



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ

Е. И. АНТИПЕНКО, Н. Г. ВИСИЛОВСКИЙ, М. Б. КЕЛЬРИХ

Рассмотрены вопросы использования метода акустической эмиссии (АЭ) при техническом диагностировании объектов, отслуживших нормативный срок эксплуатации. Приведен перечень нормативной документации, регламентирующей применение этого метода. Показана картина предразрушающего состояния объекта при его нагружении. Дана критериальная оценка выявленных дефектов. Рассмотрено практическое применение метода АЭ для оценки состояния резервуаров вертикальных, стальных, имеющих дефекты днища (коррозионные поражения, сквозные трещины и т. п.).

Considered are the issues of using the method of acoustic emission (AE) in technical diagnostics of objects, the design life of which is over. A list of standards is given, which specify the application of this method. The pattern of pre-failure condition of an object under load is shown. Criterial assessment of the revealed defects is given. Practical application of AE method is considered for evaluation of the condition vertical steel tanks, which have bottom defects (corrosion attack, through-thickness cracks, etc.).

Предразрушающее состояние и разрушение материалов сопровождается акустическим излучением, возникающим при быстром освобождении упругой энергии, запасенной кристаллической решеткой, или разрушением межатомных связей. Частотный диапазон акустического излучения занимает полосу от нескольких герц до нескольких мегагерц.

Несмотря на столь раннее открытие явления акустического излучения, изучение его природы успешно завершилось лишь в прошлом столетии. Толчком в практическом применении послужило создание персонального компьютера. Возможности этого метода по сравнению с традиционными методами неразрушающего контроля (НК) оказались очень большими. С помощью указанного метода, используя показания нескольких преобразователей, закрепленных на поверхности объекта, можно получить интегральную оценку технического состояния по наличию развивающихся дефектов металла и сварных швов областей, охваченных преобразователями. При этом определяются координаты участка и степень опасности источника акустического излучения. Специалисты быстро оценили преимущества данного метода при выполнении технического диагностирования по сравнению с традиционными методами НК.

В Украине работы в области диагностирования с использованием метода АЭ сосредоточены в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, где работает координационный совет, помогающий организациям в работе по этому направлению. Многолетняя научная деятельность и практический опыт в области АЭ контроля позволили научно обосновать и использовать в промышленности АЭ технологии, позволяющие прогнозировать разрушающую нагрузку в реальном времени. При непосредственном участии научных сотрудников института с привлечением специалистов из регионов осуществляется разработка норматив-

ной документации, проводятся семинары, с 1989 г. издается журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль».

В настоящее время в Украине разработаны специалистами и утверждены Госнадзором труда Украины следующие документы.

1.1. ДНАОП 0.00-1.07.94 «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Пункт 4.6.19 обявляє використовувати АЕ при заміні гідравлічного випробування пневматичним.

1.2. ДНАОП 0.00-6.05-97 «Методика оцінки технічного стану безпеки обладнання і трубопроводів, що працюють в середовищі хлора». В пункті 3.3.11 передбачено випробування обладнання на міцність з використанням методу АЕ.

1.3. РД 30277055.001-2000 «Железнодорожные вагоны-цистерны. Методика технического диагностирования котла для определения остаточного ресурса и возможности продления сроков службы».

1.4. Р 50.01-01 «Рекомендації щодо акустико-емісійного контролю об'єктів підвищеної небезпеки».

1.5. ДСТУ 4046-2001 «Оборудование технологического нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Техническое диагностирование. Общие технические требования». Пункты 2.5.3 и 5.3.1 предусматривают и регламентируют применение метода АЭ.

1.6. РД 001.01-95 «Методические указания по оценке технического состояния мостовых, козловых и специальных кранов». Пункт 4.3.4 предусматривает возможность использования метода АЭ для оценки технического состояния металлоконструкций.

Классификация источников сигналов АЭ (дефектных мест) осуществляется по ГОСТ 27655-88, пункт 4.4 которого дает четыре критерия оценки по параметру классификации «n»: отсутствие сиг-



налов АЭ — 1 класс; активный источник АЭ, $n \leq 1 - 2$ класс; критически активный источник АЭ, $1 \leq n \leq 6 - 3$ класс; катастрофически активный источник, $n = 6 - 4$ класс.

На рис. 1 квадратиками показаны значения показателя $n > 8$ (4-й класс — катастрофически активный источник) (левая ордината) в зависимости от нагрузки (правая ордината $P = 0,5$ МПа) и времени.

Следует отметить, что в современных многоканальных АЭ комплексах на программном уровне решен вопрос критериальной оценки выявленных активных дефектов по нескольким критериям, определяемым по параметрам АЭ сигналов и результатам нагружения.

Вопрос критериальной оценки опасности дефекта по активности АЭ также представлен в Р 50.01-01.

Из сказанного выше следует, что приборы, основанные на применении метода АЭ, позволяют регистрировать именно активные дефекты, относящиеся к числу наиболее опасных, что отличает их от традиционных методов НК. Естественно, для активации дефектов требуется нагружение объекта.

Если выявленный дефект не активный при нагружении объекта, т. е. силовое поле нагрузки недостаточно для его развития, то можно предположить, что он появился еще на этапе производства (неплотности литья, трещины после сварки, термообработки и т. п.). Таким образом, в основу критериальной оценки состояния объектов с помощью АЭ может быть положена классификация источников сигналов по параметрам сигналов АЭ и нагрузки объекта.

Эффективность технического диагностирования с использованием АЭ метода доказана практическими работами ООО «Сереп», Мариуполь, на объектах повышенной опасности в России, Казахстане, Узбекистане, Украине [1-9]. Специалисты ООО «Сереп» используют два АЭ-комплекса — Aline32D, имеющих шестнадцать и двенадцать каналов, что обеспечивает возможность выполнения технического диагностирования металлоконструкций любой протяженности и формы (перегрузателей производительностью 7000 т/ч, мостовых кранов, железнодорожных цистерн, объектов нефтехимии сферических и цилиндрических, газгольдеров, резервуаров вертикальных стальных, трубопроводов и др.). При необходимости используется УЗ контроль, цветная дефектоскопия, измерение твердости, вихретоковый метод, визуальный-измерительный контроль и другие методы.

Совместно с учеными Киевского университета экономики и технологий транспорта (КУЭТТ) специалисты ООО «Сереп» завершают исследования по техническому диагностированию методом АЭ литья (надресорных балок и боковых рам) тележек железнодорожных вагонов, что недоступно для УЗ контроля. Для выполнения работ предприятие располагает штатом специалистов II и III уровней по различным методам контроля, аттестованных в Украине, а также специалистов по АЭ методу III и II уровней, прошедших серти-

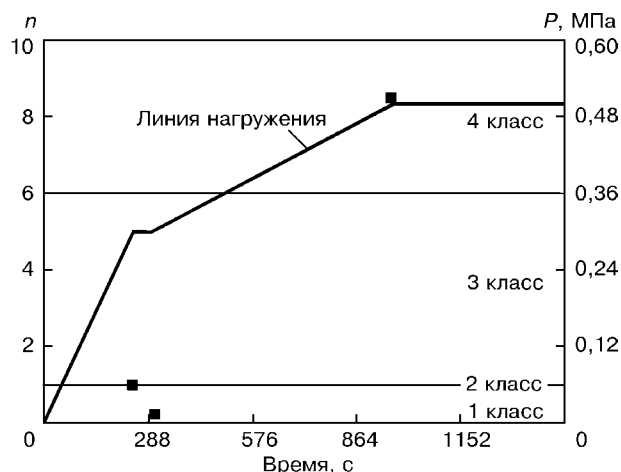


Рис. 1. Локально-динамический критерий показателя n

фикацию компетентности в соответствии с требованиями европейских стандартов EN.

Успешно используются в работах по техническому диагностированию в Мариуполе ИЦ «Азов-маштест» ОАО «Азов» 8-канальный АЭ комплекс Aline32D; НППЦ «Инженер» ОАО «МК Азовсталь» 8-канальный компьютеризованный комплекс на базе АФ-44.

Следует отметить, что работы по подготовке специалистов по АЭ методу по трехуровневой аттестации, развернутые в 2003 г. в Украине, не завершены, т. е. подготовленные по данному методу специалисты не аттестованы в соответствии с EN 473.

Современные тенденции использования оборудования до предела его возможностей предъявляют повышенные требования к техническому диагностированию и точности прогнозирования остаточного ресурса.

Традиционные методы НК, разработанные для контроля процесса производства, были автоматически включены в нормативную документацию (НД) по техническому диагностированию. При этом разработчиками НД не принято во внимание неконтролепригодность отслуживших нормативный срок объектов (толстый слой краски, грязь, теплоизоляция, теневая защита, ремонтные ламели, усиливающие накладки и т. п.). Таким образом, для проведения контроля традиционными методами НК необходимо выполнить значительный объем работ по очистке от грязи, зачистке металла от краски, демонтаж теплоизоляции, ремонтных ламелей и т. п.

Быстрое развитие механики разрушения открыло возможность прогнозирования остаточного ресурса. Были разработаны методики [1], однако они требовали точных данных по механическим характеристикам металла, количеству наработанных циклов, уровню остаточных напряжений, а также характеристик дефекта, его размеров, формы и ориентировки к силовому полю нагрузки. Их истинность определяет точность прогноза. Так как перечисленных характеристик дефекта традиционные методы НК не могли обеспечить, методика не работает и по сей день, сохранились только записи в НД, где упоминается термин «прогнозирование остаточного ресурса».



Рис. 2. Установка ПАЭ на цистерну через вырезанные окна в обшивке теплоизоляции

Согласно статистическим данным, представленным американскими специалистами, усталостные повреждения материалов вызывают 80 % отказов техники, работающей в жестких условиях эксплуатации. Накопление усталостных повреждений происходит на микроуровне, недоступном для традиционных методов НК. Для решения этого вопроса необходимо увеличить чувствительность современного УЗ дефектоскопа примерно на два порядка по сравнению с его предельными возможностями.

Таким образом, информация, получаемая традиционными методами НК, недостаточна для оценки состояния объекта с дефектами [3] и определения остаточного ресурса.

Метод АЭ, обладая интегральными свойствами, не требует выполнения большого объема трудоемких работ по зачистке поверхности объекта. Нет необходимости демонтажа теплоизоляции, для преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), достаточно вырезать в обшивке окна для их размещения (рис. 2).

Программное обеспечение современных АЭ комплексов позволяет реализовать следующие виды локации: линейную; зонную; объемную; на плоскости.

Контроль объектов сложной формы осуществляется «по развертке их поверхности». Выбор количества ПАЭ регламентируется размерами объекта, его конструктивными особенностями и затуханием УЗ в металле. Процедура определения затухания и скорости распространения должна проводиться на заполненной нагружаемой средой (водой, газом, маслом и т. п.) объекте. Указанные параметры обеспечивают точность определения координат и критериальную оценку источника АЭ.

На рис. 3 приведена развертка железнодорожной цистерны с шестью ПАЭ. В работе по лоцированию источников сигналов АЭ используется треугольная антенна, т. е. вся лоцируемая поверхность (развертка) разбивается на треугольники с расположенными в вершинах ПАЭ (01-04-02): (02-04-05) и т. д.

Визуальным контролем внутренней поверхности котла подтверждено наличие лоцированного источника коррозионного поражения металла днища.

В процессе выполнения технического диагностирования возникает необходимость определения предразрушающего состояния, которое характеризуется экспоненциальным ростом параметров сигналов АЭ (интенсивности, накоплении событий,

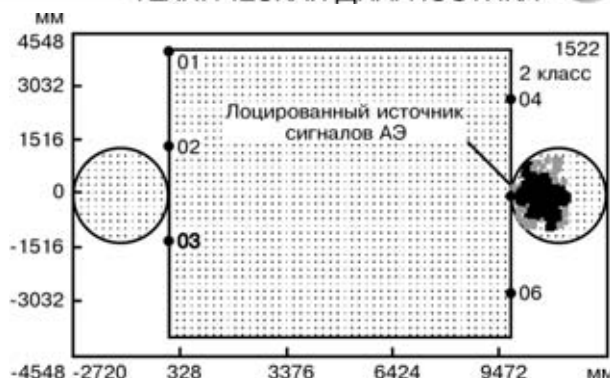


Рис. 3. Развертка железнодорожной цистерны с шестью ПАЭ и активным источником сигнала АЭ 2 класса

энергии, длительности импульсов и других данных) при увеличении нагрузки (рис. 4). Интенсивность (левая ордината) увеличивается на порядок при достижении давления $P = 0,5$ МПа (правая ордината). Прекращение нагружения объекта (выдержка) не приводит к уменьшению параметров АЭ и только сброс давления предотвращает разрушение объекта.

Многопараметровость сигналов АЭ и их высокая информативность свидетельствуют об уникальных свойствах метода АЭ. Возможности наложения на параметры АЭ сигналов нагружения (см. рис. 4) позволяют оценивать динамику параметров сигналов АЭ в зависимости от уровня нагрузки, что при определенных условиях обеспечивает оценку остаточного ресурса.

Весьма актуальной является проблема загрязнения окружающей среды. Часто в колодцы, расположенные у кромки реки, попадают различные нефтепродукты, истекающие из резервуаров, установленных на берегу. Загрязнения нефтепродуктами р. Южный Буг, а также появление в подземных водах Украины химических веществ свидетельствует о том, что в Украине эта проблема актуальна.

Нельзя сказать, что эта проблема обойдена вниманием. Разработаны методики, предусматривающие определение вертикальности стенок цилиндрической части, УЗ сварных швов и т. п. Однако они не решают вопросы контроля целостности и герметичности днищ, которые повреждаются чаще всего. Проблема еще более усугубляется в случае

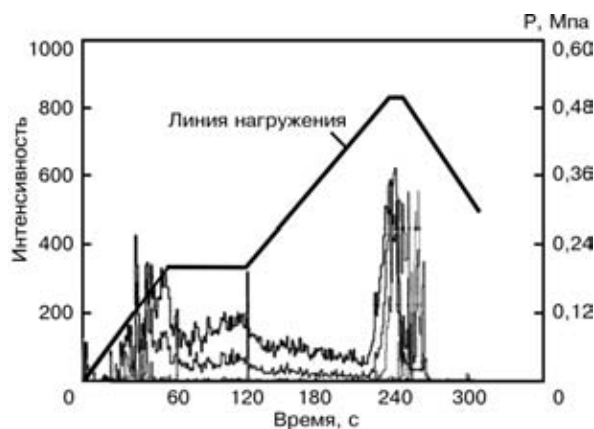


Рис. 4. Экспоненциальное возрастание параметра АЭ интенсивности, вызванное предразрушающим состоянием объекта

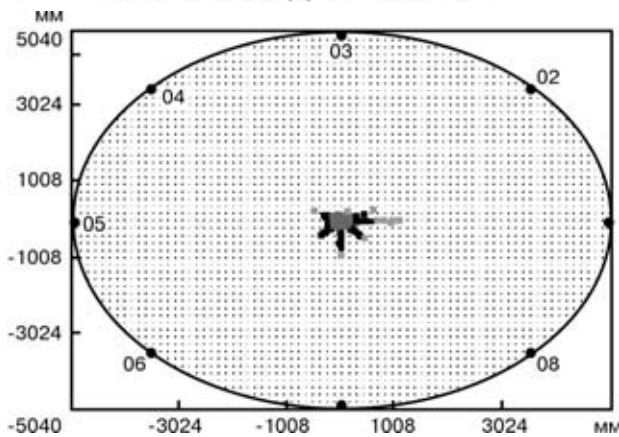


Рис. 5. Фрагмент коррозионного поражения днища РВС

потери устойчивости конического днища, так как в образовавшихся разломах остаток продукта трудноудаляем, что делает объект неконтролепригодным. Таким образом, вывод из эксплуатации и очистка резервуара перед обследованием требуют значительных финансовых затрат.

Метод АЭ позволяет оценить техническое состояние днищ резервуара без вывода их из эксплуатации. Открывается возможность сортировки резервуаров, днища которых требуют ремонта, замены или продолжения безопасной эксплуатации.

Техническое диагностирование осуществляется многоканальным АЭ комплексом с помощью закрепленных на стенках резервуара ПАЭ, которые регистрируют акустические сигналы, вызванные коррозионным поражением или протечками продукта. Полученные результаты позволяют определять местоположение дефектного участка, а по параметрам сигналов классифицировать состояние днища (рис. 5).

Заканчивая рассмотрение эффективности АЭ метода, нельзя обойти очень важный вопрос технического диагностирования в части определения остаточного ресурса, предусмотренного нормативной документацией Украины.

Критериальный прогноз по толщине стенки может привести к большему расчетному остаточному ресурсу по отношению к ресурсу, заложенному конструктором (с учетом добавки на коррозионное поражение и принятие толщины по ГОСТ).

Ограниченное число данных при использовании расчета по предельному состоянию также не обеспечивают оценки реального остаточного ресурса.

Остаточный ресурс металлоконструкции с дефектом определяется точностью используемых в расчете данных по механическим характеристикам, эксплуатационным данным объекта и размеру, форме и ориентировке дефекта к силовому полю нагрузки, которую традиционные методы НК на данном этапе не могут обеспечить. Метод АЭ в отличие от традиционных методов НК позволяет подтвердить ресурс прочности при нагружении объекта испытательной нагрузкой, а также выявить его предвещающее состояние и указать координаты развивающихся дефектов.

Техническое диагностирование, например, закрытого трубопровода можно осуществить путем извлечения из траншеи с последующим контролем традиционными методами НК, ремонтом и при необходимости закрытием. Однако есть более простой — рытье шурфов на трассе с определенным интервалом и установкой на открытых местах трубопровода ПАЭ и с помощью АЭ комплекса, используя линейную локацию, определить поврежденный участок.

Акустическая эмиссия, как показал мировой опыт, не имеет альтернативы по интегральной оценке технического состояния металла и сварных швов без разборки, при подводном и наземном залегании объектов, отслуживших назначенный срок эксплуатации. Дистанционность, выявление развивающихся дефектов, а также оперативность оценки состояния объекта ставят его вне конкуренции.

1. *Правила* определения предельных безопасных размеров несплошностей в сварных соединениях. — М.: Издание МГТУ им. Баумана, 1989.
2. *МР 204-86*. Применение метода акустической эмиссии для контроля сосудов, работающих под давлением.
3. *Иванов В. И.* Развитие акустико-эмиссионных методов и средств технической диагностики корпусных объектов на основе изучения процессов формирования сигналов при деформации и разрушении металлов / Автореф. дис. на соискание уч. степени доктора технических наук. — М. 1990. — С. 2–5.
4. *Розина М. В.* Определение ранней стадии предразрушения при усталости металла / В мире неразруш. контроля. — 2000. — 9, № 3. — С. 40.
5. *Р 50.01-01*. Рекомендації щодо акустико-емісійного контролю об'єктів підвищеної небезпеки.
6. *ДСТУ У223-2003*. Котли, посудини під тиском і трубопроводи. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги.
7. *ДСТУ 4227-2003*. Наставови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки.
8. *Недосека А. Я.* Основы расчета и диагностики сварных конструкций. — Киев, Индипром, 2001. — С. 815.