать вывод о том, что для надежной настройки аппаратуры АЭ необходимо использовать общепринятые средства имитации, например, электронный имитатор с регулируемыми параметрами сигналов или излом грифеля карандаша.

Для оценки погрешностей определения координат источников АЭ разработана специальная схема (рис. 3), согласно которой зоны объекта контроля с одинаковым уровнем погрешности расчета координат имеют одинаковый цвет отображения. Погрешность определения координат источников АЭ рассчитана для нескольких различных методов, в частности, для точных и приближенных математических формул и метода направленного поиска (вариант метода Монте-Карло).

Проведено тестирование АЭ приборов во время испытания образцов на статическое рассеивание и некоторых промышленных объектов. Кроме того, приборы тестировали на работоспособность при долговременном режиме работы. Тестирование показало удовлетворительную работу АЭ приборов. Полученные результаты свидетельствуют о реальной возможности довести приборы до уровня, позволяющего провести их метрологическую аттестацию и рекомендовать ко внедрению.

ПО типа ЕМА разработано таким образом, чтобы реализовывать аппаратную независимость. Это означает, что при одинаковых или близких базовых принципах организации АЭ аппаратуры

от разных производителей может быть достигнута единообразная система получения данных, их первичной обработки и высокоуровневых алгоритмов анализа, позволяющих принимать автоматизированное решение относительно состояния объектов контроля.

Учитывая несовместимость типов данных, полученных от разной аппаратуры, в ПО ЕМА-3.5 внедрен специальный механизм стыковки этих данных на высоком уровне с помощью использования так называемых полиморфных классов.

Модификация прибора ЕМА-3.5 применена при испытании внутренним давлением трех труб из стали 20 диаметром 600 мм с толщиной стенки 10 мм. В качестве системы нагружения использовали гидравлический насос. Рабочей средой была вода. В процессе нагружения объекта контроля сделаны остановка и разгрузка, а затем его нагружали до разрушения.

Цель исследования — показать эффективность применения средства АЭ для нахождения координат места разрушения. Диагностическую систему ЕМА-3.5 использовали в таком же режиме, как и ЕМА-3. Сигналы АЭ записывали в процессе нагружения, а данные об изменении давления — в журнал и после проведения испытаний вносили в систему ЕМА-3.5.

Испытание трубы № 1 провели при чрезвычайно быстром подъеме давления (длительность испытания составлял 206 с) непосредственно до

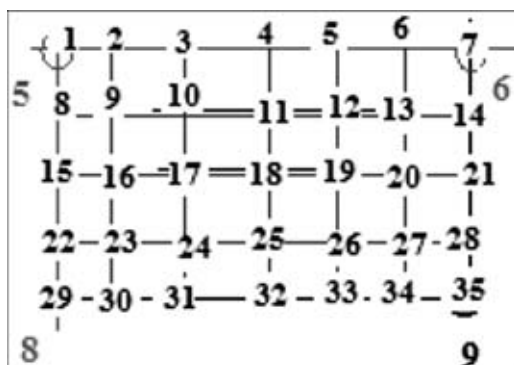


Рис. 2. Координаты источников АЭ при имитации



Рис. 3. Пример использования схемы отображения погрешности расчета координат источников АЭ (локация по точной формуле; погрешность расчета координат источников АЭ в пределах плоской зоны, очерченной датчиками, не превышает 3% базы антенны)

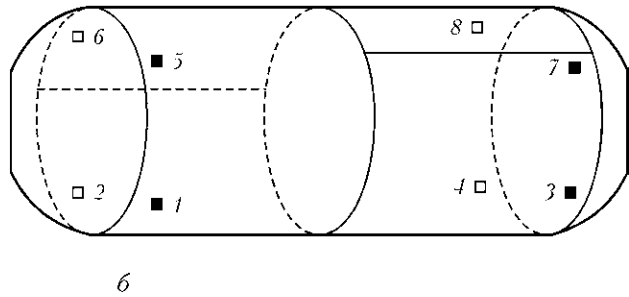
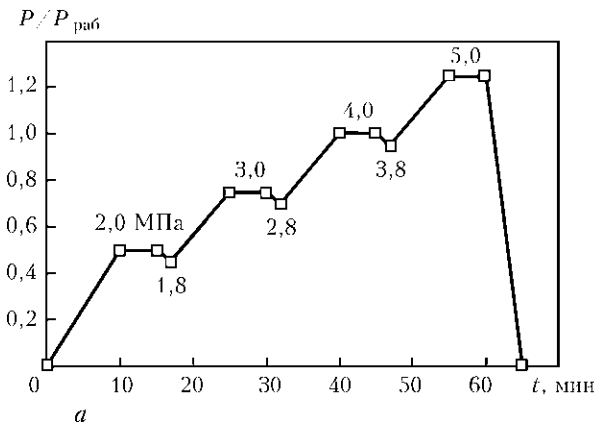


Рис. 4. График программы нагружения (a) и размещение датчиков измерительного прибора АЭ на поверхности барабана котла типа БКЗ: 1–8 — номера датчиков; ■, □ — соответственно видимая и невидимая точка установки датчиков АЭ; t — время испытаний

разрушения без промежуточных остановок. Разрушение произошло при давлении 13,8 МПа. Система ЕМА-3.5 предварительно показала координаты места разрушения — на расстоянии около 2,6 м от датчика № 1.

Испытание трубы № 2 провели в три этапа: подъем давления до 100 МПа; разгрузка и подъем давления до 110 МПа; разгрузка и подъем давления до разрушения (разрушение произошло при давлении 14,2 МПа). Система ЕМА-3.5 предварительно показала координаты места разрушения. Особенность испытания заключалась в том, что трещина имела достаточно большой размер, очерченный кластерами АЭ.

Испытание трубы № 3 провели также в три этапа: подъем давления до 10 МПа; разгрузка и подъем давления до 110 МПа; разгрузка и подъем давления до разрушения (разрушение произошло при давлении 12,5 МПа). Система ЕМА-3.5 предварительно показала координаты места разрушения — в центральной части трубы, между датчиками № 3 и 4.

В качестве примера успешного применения разработанных приборов АЭ в промышленных условиях приведем результаты испытаний методом АЭ барабанов котлов БКЗ 75/39, проведенных совместно со специалистами лаборатории технической диагностики ООО «Николаевский глиноземный завод» с использованием системы ЕМА-3.5 [2].

Испытания проведены в соответствии с ДСТУ 4227-2003 «Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки». Перед началом испытаний была составлена «Технологическая карта АЭ контроля барабана котла БКЗ 75/39».

В процессе испытаний внутреннее давление P в барабанах котлов повышали до 1,25 от рабочего, а именно от 0 до 5 МПа с пятиминутными выдержками при нагрузке 0,4, 0,6, 0,8 и 1,0 от мак-

симальной и снижением на 0,2 МПа после выдержки.

В ходе испытаний записывали параметры АЭ. Затем в режиме компьютерного повтора испытаний были вычислены значения разрушающей нагрузки для барабанов котлов БКЗ 75/39.

По результатам оценки выданы рекомендации для последующей эксплуатации объектов контроля, обработки котлов, обозначенных А, В. Барабаны котлов из стали 20к имеют срок наработки 25 лет и эксплуатируются при рабочем давлении $P_{\text{раб}} = 3,9$ МПа. Температура рабочей среды (пара) составила 450 °С.

По данным эксплуатирующего предприятия перед АЭ испытаниями проведен неразрушающий контроль стенок барабанов котлов, включая толщинометрию и ультразвуковой контроль (УЗК), при проведении которого дефекты обнаружены не были.

Испытания барабана котла А показали, что при нагружении и выдержке (рис. 5, а) были зарегистрированы многочисленные сигналы АЭ практически по всей контролируемой поверхности как для измерительной локационной антенны № 1 (из датчиков № 1–4), так и для измерительной локационной антенны № 2 (из датчиков № 5–8).

Основные участки концентрации многочисленных сигналов АЭ находятся в центральной правой части барабана (рис. 4, б), контролируемой антенной № 2 (датчика № 5–8). На рис. 5 приведена информация, предоставляемая программой ЕМА-3.5 по первичным результатам испытания (по данным АЭ и значениям нагрузки).

Обработка и кластерный анализ результатов испытаний, приведенных на рис. 4, показали наличие в материале объекта контроля опасных дефектов, которые, однако, не создают аварийной ситуации во время контроля. Данные кластерного анализа, представленные в программе графически, свидетельствуют не только о наличии большого количества рассеянных повреждений, но и

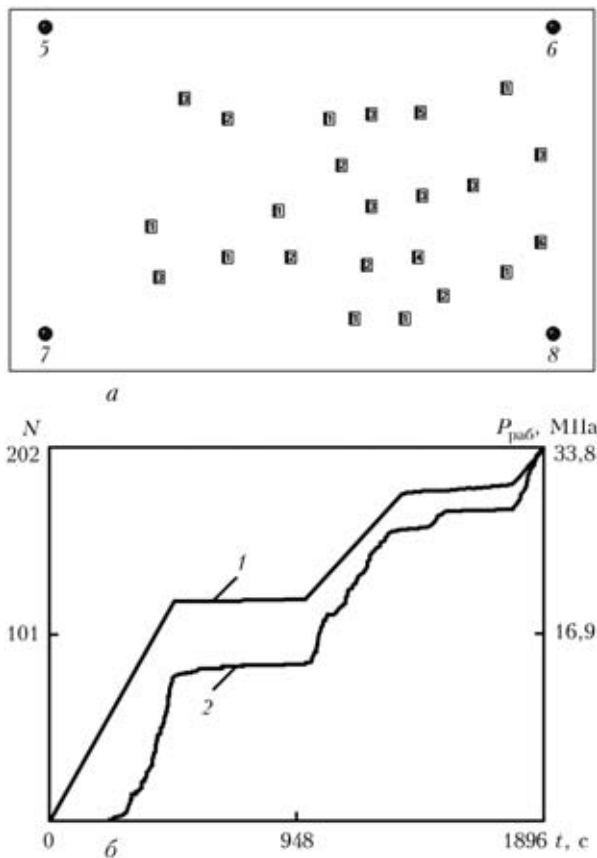


Рис. 5. Результаты испытания барабана котла А (антенна № 2): а — локализация событий АЭ после проведения кластерного анализа данных (\square — кластеры с указанием количества событий АЭ; \bullet — расположение датчиков № 5–8); б — кривые нагрузки $P_{\text{раб}}$ (1) и накопления событий N АЭ (2) в процессе проведения испытаний

об отсутствии дефектов, развивающихся критическим образом.

Графики программы ЕМА-3 (рис. 5) показывают изменение количества N событий АЭ и $P_{\text{раб}}$ в зависимости от времени от начала испытания до его завершения. Как видно из рисунка, в процессе испытания были две выдержки с последующим подъемом давления.

При испытании зафиксирован достаточно высокий уровень шума, который повышается вместе с нагрузкой, что свидетельствует о наличии рассеянных повреждений в материале барабана котла [3].

Учитывая обнаруженные места акустической активности [4], следует рассматривать возможность повреждения материала барабана котла в результате не нарушения условия прочности, а образования локальных трещин.

Во время испытаний барабана котла В зафиксировано общее количество событий АЭ, которое намного меньше, чем во время испытаний барабана котла А. Важным существенным отличием данного испытания является то, что уровень шума на протяжении всего времени нагружения был практически неизменным. В целом материал ба-

рабана котла В является менее поврежденным, чем барабан котла А. При двух последних выдержках сигналы АЭ вообще отсутствуют в отличие от результатов испытания барабана котла А.

По прочностным характеристикам материал удовлетворяет необходимым эксплуатационным требованиям. Однако наличие рассеянных по материалу поверхности источников АЭ требует учитывать возможность постепенного повреждения материала барабана котла в результате локализации дефектов и образования микротрещин.

Для дальнейшей эксплуатации барабана котла А по результатам испытаний выданы следующие рекомендации:

провести дополнительный УЗК поверхности барабана котла А в местах возникновения акустической активности, используя данные кластеров;

решение относительно режимов и сроков дальнейшей эксплуатации барабана котла А принимать после проведения дополнительного УЗК.

Лаборатория технической диагностики ООО «Николаевский глиноземный завод» провела УЗК, в результате которого в стенке котла А обнаружены дефекты типа раковин и микротрещин, соответствующие по расположению кластерам 2 и 3 антенны № 1 и кластерам 3, 7, 10, 12 антенны № 2. Сотрудниками лаборатории выполнена оценка опасности дефектов в соответствии с нормативной документацией предприятия. Обнаруженные дефекты по своим характеристикам отнесены к допустимым для данного типа изделий при штатных условиях эксплуатации. Принято решение проводить контроль объекта методом АЭ с периодичностью 1 раз в 6 мес.

Относительно дальнейшей эксплуатации барабана котла В выданы следующие рекомендации: провести повторный АЭ контроль поверхности барабана котла В и дополнительный контроль поверхности барабана котла В через 6 мес.;

решение относительно режимов и сроков дальнейшей эксплуатации барабана котла В принимать после проведения повторного АЭ контроля.

В соответствии с указанными рекомендациями лаборатория технической диагностики ООО «Николаевский глиноземный завод» провела повторный контроль барабана котла В, а через 6 мес. — еще один дополнительный контроль. С учетом аналогичной картины при испытаниях и отсутствием ухудшений его состояния через 6 мес. лабораторией принято решение продлить эксплуатацию барабана котла В в рабочем режиме и осуществлять АЭ контроль через каждые 6 мес.

Таким образом, при выполнении контроля, не требующего демонтажа и других серьезных затрат, срок эксплуатации барабанов котлов А и В продлен. Контроль охватывал 100 % объема материала поверхности барабанов и занял около 2 ч вместе с установкой измерительного прибора и

развертыванием системы. В результате испытаний получена вся необходимая для принятия решения о состоянии котлов информация, на основании которой можно говорить о серьезных преимуществах данной методики АЭ контроля промышленных объектов.

Выводы

1. Выполнена доработка разрабатываемых приборов АЭ контроля. Внесены изменения в протокол обмена, разработаны программные интерфейсы для хранения и передачи данных. Расширены возможности обработки данных и в первую очередь частотный анализ и фильтрация.

2. Проведен анализ различных методов вычисления координат источников АЭ. Оценен уровень погрешности при применении указанных методов. Выбран метод прямого поиска, который дает наименьшую погрешность. Разработан метод оценки погрешностей расчета координат источников АЭ с использованием цветной схемы.

3. Приборы АЭ протестированы при испытаниях некоторых реальных промышленных объектов, проверена их работоспособность при долговременном режиме работы. Определено, что приборы могут быть в перспективе применены в качестве подвижных систем АЭ с небольшим количеством каналов.

1. Недосека С. А., Недосека А. Я. Диагностические системы семейства «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры (Обзор) // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2005. — № 3. — С. 20–26.
2. ДСТУ 4223–2003. Котли, посудини під тиском і трубопроводи. Технічне діагностування. Загальні вимоги / І. Волошкевич, Е. Гарф, А. Грузд та ін. — Чинний з 12.01.2003.
3. Недосека А. Я. Об оценке состояния материала сварных конструкций // Сварка и родственные технологии: мировой опыт и достижения: Сб. пленар. докл. II Междунар. симпоз., г. Минск, 28 марта 2001 г. — Минск, 2004. — С. 33–39.
4. Определение координат развивающихся дефектов на цилиндрических поверхностях / А. Я. Недосека, М. А. Яременко, М. А. Овсиенко, Л.Ф. Харченко // Там же. — 2006. — № 1. — С. 11–13.

The paper presents materials of testing and investigation of performance of instrumentation for acoustic emission and diagnostics of the new generation, as well as results of introduction of updated software for the above instrumentation, which offers new technological capabilities for its practical application

Поступила в редакцию 18.02.2010

Вышел в свет очередной выпуск журнала Weld+vision № 24 (2010 г.) на русском языке (издатель — «Фрониус Украина»)

Содержание

От редактора

Как сталь формирует нашу жизнь

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

TransSteel уже применяется с роботами и в судостроении

Contec — революционная инновация

Виртуальная сварка: сварка на компьютере

Кратко и по существу

Новости от «Fronius»

Инновации

Новый дуговой процесс со струйным переносом металла

для высокоэффективной сварки

Практические примеры

Качество «Fronius» с пакетом Steel Transfer Technology®

О фирме

«Fronius» продолжает расти

Информация для путешественников

Джаз, блюз и сварка в Атланте



Бесплатную подписку можно оформить
в редакции журнала «Автоматическая сварка»