Оглезнева Любовь Андреевна, ст. преподаватель кафедры «Физические методы и приборы контроля качества» Института неразрушающего контроля ТПУ.
E-mail: oglezneva79@mail.ru
Область научных интересов: акустико-эмиссионный контроль.

УДК 622.692.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СИСТЕМ

Л.А. Оглезнева

Томский политехнический университет
E-mail: oglezneva79@mail.ru

Дан обзор характеристик акустико-эмиссионных систем разных фирм-производителей и характеристик их программного обеспечения. Отмечены достоинства и недостатки систем, а также обращено внимание на разногласия в терминологии характеристик аппаратуры и программного обеспечения.

Ключевые слова:
Акустическая эмиссия, аппаратура, характеристики, контроль.

Key words:
Acoustic emission, equipment, ccharacteristics, control.

Акустическая эмиссия представляет собой случайный процесс, поэтому важны как адекватная регистрация акустико-эмиссионных (АЭ) источников в объекте – на этом этапе роль играют технические параметры, возможности и надежность самой АЭ аппаратуры, так и анализ зарегистрированных данных.

Рассмотрим модели серийно впускаемых и сертифицированных промышленных АЭ систем российского и зарубежного производства, представленные в табл. 1.

Таблица 1. АЭ системы и их производители

Модель	Производитель
DiSP	Physical Acoustic Corporation, США
AMSY-5	Vallen System, Германия
Aline-32D	Интерюнис, Россия
Малахит АС-12	НПФ Диатон, Россия
Эксперт-2014	НПО Алькор, Россия
СДС 1008	ЗАО СДС, Россия
Локус-Д	ЗАО Элтест, Россия

В процессе испытаний регистрируется огромное количество информации различного происхождения (как правило, более 10000 записей). Принятие решения происходит после тщательного анализа этих данных. Можно определить соотношение временных затрат на сам контроль и обработку данных как 30 и 70 % (и более) соответственно. Поэтому важнейшее значение имеет качество и возможности поставляемого с соответствующими системами программного обеспечения (ПО), позволяющие за минимальное время разобраться в накопленной информации, проанализировать ее, и выдать решение по дальнейшей эксплуатации объекта. Требования к техническим характеристикам АЭ аппаратуры приведены в РД 03–299 [1].

Важнейшие характеристики аппаратной части АЭ систем:

- возможное количество каналов;
- архитектура;

- регистрируемые параметры;
- динамический диапазон, дБ;
- частотный диапазон, кГц;
- наличие входной фильтрации;
- уровень собственных шумов;
- количество регистрируемых актов в секунду (допустимая скорость регистрации данных);
- регистрация формы волны;
- возможность автоматической калибровки аппаратуры и установленных преобразователей;
- наличие аудио- и световой индикации АЭ активности;
- возможность приобретения дополнительных аксессуаров (датчики, предусилители и т. п.);
- возможность объединения с другой АЭ системой для контроля большого объекта;
- возможность удаленного управления.

Число каналов определяет возможности аппаратуры и область её применения [2]. Одноканальная аппаратура может быть использована для контроля объектов ограниченных размеров, при отсутствии посторонних шумов (или их минимума). В этих условиях аппаратура может быть использована для обнаружения трещин на образцах материалов и слежения за её развитием во времени. В эксплуатационных условиях одноканальная аппаратура может быть применена для предварительной оценки уровня шума в различных точках контролируемого объекта.

Двухканальная аппаратура расширяет область применения акустической эмиссии и делает возможным контроль объектов протяжённой формы, с одновременным определением линейных координат дефекта. Наличие двух каналов обеспечивает также простейший вид пространственной фильтрации сигналов акустической эмиссии, которая используется при контроле натурных объектов в условиях эксплуатации при наличии источника шума.

Трёх- и более канальная аппаратура расширяет возможности метода акустической эмиссии. При этом появляется возможность контроля объектов как одно- так и двухмерных. Это означает, что можно осуществлять контроль непосредственно в зоне продольного или поперечного шва объекта контроля (ОК), игнорируя все сигналы, поступающие из других областей объекта. С учётом дальности действия стандартных датчиков акустической эмиссии, составляющей около 50 м и длины примерно 100…125 м, соединяющего датчик акустической эмиссии с основным усилительным блоком, можно с уверенностью сказать, что в качестве базового модуля аппаратуры акустической эмиссии для контроля трубопроводов достаточно иметь 4-х канальный модуль, который может обслужить нитку газопровода длиной 200…300 м, сосуд давления диаметром 2…3 м и высотой 10 м. Однако, в зоне контроля могут наблюдаться источники шума, обусловленные конструктивными особенностями ОК и для их локации потребуются дополнительные каналы. Поэтому базовый универсальный модуль должен содержать до 8 каналов [2].

Для контроля трубопроводов большой протяжённости (до 1000 м) потребуется несколько таких комплексов. Не меньшее количество каналов может потребоваться для контроля сосудов давления большой ёмкости, имеющих разнообразные конструктивные нерегулярности, разбросанные по корпусу сосуда.

Коэффициент усиления и динамический диапазон усилителя необходимо рассмотреть одновременно, так как эти параметры тесно связаны между собой.

Сигналы акустической эмиссии, в зависимости от удалённости датчика от места возникновения дефекта, могут отличаться по амплитуде в 1000 и более раз. Минимальная амплитуда сигнала акустической эмиссии на входе усилителя должна быть не ниже уровня собственных шумов усилителя, приведённых ко входу. Для большинства современных усилительных схем уровень собственных шумов примерно 10 мкВ. При нормированном

сигнале на выходе до 5…10 В, общее усиление тракта должно быть не менее 10^6. Такое усиление обеспечивает уверенный приём сигналов акустической эмиссии от источников сигналов, удалённых на расстояние не менее 50 м.

Динамический диапазон усилителя характеризует свойство усилителя выдерживать перегрузки по входному сигналу. Например, динамический диапазон 40 дБ означает, что усилитель без искажений передаёт сигналы, отличающиеся по амплитуде в 100 раз. При регистрации импульса акустической эмиссии амплитудой 10 мкВ или 1000 мкВ на выходе формирователя должен приниматься только один импульс, что обеспечивает безошибочную регистрацию событий акустической эмиссии, происходящих в непосредственной близости источника акустической эмиссии от датчика и находящегося на большом удалении. С учётом максимального удаления источника сигнала от датчика рекомендуется иметь запас по динамическому диапазону. Полный динамический диапазон должен быть не менее 60 дБ.

Частотный диапазон аппаратуры выбирается из соображений защищённости от внешних помех, максимальной прозрачности акустического тракта, зависящей от материала изделий, вида дефекта.

Нижняя граница частотного диапазона лежит в области 20…50 кГц. При этом результаты измерений защищены от воздействия механических шумов, связанных с работой насосов, кранов и т. д. Для АЭ измерений на трубопроводе частотный диапазон лежит в пределах 20…300 кГц.

Параметрический вход служит для подключения к аппаратуре датчиков, преобразующих параметры – давление, температуру, силу и другие – в электрический сигнал. Необходимость параметрических измерений объясняется тем, что события акустической эмиссии возникают и сопровождаются за счёт изменения во времени упомянутых выше давления, силы и т. д., воздействующих на контролируемый объект, поэтому информационный АЭ параметр, будь это сумма импульсов, их интенсивность и энергия, длительность импульсов и т. п., рассматривается только в совокупности с характером изменения параметрических сигналов.

Это обстоятельство приобретает особую важность в тех случаях, когда ведутся гидравлические или пневматические испытания ОК с использованием АЭ метода и имеется реальная вероятность разрушения конструкции в процессе самого нагружения. Поэтому, наблюдая за поведением объекта по сигналам акустической эмиссии и изменением прикладываемых к объекту нагрузок, можно наверняка избежать повреждения конструкции, а тем более разрушения. Типовая аппаратура акустической эмиссии, таким образом, должна иметь один или два параметрических входа с нормированным уровнем напряжений входного сигнала 5 или 10 В. Пороговое устройство является обязательным элементом аппаратуры акустической эмиссии, так как в любом случае на вход аппаратуры (наряду с полезными сигналами) может поступать и шум, вызванный эксплуатационными и технологическими причинами. В аппаратуре должна быть предусмотрена регулировка уровня ограничения.

Первичные преобразователи (ПП) акустической эмиссии могут быть различного типа в зависимости от решаемых задач. Характеристики ПП акустической эмиссии должны быть согласованы с рабочим диапазоном контроля. Часто для контроля используются широкополосные ПП акустической эмиссии. Этот тип датчиков может использоваться в том случае, когда частотные характеристики контролируемого объекта не изучены. Их практическое применение ограничено тем, что они имеют более низкую чувствительность, чем узкополосные и тем более резонансные, и кроме того, имеют высокую стоимость. В табл. 2 приведены основные технические характеристики анализируемых АЭ систем [3–9].

Таблица 2. Основные технические характеристики анализируемых АЭ систем

Параметр	DiSP	AMSY-5	Aline - 32D	Малахит 12 АС	Эксперт-2014	СДС 1008	ЛОКУС – Д
Регистрируемые параметры	Канал, время, амплитуда, энергия, количество осцилляций, длительность, время нарастания RMS, ASL порог ограничения, средняя частота, частота реверберации, частота начальной части импульса, уровень сигнала, энергия	Канал, время регистрации, амплитуда, энергия, количество осцилляций, длительность, время нарастания RMS импульса, RMS шума, каскадные импульсы, счет, энергия, порог ограничения, абсолютная энергия дополнительные флаги	Канал, время регистрации, амплитуда, энергия, длительность, число пересечений порога внутри АЭ сигнала, дополнительные флаги	Канал, время, длительность, амплитуда, число осцилляций, энергия, средняя частота до пика, до максимума, всего сигнала, среднее значение сигнала, пороговый уровень	Канал, время, энергия, длительность, число выбросов импульса, число выбросов до пика, амплитуда, среднее значение импульса, среднеквадратическое значение импульса, порог дискриминации	Канал, время, энергия, длительность, число выбросов импульса, число выбросов до пика, амплитуда, среднее значение импульса, среднеквадратическое значение импульса, порог дискриминации	Канал, время прихода, длительность события, время нарастания, максимальная амплитуда, энергетический параметр “Marse”, средняя амплитуда, порог дискриминации
Количество каналов в блоке	8 – 52	36 (до 254)	64	1 – 112	4 – 64	1 – 32 (до 256)	4-32 (до 80)
Параметры АЦП	16 бит, 10 МГц	16 бит, 10 МГц	16 бит, 2 МГц	14 бит, 5 МГц	–	14 бит, 10 МГц	1 МГц
Количество каналов на плату	4	1	8	1	4	1	4
Способ обработки АЭ событий	цифровой на FPGA и DSP	цифровой на FPGA и DSP	цифровой на FPGA	цифровой на DSP	цифровой	ADSP2185 или ADSP2189	цифровой
Частотный диапазон, кГц	10– 2100	10 – 2000	1 – 500	10 –300	5-600 (до 2000)	100-800	25 – 200

Продолжение таблицы на следующей странице

Динамический диапазон, дБ	82	82	84	80	–	–	80
Уровень собств. шумов, мкВ	3	3	5	3	3	3	4
Наличие входной фильтрации	да (4 высокочастотных и 4 низкочастотных)	да	нет (только в предусилителях)	да	да	да	да
Наличие параметрических входов	да	да	да	да	да	нет	да
Количество регистрируемых актов в секунду	10000	30000	15000 соб./канал	5000	10000	–	–
Автокалибрация	да (проверка ПАЭ)	да (проверка ПАЭ)	нет	да (проверка ПАЭ)	да (проверка ПАЭ)	нет	да
Удаленное управление	да	да	нет	да	да	нет	нет

Необходимо отметить, неодинаковый подход фирм производителей к публикации технических характеристик систем. Так, например, параметр «допустимая скорость регистрации данных» может рассматриваться как:

- средняя допустимая скорость регистрации данных по одному каналу (т. е. предельная скорость накопления данных поступающих на один канал АЭ системы в течение часа, или более, которые система может без потерь записать);
- средняя допустимая скорость регистрации данных по всем каналам (т. е. предельная скорость накопления данных поступающих в АЭ систему в течение часа, или более, которые система может без потерь записать);
- пиковая скорость регистрации данных по одному каналу (т. е. предельная скорость накопления данных поступающих на один канал АЭ системы в течение нескольких секунд или минут, которые система может без потерь записать);
- пиковая скорость регистрации данных по всем каналам (т. е. предельная скорость накопления);
- данные, поступающие в АЭ систему в течение нескольких секунд или минут, которые система может без потерь записать.

Когда поставщик аппаратуры публикует соответствующие технические характеристики часто не ясно, что имеется в виду.

Программное обеспечение

В процессе обработки АЭ данных важное место занимает качество, продуманность и возможности программного обеспечения.

На разных этапах обработки/анализа данных важными являются следующие возможности ПО:

- построение диаграмм и графиков;
- фильтрация данных;
- локализация источников акустической эмиссии;
- возможности углубленного анализа данных;
- критериальная оценка;
- скорость работы;
- наличие вспомогательных утилит;
- совместимость с данными/ПО других производителей.

В табл. 3 приведены основные характеристики ПО анализируемых АЭ систем [3–9].

Таблица 3. Основные характеристики ПО анализируемых АЭ систем

Параметр	DiSP	AMSY-5	Aline-32D	Малахит 12-АС	Эксперт-2014	СДС 1008	ЛОКУС – Д
Среда работы	DOS, Windows	Windows 2000, XP	Windows 95, 98	Windows 95,98,ME	Windows NT,2000	Windows 2000, XP	Windows 3.XX,98,NT
Ограничение на количество одновременно выводимых графиков	нет	нет	около 20	до 3000	–	–	–
Возможность обновления через Internet	нет	да	да	да	–	–	–
Возможность работы с параметрами, производными от накапливаемых (например Ampl*Durat)	нет	да	нет	нет	–	–	да
Наличие трехмерной графики	да	да	нет	нет	–	нет	да
Диаграммы в процессе сбора данных	да	да	да	да	–	да	да
Одновременное представление табличных данных и диаграмм	нет	да	нет	да	–	да	да
Связь данных точечных диаграмм с таблицей и с диаграммами формы волны	нет /да	да	нет	нет	–	да	да
Графические фильтры	да	да	да	да	–	да	да
Фильтрация	да	да	да	да	да	да	да
Фильтрация по событиям	да	да	да	да	–	–	да
Фильтрация по координатам источников АЭ	нет	да	да	нет	–	–	да
Фильтрация механических помех	да	нет	нет	да	–	–	нет

Продолжение таблицы на следующей странице

Возможность вывода параметрических данных на график	да	да	да	да	–	–	–
Возможность наложения графического файла на диаграмму	нет	да	да	да	–	да	–
Типы локации	Зонная, линейная, плоскостная, сферическая и объемная, точечный и корреляционный способ локации	линейная, плоскостная, цилиндрическая, сферическая, на днищах сосудов, объемная при произвольном расположении датчиков	линейная, планарная, цилиндрических сосудов, сферических сосудов, днища резервуаров	зонная, линейная, прямоугольная, треугольная, днище, произвольное расположение датчиков, локация в условиях большой скорости регистрации данных с учетом затухания	Линейная, планарная, цилиндрическая, днища сосуда	Линейная, планарная, цилиндрическая, днища сосуда	Линейная, планарная, цилиндрическая, днища сосуда

Возможность анализа локационных параметров (РВП, количество импульсов в событии, второго импульса события и т.п.) не реализована в АЭ системах DiSP, ALine-32D, Эксперт-2014. В АЭ системах DiSP, AMSY-5 реализованы технологии контроля днищ резервуаров, сосудов давления, Малахит 12-АС – магистральных нефтепроводов. Функции анализа формы волны, кластерный анализ реализованы во всех рассматриваемых АЭ системах, распознавание образов в АЭ системах DiSP, AMSY-5. Встроенная система помощи реализована во всех системах, кроме DiSP. Наличие конвертера из других форматов возможно для AMSY-5 (DiSP), Малахит 12-АС, в другие форматы для AMSY-5 (MONPAC).

В программном обеспечении АЭ систем различных фирм на ряду со стандартными опциями реализованы дополнительные функции, обеспечивающие более сложный и глубокий анализ акустико-эмиссионных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 03-299–99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов. М. 2009, 18 с.
2. Бородин Ю.П. Аппаратурное обеспечение метода акустической эмиссии при контроле газопроводных конструкций // Проблемы надёжности конструкций газотранспортных систем. – 1998. С. 165–172.
3. Системы регистрации АЭ DISP // Диапак. Техническая диагностика. 2006. URL: http://www.diapac.ru/DiSP.php (дата обращения: 31.10.2011).
4. Системы НК. Акустико-эмиссионные системы фирмы Vallen // ПАНАТЕСТ. Оборудование для неразрушающего контроля. 2011. URL: http://www.panatest.ru/ (дата обращения: 31.10.2011).
5. Продукты. Цифровая система A-Line 32D // Интерюнис. Системы промышленного мониторинга. 2008. URL: http://interunis.ru/products/ae_sistemi/ (дата обращения: 31.10.2011).
6. АЭ системы // НПФ Диатон. 2011. URL: http://diatontest.ru/systems.htm (дата обращения: 31.10.2011).
7. Акустико-эмиссионные комплексы серии «Эксперт-2000» для диагностики производственных объектов // НПО Алькор. 2008. URL: http://www.alcor.nnov.ru/complexrus.htm (дата обращения: 31.10.2011).
8. Акустико-эмиссионная система серии СДС 1008 // ЗАО «Специальные Диагностические Системы». 2005. URL: http://www.sds.ru/device.html (дата обращения: 31.10.2011).
9. Акустико-эмиссионные приборы. Локус – базовое исполнение // ЗАО ЭЛТЕСТ. 2011. URL: http://eltest.ru/russian/device/pr4320_big.htm (дата обращения: 31.10.2011).

Поступила 01.11.2011 г.