

Применение метода акустической эмиссии для диагностики промышленного оборудования

Шемякин В.В. – ООО "ДИАПАК", г. Москва

Среди большого разнообразия акустических методов неразрушающего контроля, применяемых на промышленных объектах, есть ряд направлений, использование которых вызывает вопросы, а отсутствие необходимой информации препятствует эффективному их применению. К ним относится метод акустической эмиссии с его многочисленными приложениями. В данной статье сделана попытка прояснить некоторые аспекты применения акустико-эмиссионного метода на оборудовании НПЗ.

1. Акустическая эмиссия при управляемом нагружении

АЭ метод используется для глобального контроля конструкции с целью выявления и локации развивающихся, т.е. наиболее опасных дефектов. В большинстве случаев для стимуляции проявления дефектов используется избыточное нагружение с превышением на 5% - 10% максимальной нагрузки, достигнутой за последний год работы. При этом нагрузка может быть меньше, чем та, которая используется при прочностных испытаниях конструкции. Используется тот феномен, что развивающиеся дефекты работают как концентраторы напряжений и при незначительном нагружении всей конструкции локальные напряжения в местах расположения дефектов достигают таких величин, которые позволяют включиться механизмам генерации АЭ, таким как пластическая деформация или проскоки трещины.

График нагружения конструкции представляет собой линейно возрастающую прямую с выдержками и сбросами. Наличие акустической эмиссии в процессе увеличения нагрузки обычное явление, наблюдаемое и при испытаниях конструкций, в которых отсутствуют опасные дефекты. Источником АЭ служат локальные процессы релаксации напряжений и другие явления. Наличие эмиссии на выдержках, в период, когда нагрузка постоянна, может вызываться проскоками трещин или увеличением пластической зоны в ее вершине. Периодические сбросы и повышения нагрузки необходимы для проверки так называемого эффекта Кайзера, который заключается в том, что в "бездефектной" конструкции во время повторного нагружения АЭ появляется точно в момент превышения значения предыдущей нагрузки. Если эмиссия появляется раньше, то это может свидетельствовать о проблемах. Регистрация АЭ на спадах и подъемах нагрузки может помочь, также, выявить эффект раскрытия и закрытия трещины. Этот эффект чаще проявляется в толсто-стенных конструкциях, а источником эмиссии, как правило, является процесс разрушения продуктов коррозии, присутствующих в дефекте и трение берегов трещины.

Из сказанного ясно, что выполнение графика нагружения является очень важным моментом в процессе проведения АЭ контроля. Отклонение от графика может сильно снизить эффективность контроля или даже свести ее к нулю. Также важно регистрировать величину нагрузки с помощью автоматических средств, предусмотренных в составе современных систем. Для получения электрического сигнала, пропорционального величине нагрузки, можно использовать приборы типа "Сапфир", устанавливаемые в цепь нагружения рядом или вместо манометра и преобразующие величину нагрузки в электрический сигнал. Регистрация нагрузки вручную по показаниям манометра или уровнемера с последующим вводом данных в рабочий файл может применяться только при очень медленных нагружениях, например, при взливе резервуаров.

Применение АЭ указанным образом регламентировано ПБ 03-593-03. АЭ контроль проводится, как правило, после вывода оборудования из эксплуатации в конце или начале ППР. Важным преимуществом в этом случае является отсутствие рабочих шумов, что позволяет сильно увеличить чувствительность АЭ системы.

Иногда, очень эффективным оказывается АЭ контроль во время расхолаживания установки. В этом случае большие локальные напряжения в местах расположения дефектов возникают за счет градиента температуры.

Для проведения контроля используются многоканальные системы. На рис. 1 приведены варианты универсальных систем фирмы PAC (Physical Acoustics Corporation), базирующихся на 3-х видах плат: PCI-8, PCI-DSP4 и PCI-2. Каждая из указанных плат представляет собой законченную систему, готовую к использованию при размещении в компьютере и установке специализированного программного обеспечения AEwin, которое служит для сбора и обработки АЭ данных. Для специализированного анализа может использоваться программа NOESIS, обладающая дополнительными возможностями математической обработки данных, таких как кластерный анализ и распознавание образов.

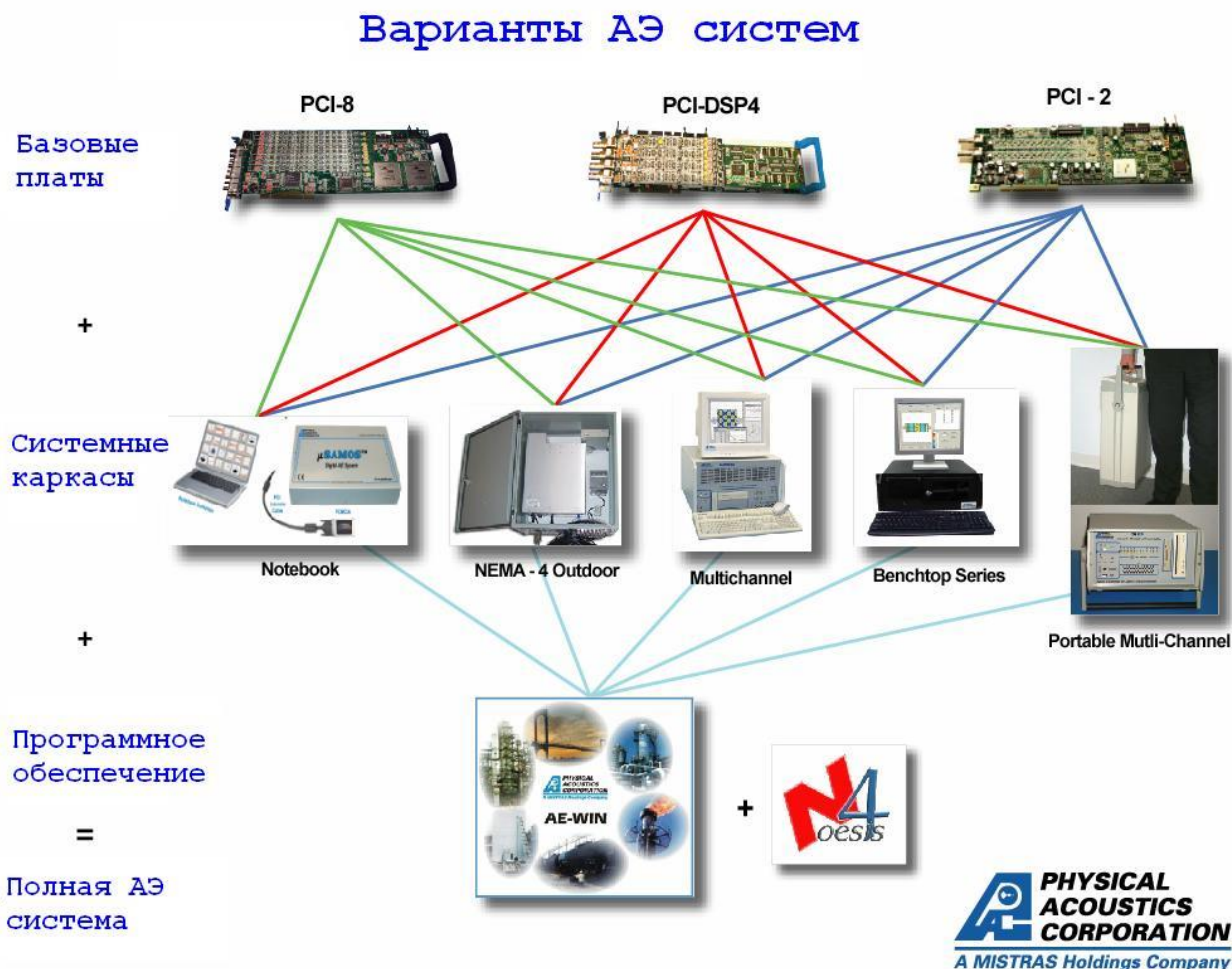


Рис. 1. Принцип построения АЭ систем фирмы PAC.

На предприятии изготовителе указанные платы устанавливаются в специальные каркасы, предназначенные для промышленного применения и имеющие встроенные компьютеры. Большое разнообразие АЭ преобразователей обеспечивает возможность применения АЭ приборов как в промышленных условиях, так и в лабораториях для проведения исследований.

2. АЭ контроль ранее обнаруженных дефектов на работающей конструкции

В последнее время все чаще и чаще АЭ метод применяется в процессе эксплуатации конструкции для наблюдения за ранее обнаруженными дефектами. Иногда это позволяет довести работающую конструкцию до момента плановой остановки, экономя на потерях, вызванных преждевременным выводом из эксплуатации. В некоторых случаях, когда ремонт невозможен или нерентабелен и нет готовой замены, эксплуатация дефектной конструкции дает время на ее изготовление и приобретение. Схема контроля приведена на рис. 2.

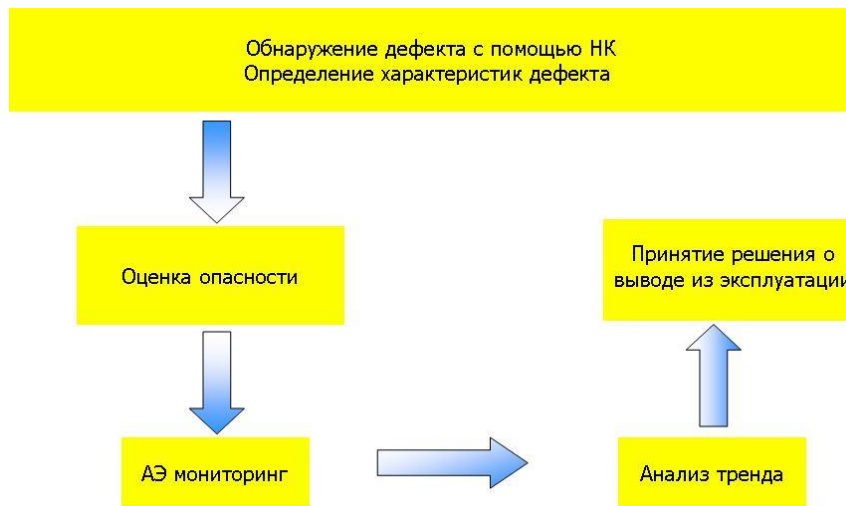


Рис. 2. Схема мониторинга обнаруженного дефекта.

После обнаружения дефекта и измерения его характеристик проводится оценка его опасности [1]. Схема оценки показана на рис. 3.

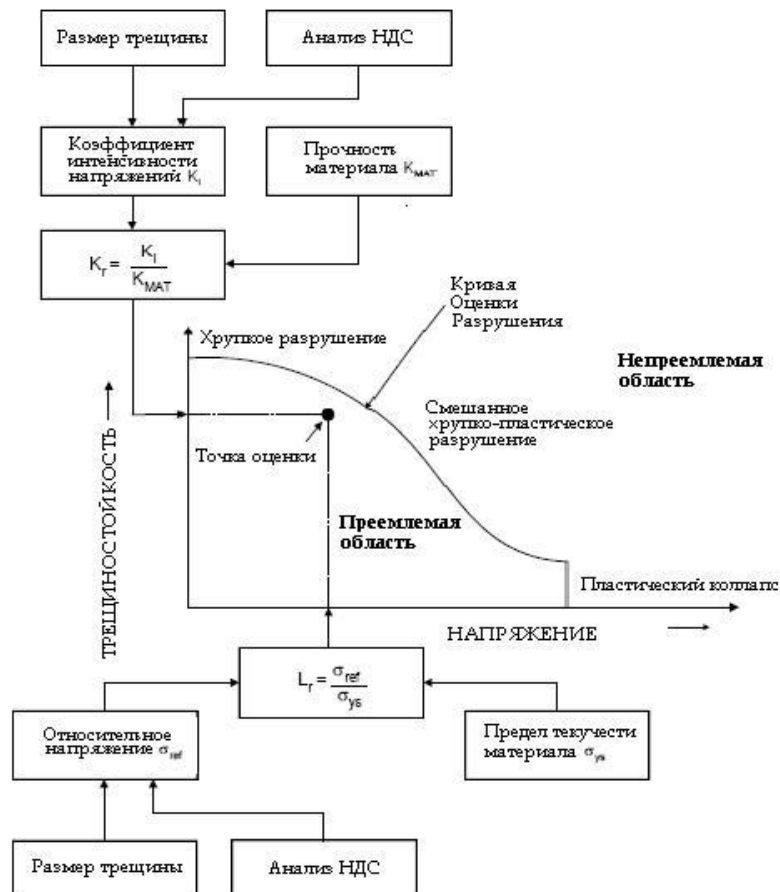


Рис. 3. Схема оценки опасности дефекта.

Геометрические параметры дефекта дают возможность оценить коэффициент интенсивности напряжения K_I , который с учетом напряженно деформированного состояния дефектной области позволяет определить текущее положение дефекта относительно кривой оценки разрушения. При попадании текущей оценки в допустимую область конструкция может эксплуатироваться, т.к. дефект не достиг своего критического состояния. Локальный АЭ мониторинг позволяет определить факт роста дефекта во время работы конструкции. Анализ тренда поведения АЭ дает возможность сделать вывод о темпах роста дефекта и изменения его положения относительно кривой допустимости.

Преимуществом такого подхода является возможность размещения АЭ приемников в непосредственной близости от дефекта, что, даже при наличии рабочих шумов, позволяет путем выбора оптимально частотного диапазона настроить систему для надежной регистрации АЭ от дефекта.

На рис. 4 показан пример наблюдения за трещиной в сварном шве патрубка установки, работающей при высокой температуре. АЭ приемник расположен на волноводе, приваренном к материалу патрубка.



Рис. 4. Слежение за ростом дефекта в шве патрубка.

3. АЭ мониторинг оборудования

В последнее время видна тенденция перехода предприятий на 3-х и 4-х летний цикл обслуживания установок. В этой ситуации в качестве компенсирующей меры начинает использоваться АЭ мониторинг, как единственный метод, позволяющий обнаруживать дефекты и следить за их развитием в реальном времени. В большинстве случаев, когда предполагается установка системы АЭ мониторинга, заранее неизвестно наличие дефектов и мест их расположения. В таких ситуациях перед принятием решения об установке системы, необходимо сделать оценку ее эффективности. Некоторые соображения по этому поводу приведены в статье [2]. Суть их сводится к тому, что необходимо провести некоторые предварительные измерения и оценки. Этапы предварительных работ перечислены ниже:

1. Оценка механизмов разрушения и их проявления в виде АЭ;
2. Проведение прочностных расчетов и определение мест наиболее вероятного расположения дефектов;
3. Измерение уровня шумов установки в процессе эксплуатации;
4. Определение акустических свойств объекта, влияющих на распространение АЭ;
5. Выбор алгоритмов выделения полезной информации и критериев оценки состояния оборудования;
6. Оценка количества каналов и характеристик системы мониторинга.

Оценка механизмов разрушения в том, или ином случае, дает возможность специалистам по АЭ понять на какие типы источников должна быть настроена система и иногда предварительно дает возможность судить об эффективности системы мониторинга. Важность оценки механизма разрушения при анализе эффективности применения АЭ мониторинга, можно показать на двух граничных примерах. Контролировать стеклянное изделие с помощью АЭ бесполезно, несмотря на то, что при хрупком разрушении генерируется

эмиссия большой амплитуды, поскольку разрушение происходит сразу и предотвратить его невозможно, даже зарегистрировав АЭ. В другом примере, при пластической деформации, которая может возникнуть, например, в трубах острого пара на теплостанциях, акустической эмиссии много, но амплитуда ее очень мала, и зарегистрировать ее можно датчиками, расположенными очень близко от источника. В этом случае потребуется много датчиков и система АЭ мониторинга может оказаться неэффективной из-за своей дороговизны. Механизмы разрушения, зависящие от многих факторов таких, как материал, рабочая и внешняя среда, температура, нагрузка, условия эксплуатации и т.д., хорошо изложены в документе [3].

Трудно представить себе конструкцию, в которой дефекты могли бы проявиться в любом месте с одинаковой вероятностью. На практике всегда можно определить места с наибольшими локальными напряжениями, места подверженные нежелательному воздействию среды, или области, в которых возникновение повреждений наиболее вероятно. Такая информация может позволить значительно сократить количество датчиков системы мониторинга и тем самым уменьшить ее стоимость.

Предварительное измерение уровня шумов при всех режимах работы конструкции также имеет большое значение, поскольку может оказать влияние на число каналов. Чем выше уровень шумов, тем более высокочастотные датчики придется использовать и тем большее их количество необходимо для контроля определенного участка установки.

То же относится и к измерениям акустических характеристик конструкции, поскольку они влияют на распространение волн напряжения (АЭ) и, в конечном итоге, на тип и количество АЭ приемников.

Используемые алгоритмы обработки и анализа постоянно накапливаемых данных отвечают за эффективность решения главной задачи мониторинга – своевременного обнаружения развивающихся дефектов. Недостатки в этой части системы могут привести к катастрофическим последствиям, а также, значительным экономическим потерям в случае остановок оборудования в результате ложных тревог. Схема функционирования системы АЭ мониторинга показана на рис. 5.



Рис. 5. Схема функционирования системы мониторинга.

На рис. 6 показан пример установки датчиков на химическом реакторе, работающем в условиях высокой температуры. 65 датчиков установлены на волноводы, приваренные к корпусу реактора. Применение волноводов позволяет использовать более дешевые и более чувствительные низкотемпературные датчики, а также, обычную смазку для обеспечения акустического контакта, вместо более дорогой и менее надежной высокотемпературной смазки. Кроме того, более удобным становится доступ к датчикам, что обеспечивает быструю их замену при выходе из строя. Волновод обычно приваривается к корпусу установки, что приводит к потере чувствительности канала не более чем на 6 дБ или в 2 раза. Локальные напряжения, возникающие в момент приварки, релаксируют в период разогрева при пуске установки. Продольный вырез в теплоизоляции в месте установки волноводов необходим для компенсации теплового расширения конструкции при разогреве.

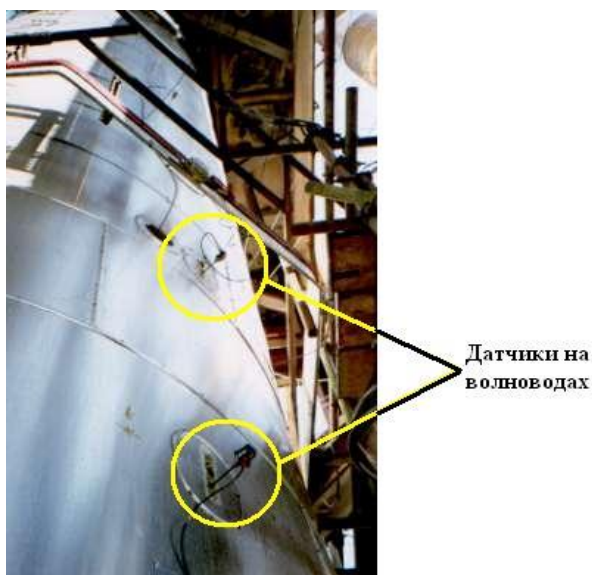


Рис. 6. Датчики на волноводах, контролирующие реакторную установку.

Одним из значительных преимуществ современных систем мониторинга является возможность постоянного привлечения высококвалифицированных специалистов к анализу информации и принятию решения. Это достигается с помощью средств Интернета. Программное обеспечение системы мониторинга позволяет автоматически передавать накапливаемые данные по любому адресу нахождения специалистов. Эксперты имеют возможность анализировать данные не выходя из собственного офиса. Результаты анализа в виде графиков, таблиц или отчетов размещаются на сайте, доступ к которому с помощью пароля имеет технический персонал и руководство предприятия, эксплуатирующего установку.

На рис. 7 показаны системы АЭ мониторинга Sensor Highway II и 160-канальная система фирмы PAC. Системы имеют специализированное исполнение, позволяющее обеспечить надежную работу при любых неблагоприятных внешних условиях. Система SAMOS имеет радиальную структуру, т.е. все каналы с помощью кабельных линий подключены к системе, расположенной в одном месте - в операторной или на улице, если система обслуживается через Интернет.

В системе Sensor Highway II датчики, установленные на объекте, подключены к узловым станциям (до 16 каналов), а узловые станции соединены между собой и центральным компьютером с помощью сети. Узловые станции позволяют подключать до 16 каналов с датчиками АЭ или/и акселерометры для контроля вибрации. Кроме этого станции обладают широким набором интерфейсов, позволяющих подключать дополнительно аналоговые датчики и цифровые линии.



Рис. 7. Системы АЭ мониторинга фирмы PAC.

При проектировании системы мониторинга следует учитывать следующие возможные проблемы:

1. Возможность развития дефектов по неучтенному механизму;
2. Высокий уровень шумов в периоды наиболее вероятного проявления дефектов;
3. Пропуск сигналов АЭ в моменты регистрации шума;
4. Невозможность точной локации дефектов при неправильном выборе типа датчиков;
5. Пропуск дефектов при неэффективных алгоритмах фильтрации;
6. Ложные тревоги при неправильной интерпретации ложных источников.

Правильно спроектированная и установленная, а также, надлежащим образом сопровождаемая система мониторинга, может обеспечить безопасную эксплуатацию оборудования и принести значительную экономическую выгоду предприятию, обеспечив следующие основные преимущества:

1. Продление периода работы перед выводом из эксплуатации - обслуживание по состоянию;
2. Обнаружение дефектов, их местоположения и условий развития во время эксплуатации;
3. Использование информации о проблемных местах при выходе на ППР;
4. Возможность коррекции технологических режимов работы установки, которые приводят к появлению АЭ активности;
5. Возможность привлечения специалистов к анализу данных через Интернет.

Общим документом, регламентирующим применение АЭ мониторинга на оборудовании НПЗ является код ASTM E 1139-02 [4]. Процедура мониторинга должна разрабатываться для каждого вида оборудования с учетом всех деталей конструкции, условий эксплуатации и особенностей системы мониторинга конкретного производителя.

Библиография:

1. Fitness for Service. API Recommended Practice 579.
2. В.В. Шемякин, С.А. Стрижков. О применении метода акустической эмиссии в мониторинге опасных промышленных объектов. В мире неразрушающего контроля. № 4 декабрь 2004 г.
3. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. Recommended Practice 571. American Petroleum Institute.
4. Код ASTM E 1139-02. Standard Practice for Continuous Monitoring of Acoustic Emission from Metal Pressure Boundaries. Стандартная процедура применения АЭ мониторинга на оборудовании, работающем под давлением.