

ОБЗОР АППАРАТНЫХ РЕШЕНИЙ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ



ТЕРЕНТЬЕВ
Денис Анатольевич

Канд. физ.-мат. наук,
старший научный сотрудник,
ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Москва



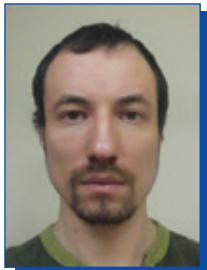
ЕЛИЗАРОВ
Сергей Владимирович

Генеральный директор,
ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Москва



АЛЯКРИТСКИЙ
Александр Львович

Заместитель
генерального директора,
ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Москва



ШИМАНСКИЙ
Аркадий Григорьевич

Инженер-электроник
отдела разработки
радиоэлектронной аппаратуры,
ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Москва



БУГАНКОВ
Алексей Андреевич

Инженер-электроник
отдела разработки
радиоэлектронной аппаратуры,
ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Москва

Для передачи и преобразования первичного сигнала акустической эмиссии в набор типовых параметров отдельных импульсов, таких как амплитуда, длительность, время нарастания и т.п., в современных акустико-эмиссионных системах используются три ключевых элемента: канал связи, аналого-цифровой преобразователь и акустико-эмиссионный процессор. Рассмотрены все три возможных варианта их взаимного расположения, которые соответствуют традиционной архитектуре, цифровой модульной компоновке и архитектуре «цифровой датчик». Показаны преимущества, ограничения, рекомендованные сферы применения и примеры реализации каждой из трех архитектур.

Современный уровень требований к АЭ-системам

Размер объектов акустико-эмиссионного (АЭ) контроля может варьироваться в очень широком диапазоне: от небольших образцов размером в несколько сантиметров до многокилометровых участков магистральных трубопроводов или резервуаров объемом до 50 000 м³. Максимальные дистанции между преобразователями акустической эмиссии (ПАЭ) обусловлены как уровнем шумов, так и затуханием акустического сигнала в объекте контроля и на промышленных объектах, как правило, составляют от 6 до 12 м, а в случае трубопроводов, заполненных жидкостью, могут достигать до 30–70 м. Проведение каждого дополнительного нагружения массивного объекта или его участка может быть связано с большими временными затратами. Из-за наличия эффекта Кайзера многие объекты невозможно контролировать методом АЭ по частям. Поэтому пользователи АЭ-систем, как правило, заинтересованы в том, чтобы иметь возможность диагностировать одновременно как можно больший объект или участок большого объекта. В то же время применяемое при контроле оборудование АЭ должно иметь достаточную чувствительность и производительность, чтобы выявлять весь диапазон источников АЭ от I до IV класса и не быть при этом слишком громоздким.

Данные особенности метода АЭ, а также необходимость получения качественных результатов АЭ-контроля обуславливают следующие обяза-

тельные требования к АЭ-оборудованию, закрепленные в нормативных документах [1–3]:

- многоканальность (обычно до нескольких десятков каналов);
- значительные дистанции, доходящие до нескольких сотен метров, между рабочим местом оператора и точками установки ПАЭ. Данное требование обусловлено как большими размерами контролируемых объектов, так и необходимостью обеспечения безопасности, например при проведении пневмоиспытаний;
- синхронизация каналов с точностью до 1 мкс или долей микросекунды. Это требование обусловлено необходимостью проведения локации источников АЭ при значениях скорости распространения акустического сигнала, доходящих до нескольких тысяч метров в секунду;
- работа с импульсным широкополосным и достаточно сложным по форме входным сигналом;
- низкий уровень шумов (не выше 5 мкВ СКЗ, приведенных к входу предусилителя), в том числе в условиях сильных электромагнитных наводок;
- широкий динамический диапазон входного сигнала;
- полоса рабочих частот 30–500 кГц, т.е. промежуточная между частотами, характерными для вибродиагностики и ультразвукового контроля. При этом данные должны регистрироваться в течение достаточно продолжительного времени (как правило, равного нескольким часам). При этом допускается работа не с полным объемом первичных данных, объем которых может достигать нескольких терабайт, а лишь с АЭ-параметрами, т.е. компактным набором обработанных данных, характеризующих каждый импульс АЭ, и частью осциллограмм, позволяющих получить общее представление о типовых импульсах, регистрируемых каждым ПАЭ. Поток таких импульсов может доходить до нескольких тысяч в секунду.

Следующие характеристики АЭ-систем не являются обязательными согласно [1–3], но могут дать дополнительное удобство в работе, а также позволяют провести АЭ-контроль в сложных условиях:

- подача имеющих заданную амплитуду импульсных электрических калибровочных сигналов на требуемый ПАЭ. Данная опция удобна для проверки качества акустического контакта, измерения эффективной скорости и коэффициента затухания;
- перенастройка частотных фильтров;
- контроль целостности измерительных линий;
- возможность записи непрерывного потока первичных данных [4, 5];

- низкочастотные параметрические каналы для подключения тензодатчиков, манометров, термодатчиков и других устройств, позволяющие получать информацию о величине нагрузки или параметрах технологического процесса;
- методы выявления импульсов АЭ, отличающиеся от традиционного порогового.

При АЭ-контроле некоторых объектов могут быть полезны такие опции, как:

- гальваническая развязка;
- герметичный кабель;
- взрывозащищенное исполнение;
- беспроводная передача данных со всех или с части каналов. Данная опция полезна, например, при АЭ-контроле трубопровода, пересекающего транспортную магистраль или водную преграду.

Также для пользователей важны такие потребительские свойства АЭ-систем, как:

- стоимость;
- масса и габариты комплекса;
- скорость развертывания системы;
- степень автоматизации различных операций;
- максимальная длина линии, гибкость компоновки линий;
- возможность оперативной замены кабеля;
- стойкость различных частей комплекса к негативным внешним воздействиям;
- энергопотребление.

Возможные типы компоновки АЭ-систем

Первичные данные АЭ-система получает в аналоговом виде с преобразователей акустической эмиссии. В настоящее время ПАЭ, как правило, являются пьезоэлектрическими. Амплитуда сигнала на их выходе обычно невелика и составляет от единиц микровольт до сотен милливольт, поэтому сигнал ПАЭ сразу поступает в предусилитель, находящийся в непосредственной близости от него.

Для анализа результатов АЭ-контроля (как онлайн, так и офлайн), как правило, используются представленные уже в цифровом виде и предварительно обработанные данные, которые представляют собой наборы АЭ-параметров отдельных импульсов, таких как амплитуда, длительность, время нарастания, число выбросов и т.д. [6, 7].

Для передачи и преобразования первичного аналогового сигнала с ПАЭ в набор АЭ-параметров в АЭ-системах используются три ключевых элемента: канал связи, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и АЭ-процессор, которые могут быть расположены в различной последовательности. Каналы связи между удаленными точками контроля и блоком сбора и обработки данных могут быть как аналоговыми, так и цифровыми, как кабельными, так и беспроводными. Обработка данных в со-

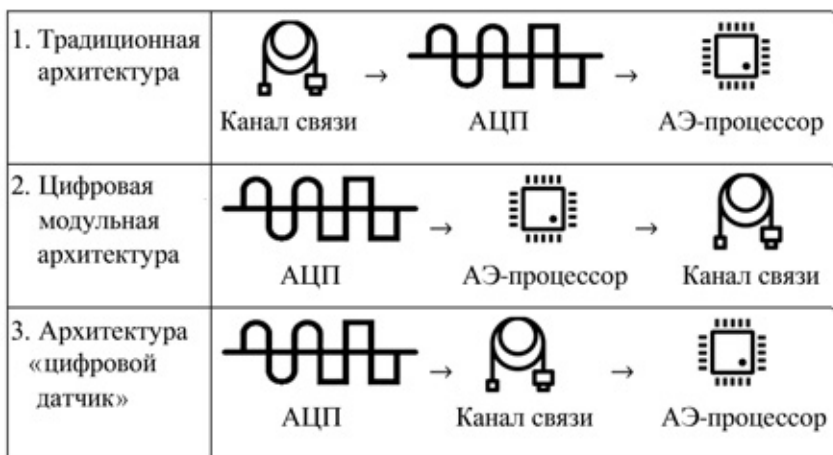


Рис. 1. Три возможных варианта взаимного расположения канала связи, АЦП и АЭ-процессора

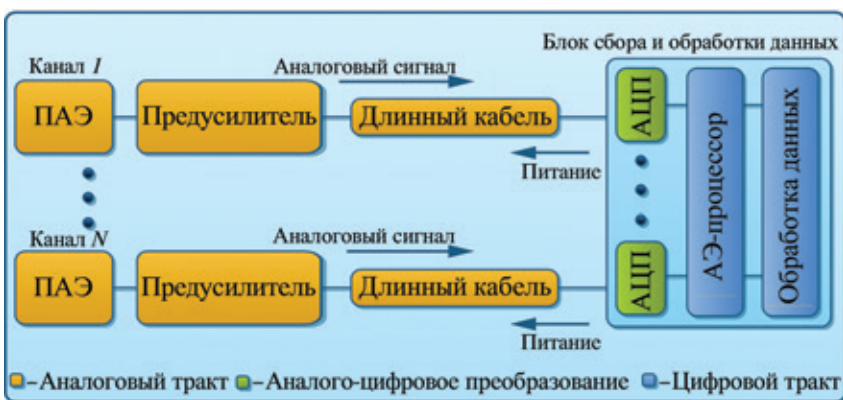


Рис. 2. Традиционная архитектура АЭ-систем

временных АЭ-системах в основном цифровая, поэтому в состав систем, как правило, входит один или несколько АЦП. Дальнейшая обработка данных ведется с использованием так называемых АЭ-процессоров – электронных плат, извлекающих из непрерывного потока преобразованных в цифровой вид АЭ-данных отдельные импульсы и вычисляющих параметры каждого такого импульса.

Из шести возможных вариантов взаимного расположения канала связи, АЦП и АЭ-процессора работоспособны только три, все они представлены на рис. 1. Каждый тип архитектуры имеет свои преимущества и ограничения, подробно описанные далее.

Традиционная архитектура

Наибольшее распространение получили АЭ-системы традиционной архитектуры с централизованной схемой сбора и обработки данных, соответствующей компоновке: канал связи → АЦП → АЭ-процессор (рис. 2). Сигнал от каждого ПАЭ усиливается в предусилителе (как правило, на 20–40 дБ) и по отдельному коаксиальному кабелю длиной до нескольких сотен метров передается в аналоговом виде на блок сбора и обработки данных. Преобразование АЭ-сигнала в цифровой вид и последующая обработка проводятся в блоке сбора и обработки данных.

Преимущества такого рода АЭ-систем:

- невысокая стоимость при высоком уровне быстродействия;
- возможность применения ПАЭ как без встроенных предусилителей, так и со встроенными предусилителями, в том числе и специального исполнения (герметичные и т.п.);
- использование, как правило, стандартных коаксиальных кабелей с BNC-разъемами, что позволяет быстро и легко выполнить ремонт (замену) кабелей и разъемов силами специалистов, проводящих контроль;
- возможность записи непрерывного потока первичных данных.

Ограничения, характерные для АЭ-систем традиционной архитектуры:

- аналоговый сигнал затухает и искажается при передаче в длинных кабельных линиях. Наибольшая допустимая длина коаксиального кабеля составляет 200–250 м, следовательно, максимальное расстояние между крайними преобразователями АЭ на объекте контроля (например, трубопроводе) не превышает 500 м;
- длинный кабель в условиях современного промышленного предприятия или инженерного сооружения часто выступает в роли антенны для электромагнитных наводок, зачастую превышающих по амплитуде сигналы, соответствующие источникам АЭ IV класса [6, 7];
- система не может быть использована совместно с радиоканалом, что существенно затрудняет АЭ-контроль переходов через транспортные магистрали и водные преграды;
- большая суммарная масса кабелей и катушек обусловлена необходимостью прокладывать кабель от каждой точки контроля к блоку сбора и обработки данных.

Такого рода системы подходят для решения следующих задач:

- АЭ-контроль объектов небольших и средних размеров (емкост-

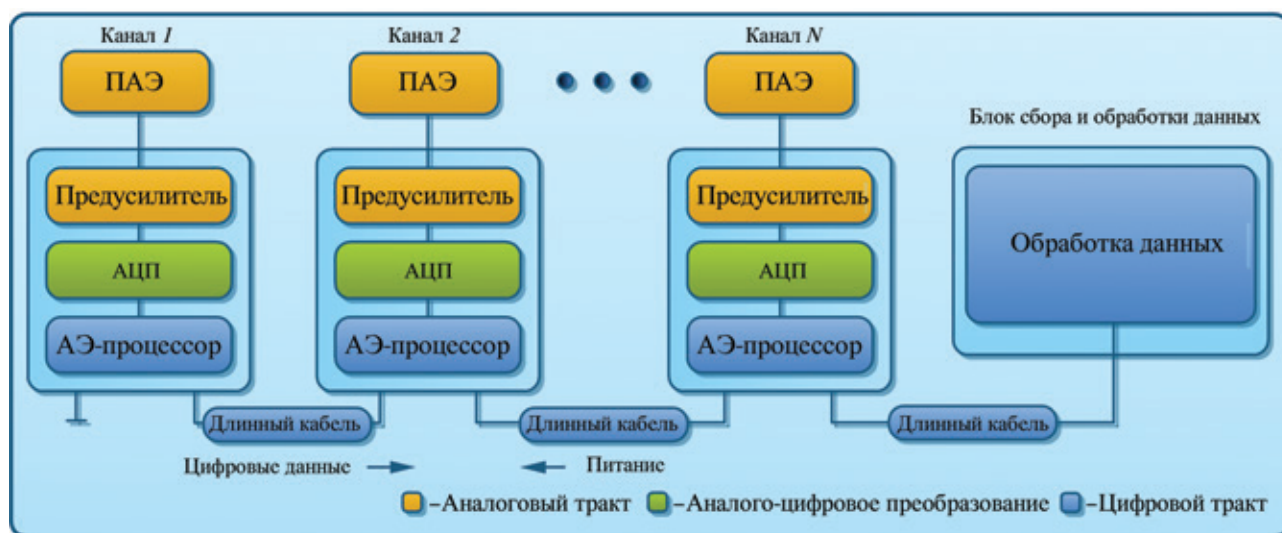


Рис. 3. Цифровая модульная архитектура АЭ-систем

тей, сепараторов, теплообменников, технологических трубопроводов и пр.);

- АЭ-контроль объектов в условиях отсутствия электромагнитных помех;
- АЭ-контроль объектов, имеющих подводные или затопливаемые участки, специализированными герметичными ПАЭ со встроенным предусилителем.

Цифровая модульная архитектура

Второй тип архитектуры АЭ-систем – цифровая модульная – реализуется следующим образом: на объекте контроля непосредственно рядом с каждым ПАЭ располагаются модули сбора данных (модуль АЭ), каждый из которых состоит из АЦП и АЭ-процессора. Полученные в результате обработки АЭ-процессором данные в виде компактного набора АЭ-параметров и при необходимости часть осциллограмм передаются в блок сбора и обработки данных по высокоскоростной последовательной или параллельно-последовательной линии в цифровом виде (рис. 3).

Преимущества данной компоновки систем следующие:

- невосприимчивость к электромагнитным наводкам;
- расположение АЭ-процессора в непосредственной близости от каждого ПАЭ, что на несколько порядков снижает объем данных, которые необходимо передавать по линии связи. Это позволяет увеличить быстродействие системы или максимальное число каналов при прочих равных условиях;
- цифровая передача данных и относительно малый объем данных, которые нужно передавать, что делает возможным использование (как опции) беспроводной передачи данных;

- последовательная или параллельно-последовательная линия связи каналов друг с другом и с блоком сбора и обработки данных благодаря цифровой передаче данных, что позволяет минимизировать суммарную длину кабельной линии и сделать ее сборку максимально удобной, а также одновременно проводить АЭ-контроль протяженных объектов длиной до нескольких километров;
- возможность автоматического контроля целостности и качества работы цифровых линий связи между каналами;
- простота наращивания ранее купленной системы путем докупки или аренды модулей АЭ.

Ограничения цифровой модульной архитектуры следующие:

- высокая стоимость;
- отсутствие возможности передачи непрерывного потока первичных данных;
- массивные (по сравнению с предусилителями) модули сбора данных.

Системы цифровой модульной архитектуры могут применяться в любых, в том числе самых сложных условиях, в частности для проведения АЭ-контроля:

- многокилометровых участков магистральных трубопроводов;
- крупногабаритных объектов (резервуаров большого объема и т.п.);
- при высоком уровне электромагнитных помех на современных предприятиях;
- переходов через дороги и водные преграды с использованием радиоканала для связи между блоком сбора и обработки данных и всеми модулями АЭ либо их частью.

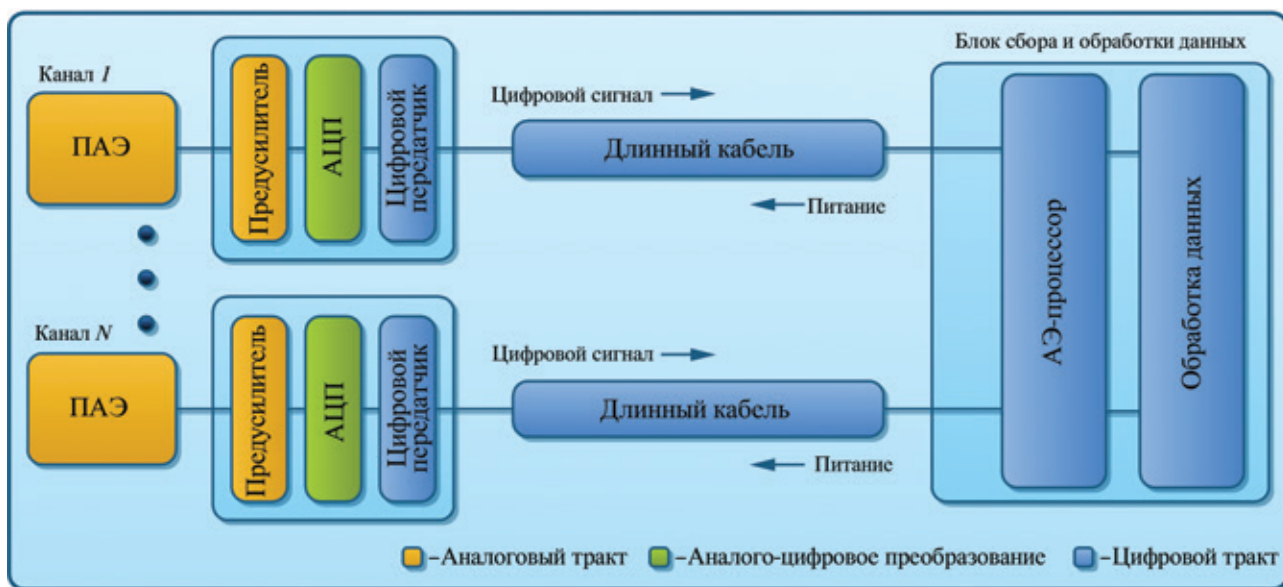


Рис. 4. Архитектура «цифровой датчик»

Архитектура «цифровой датчик»

Основным недостатком АЭ-систем традиционной архитектуры является подверженность электромагнитным наводкам. Системы с цифровой модульной компоновкой решают эту проблему, однако ценой существенного усложнения архитектуры и вызванного им удорожания АЭ-комплекса.

От всех этих недостатков свободна архитектура АЭ-систем «цифровой датчик», которая совмещает в себе централизованную схему обработки данных и цифровую передачу первичной информации на блок сбора и обработки данных (рис. 4). Основные принципы концепции следующие:

- для минимизации длины аналогового тракта сигнал от преобразователя АЭ усиливается и преобразовывается в цифровой вид в конвертере, находящемся в непосредственной близости от каждого ПАЭ;
- для упрощения архитектуры системы АЭ процессор находится в блоке сбора и обработки данных, поэтому по кабельной линии в цифровом виде передаются именно первичные (не подвергнутые обработке в целях выделения АЭ-сигналов и их параметров) данные;
- для реализации цифрового канала передачи первичных АЭ-данных по обычному коаксиальному кабелю в блок сбора и обработки данных используется последовательный битовый поток.

Это позволяет наряду с возможностью сохранения всего первичного АЭ-потока избежать потери качества данных, вызванной их прохождением в аналоговом виде по длинной кабельной линии, и тем самым повышает достоверность и надежность контроля или мониторинга. Вычисление АЭ-пара-

метров производится в блоке сбора и обработки данных аналогично тому, как это происходит в системах традиционной архитектуры, что дает возможность воспользоваться высокой вычислительной мощностью и пропускной способностью, свойственной системам с централизованной обработкой данных на базе электронных плат расширения для компьютера.

Преимущества такого рода АЭ-систем следующие:

- невосприимчивость к электромагнитным наводкам;
- принадлежность к среднему ценовому диапазону;
- использование стандартных коаксиальных кабелей;
- возможность передачи первичных данных;
- гальваническая развязка;
- небольшие по сравнению с модулями АЭ масса и габариты конвертеров, устанавливаемых около каждого ПАЭ.

Ограничениями систем типа «цифровой датчик» являются:

- необходимость прокладки отдельного кабеля от блока сбора и обработки данных к каждому ПАЭ;
- меньшие, чем в цифровой модульной архитектуре, значения максимальной дистанции между ПАЭ и блоком сбора и обработки данных;
- невозможность беспроводной передачи данных.

АЭ-системы архитектуры «цифровой датчик» могут быть рекомендованы для проведения АЭ-контроля практически в любых условиях, в частности в условиях высокого уровня электромагнитных помех на современных предприятиях, и на любых объектах.



Рис. 5. АЭ-системы семейства A-Line:

а – варианты исполнения блока сбора и обработки данных Ethernet Vox и Portable; б – общий вид АЭ систем A-Line и разветвительный кабель; в – предусилитель; г – конвертер DS; д – элементы комплекса DDM-2: модуль, разветвитель и прямо-передающее устройство

Примеры современных АЭ-систем

Все три возможных варианта архитектуры реализованы в современных многоканальных АЭ-системах серии A-Line, выпускаемых компанией «ИНТЕРЮНИС-ИТ».

Все многоканальные АЭ-системы, выпускаемые компанией (рис. 5, а, б), имеют:

- единые формат данных и программное обеспечение для сбора и анализа данных;
- возможность синхронизации нескольких однотипных систем в целях контроля больших объектов;
- возможность соединения кабелей для их удлинения;
- исполнение как вида Ethernet Vox (подключаемый к ноутбуку по Ethernet-проводу или Wi-Fi отдельный компактный системный блок с электронными платами расширения), так и Portable (моноблок с электронными платами расширения, монитором и клавиатурой).

Примеры использования АЭ-системы семейства A-Line приведены на рис. 6.

Системы классической архитектуры

Классическая архитектура «канал связи, АЦП, АЭ-процессор» представлена АЭ-системой A-Line PCI-1, производство которой предполагается прекратить в 2020 г. в связи с выпуском аналогичной системы нового поколения A-Line PCI-2 (см. рис. 5, в, б, а).

1. Сравнение технических характеристик A-Line PCI-1 и A-Line PCI-2

| Параметр | A-Line PCI-1 | A-Line PCI-2 |
|--|---------------|----------------|
| Характеристики АЦП | 2 МГц, 16 бит | 20 МГц, 16 бит |
| Размер буфера осциллограмм | 32 кБ | 8 МБ |
| Уровень шума, мкВ, в полосе 30–500 кГц | ≤ 5 | ≤ 4 |
| Предельная скорость регистрации параметров АЭ, имп./с на канал | ≥ 10 000 | ≥ 100 000 |

Помимо улучшения представленных в табл. 1 характеристик, касающихся быстродействия, параметров АЦП, объема памяти, уровня шумов и т.п., в A-Line PCI-2 появились следующие нововведения:

- обеспечена цифровая связь с предусилителем, позволяющая по команде с компьютера подавать на ПАЭ калибровочные импульсы с настраиваемой амплитудой величиной до 200 В;
- добавлен на каждом канале интерфейс для прямой записи на внешний накопитель непрерывного потока данных;
- добавлен разработанный компанией «ИНТЕРЮНИС-ИТ» алгоритм беспороговой регистрации АЭ-данных – SMART [8, 9].

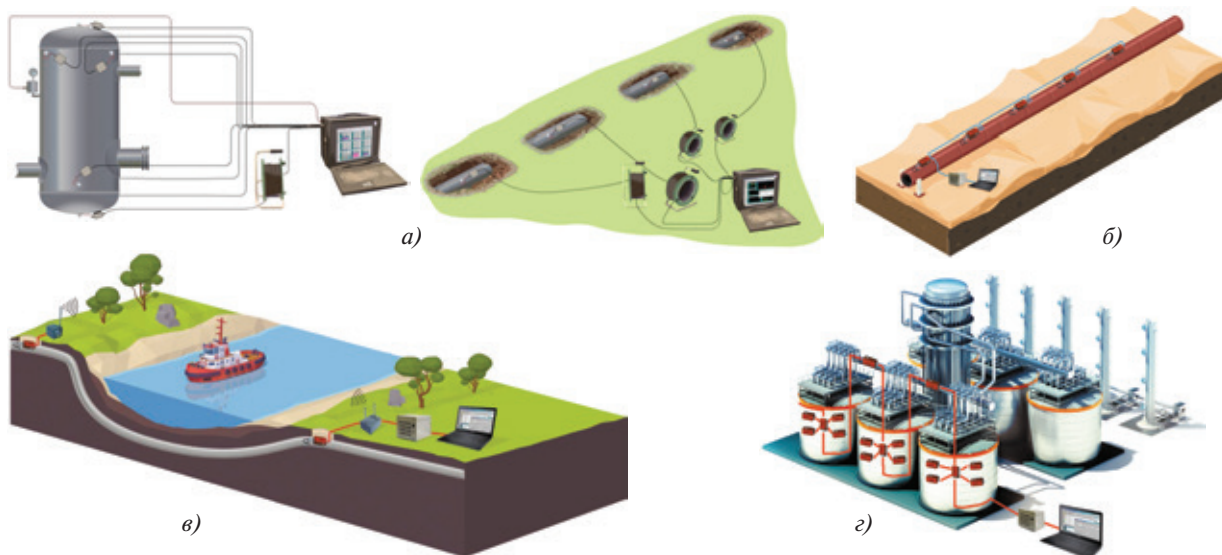


Рис. 6. Пример использования АЭ-системы семейства А-Line: а – централизованная схема подключения в системах PCI-1, PCI-2 и DS; б – последовательное подключение модулей в линию в системах DDM-1 и DDM-2; в – радиоканал в системах DDM-1 и DDM-2; г – комбинированное подключение модулей как по централизованной схеме, так и последовательно в линию в системе DDM-2

Системы цифровой модульной компоновки

Цифровая модульная архитектура «АЦП, АЭ-процессор, канал связи» представлена уникальной распределенной системой сбора и обработки данных А-Line DDM-1 [10], выпускающейся с 2003 г., а также новой, выпускающейся с 2019 г. системой А-Line DDM-2 (см. рис. 5, д, 6, б–г).

Помимо улучшения представленных в табл. 2 характеристик, касающихся быстродействия, параметров АЦП, объема памяти, уровня шумов и т.п., в А-Line DDM-2 появились следующие нововведения:

- передача данных осуществляется с использованием легких и стандартных коаксиальных кабелей с удобными BNC-разъемами;
- возможность использования разветвителя линии дает уникальную гибкость конфигурации расстановки преобразователей на объекте и позволяет достичь минимальной возможной суммарной длины и массы используемых кабелей (см. рис. 6, г);
- автоматический контроль качества установки ПАЭ;
- разработанный компанией «ИНТЕРЮНИС-ИТ» алгоритм беспороговой регистрации АЭ-данных – SMART [8, 9].

Архитектура «цифровой датчик»

Представленная в 2019 г. АЭ-система А-Line DS относится к принципиально новой архитектуре «цифровой датчик» (см. рис. 5, г и 6, а).

2. Сравнение технических характеристик А-Line DDM-1 и А-Line DDM-2

| Параметр | А-Line DDM-1 | А-Line DDM-2 |
|--|---------------|---------------|
| Максимальное количество измерительных линий в стандартном блоке сбора и обработки данных | 2 | 8 |
| Максимальное количество АЭ-каналов на линию (на стандартный блок сбора и обработки данных) | 16 (32) | 20 (40) |
| Максимальная длина сегмента кабеля между модулями АЭ, м | 100 | 150 |
| Характеристики АЦП | 1 МГц, 14 бит | 4 МГц, 18 бит |
| Максимальная измеряемая амплитуда, дБ | 98 | 105 |
| Частотный диапазон, кГц | 30–500 | 30–500 |
| Уровень шума, мкВ, в полосе 30–500 кГц | ≤ 5 | ≤ 4 |
| Цифровая фильтрация | Нет | Есть |
| Габариты АЭ-модуля, мм | 155×85×45 | 155×65×50 |
| Масса АЭ-модуля, кг | 0,7 | 0,6 |
| Степень защиты от внешних воздействий | IP-65 | IP-67 |
| Взрывозащищенное исполнение | Нет | Ex ia |

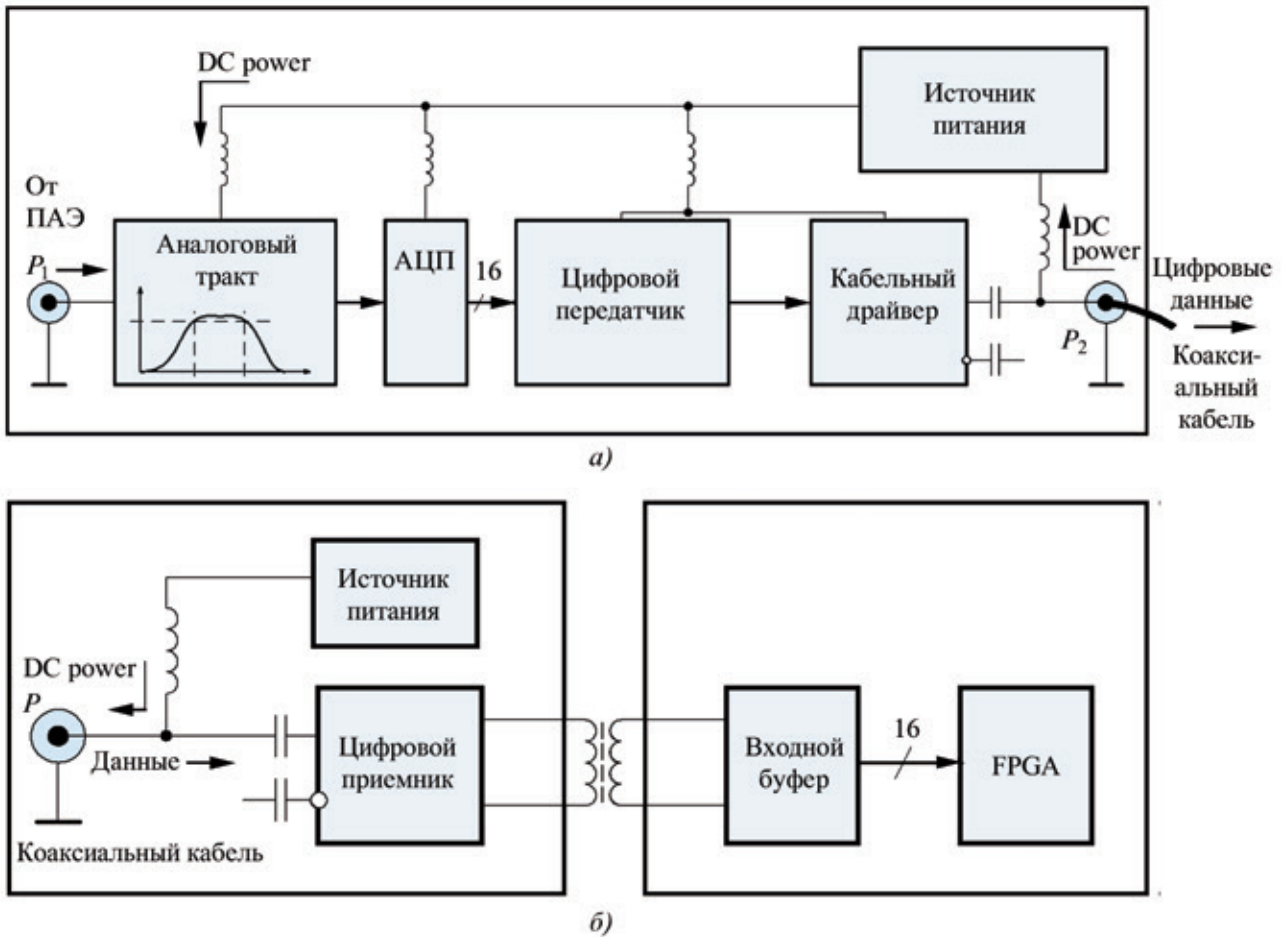


Рис. 7. Функциональные схемы архитектуры «цифровой датчик»: а – конвертер; б – приемная сторона

Технические характеристики A-Line DS

| | |
|--|------------|
| Полоса пропускания, кГц | 4 – 800 |
| Разрядность АЦП, бит | 16 |
| Максимальная частота преобразования АЦП, МГц | 2 |
| Уровень шума, приведенного ко входу, мкВ | 4 |
| Марка подключаемого кабеля | RG-58 A/U |
| Максимальная длина подключаемого кабеля, м | 200 |
| Габаритные размеры конвертера DS (Д×Ш×В), мм | 105×60×50 |
| Масса конвертера DS, кг | 0,3 |
| Рабочий температурный диапазон, °С ... | –30... +60 |

На рис. 7 представлен фрагмент примера функциональной схемы архитектуры «цифровой датчик» [11, 12]. Находящийся рядом с каждым ПАЭ конвертер осуществляет предварительное усиление и формирование частотной полосы первичного АЭ-сигнала, аналого-цифровое преобразование и передачу цифровых данных по длинному коакси-

альному кабелю. Питание подается на конвертер по коаксиальному кабелю. В свою очередь приемная сторона состоит из двух плат: первая осуществляет прием входящего битового потока и подачу питания на «цифровой предусилитель», а вторая отвечает за согласование интерфейсов с системой сбора данных и вычисление АЭ-параметров. Кроме того, на приемной стороне реализована гальваническая развязка каждого цифрового канала.

Данная АЭ-система прошла как лабораторные, так и полевые испытания в условиях промышленных предприятий. В сложных условиях нефтеперерабатывающего предприятия она продемонстрировала более высокую помехозащищенность и высокую надежность работы по сравнению с системой традиционной архитектуры с аналоговой передачей данных.

Дальнейшее сокращение длины аналогового тракта может быть достигнуто за счет перехода к интегрированному устройству, объединяющему в

едином конструктиве ПАЭ, предусилитель, АЦП и цифровой передатчик. Это устройство «цифровой датчик» и дало название архитектуре. Данное решение должно позволить добиться не только нового повышения уровня помехозащиты, но и снижения уровня собственных шумов аппаратуры и упрощения выпуска АЭ-систем во взрывозащищенном варианте.

Выводы

1. Для передачи и преобразования первичного сигнала с ПАЭ в набор АЭ-параметров в современных АЭ-системах используются три ключевых элемента: канал связи, АЦП и АЭ-процессор.
2. Имеются три возможных варианта их взаимного расположения, которые соответствуют традиционной архитектуре, цифровой модульной компоновке и архитектуре «цифровой датчик», каждый из этих вариантов характеризуется своими преимуществами и недостатками.
3. Все три возможных варианта архитектуры реализованы в современных АЭ-системах.

Библиографический список

1. РД 03-299–99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов. М., 1999. 32 с.
2. EN 13477-1-2001. Non-destructive testing. Acoustic emission. Equipment characterization. Part 1: Equipment description. Brussels, 2001.
3. EN 13477-2-2010. Non-destructive testing. Acoustic emission. Equipment characterisation. Part 2: Verification of operating characteristic. Brussels, 2010. 34 p.
4. Kaita Ito, Manabu Enoki. High sensitivity detection of AE events in noisy environment using stream re-

coding and parallel computation // Journal of Acoustic Emission. 2016. V. 33. P. 109–122.

5. Baensch F., Baer W., Wossidlo P., Habib A. Non-threshold Acoustic Emission analysis of damage evolution in pipe segments of steel S355J2H under bending load // Journal of Acoustic Emission. 2018. V. 35. P. 233–240.
6. ПБ 03-593–03. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. М.: ПИО ОБТ, 2003.
7. ГОСТ Р 55045–2012. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения. М.: Стандартинформ, 2019.
8. Елизаров С.В., Барат В.А., Шиманский А.Г. Интеллектуальная акустико-эмиссионная система SMART нового поколения // В мире неразрушающего контроля. 2014. № 3 (65). С. 26–29.
9. Пат. на изобр. RU 2660403. Способ беспороговой автоматической интеллектуальной регистрации сигналов акустической эмиссии устройством неразрушающего контроля / В. А. Барат, А. Г. Шиманский; опубл. 01.02.2017.
10. Пат. на изобр. RU 2267122. Многоканальная акустико-эмиссионная система для диагностики промышленных объектов и устройство регистрации и обработки акустико-эмиссионных сигналов / В.Г. Харебов, П.Н. Трофимов, А.Л. Алякритский и др.; опубл. 27.12.2005.
11. LVDS Owner's Manual. 4th ed. / National Semiconductor, 2011.
12. Implementing a Variable-Length Cat5e Cable Equalizer: Application report / Texas Instruments // SBOA125, 2010.

История НК

Заметки на полях



Уважаемые читатели!

Если у вас есть материалы, связанные с историей неразрушающего контроля: редкие фотографии людей, оборудования и объектов контроля, любопытные «дефектоскопические истории», присылайте их в редакцию журнала. Наиболее интересные материалы будут опубликованы на страницах журнала «Территория NDT».

Телефон редакции: (499) 393-30-25

E-mail: tndt@idspektr.ru

Ответы на кроссворд

По горизонтали: 1. Лэмб. 8. Сбой. 9. Закат. 11. Отказ. 12. Сканер. 13. Разъем. 15. Имитатор. 16. Стереорадиоскопия. 18. Структуроскоп. 21. Ярмо. 22. Усиление. 24. Инцидент. 25. Заков. 26. Эксперт. 27. Флокен.

По вертикали: 2. Блок. 3. Толщиномер. 4. Риска. 5. Виток. 6. Зазор. 7. Балансировка. 8. Стоунли. 10. Волна. 14. Радиоизотоп. 17. Проявитель. 19. Узел. 20. Пучность. 23. Наводка.