

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ АЭ ДИАГНОСТИКИ ЕМА-3.9

А.Я. НЕДОСЕКА<sup>1</sup>, С.А. НЕДОСЕКА<sup>1</sup>, М.А.ЯРЕМЕНКО<sup>1</sup>, М.А.ОВСИЕНКО<sup>1</sup>, Л.Ф.ХАРЧЕНКО<sup>1</sup>,  
Ю.А.СМОГОЛЬ<sup>1</sup>, С.А.КУШНИРЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИЭС им Е.О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>Одесский припортовый завод. 65000, Одесса, а/я 304. E-mail: nktd@opz.odessa.ua

Рассмотрены наиболее важные характеристики программы ЕМА версии 3.9 и сопутствующих дополнительных программ, используемых при периодическом контроле и непрерывном мониторинге промышленных объектов. Описан усовершенствованный алгоритм обработки АЭ информации, позволяющий повысить ее достоверность. Представлены алгоритмы определения координат источников АЭ при произвольном расположении датчиков на линейных объектах, в том числе с применением матричной локации. Проанализирован алгоритм кластеризации, позволяющий проводить ее по любым параметрам с применением критериев фильтрации данных, что обеспечивает более эффективную отбраковку технологических шумов и детальный анализ информации. Реализована возможность автоматической коррекции установленных порогов амплитудной дискриминации через заданное время, что особенно важно при проведении постоянного АЭ мониторинга действующих конструкций. Реализована возможность трехмерного отображения цилиндрических объектов с указанием, в частности, уровня заполнения резервуаров. Реализованы графическое и табличное отображение распределений параметров АЭ по каналам и корреляции между каналами. Описана встроенная система программирования. Представленные новые возможности и особенности программного обеспечения ЕМА-3.9 позволят расширить сферу использования систем семейства ЕМА при проведении АЭ диагностики самых различных промышленных изделий. Библиогр. 4, рис. 9.

*Ключевые слова:* система АЭ диагностики, формирование событий АЭ, кластеризация и фильтрация информации, локация событий АЭ, амплитудная дискриминация, встроенная система программирования

Обзорные материалы по программному обеспечению (ПО) систем акустико-эмиссионной (АЭ) диагностики ЕМА впервые были опубликованы в 2005 г. [1]. За это время на базе опыта практического применения систем, взаимодействия с пользователями и учета мирового опыта последовательно выполнялись модернизация и расширение возможностей ПО. При создании новых программ, расширении возможностей существующей версии программы изменяется номер версии при кардинальной смене базовых возможностей и их визуального представления в программе. В данной публикации рассмотрим наиболее важные особенности программы ЕМА версии 3.9 и сопутствующих дополнительных программ, используемых при периодическом контроле и непрерывном мониторинге промышленных объектов.

Отметим, что программа ЕМА-3.9, как и предшествующие версии, разработана в среде Microsoft Visual Studio 6 по требованиям Windows SDK, что обеспечивает ее работоспособность на базе всех существующих 32-разрядных операционных систем Microsoft для ПК, начиная с Windows 95 и заканчивая Windows 8, а также на 64-разрядных. Хотя программа и создавалась для работы с конкретным оборудованием [2], она является аппаратно незави-

симой и позволяет использовать измерительные АЭ системы различных производителей. Также предусмотрен так называемый пакетный режим обработки данных. Программа может быть вызвана из командной строки с именем обрабатываемого файла, при этом выполняется его фоновая обработка, что позволяет анализировать любые совместимые по формату данные, полученные с применением данного или стороннего ПО на АЭ системах различных типов.

Нумерация версии 3.9 выбрана, исходя из соображения, что оборудование АЭ диагностики четвертого поколения в данный момент находится в стадии окончательных доработок и тестирования. После полной интеграции ПО с указанным оборудованием модернизированная программа получит новый индекс. Выполненные после представления ЕМА-3.5 в 2005 г. усовершенствования и доработки позволяют говорить о принципиально новом программном продукте, поскольку изменились многие наиболее важные внутренние алгоритмы обработки данных и внешнее визуальное представление их.

Прежде всего за прошедший период проведено детальное исследование влияния методов обработки акустико-эмиссионной информации



на формирование АЭ событий и определение их координат [3]. В частности, показано, что существуют два основных подхода к формированию событий АЭ на основе пришедших на датчики и вызвавших их срабатывание сигналов:

- включать в событие все срабатывания датчиков АЭ, зарегистрированные в установленный достаточно малый, промежуток времени;
- включать в событие фиксированное число срабатываний датчиков АЭ на основании заранее заданного признака.

Рекомендуется использовать в системах АЭ контроля оба варианта формирования событий [3]. Для этого в программе создан усовершенствованный алгоритм, обеспечивший управляемый набор АЭ данных в события с регулируемым пользователем признаками. Временной период, за который происходит объединение срабатываний в событие, задается так называемым стробом (также используется название «мертвое время») – интервалом времени, в течение которого все срабатывания датчиков АЭ,

зарегистрированные данной локационной антенной, считаются относящимися к одному и тому же физическому событию. Использование измененного способа формирования событий в режиме реального времени позволило, в частности, повысить точность локации источников АЭ при неравномерном расположении датчиков на поверхности контролируемых объектов при линейной локации. Алгоритм прошел опытное тестирование в лабораторных условиях на Одесском припортовом заводе при контроле трубопроводов Киевской теплосети и др. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1. Следует отметить, что при зонной локации события формируются из единичных срабатываний отдельных датчиков, что и нашло отражение в приведенной блок-схеме.

В программе ЕМА-3.9 объединены интерфейсы настройки процессов кластеризации и фильтрации АЭ данных с одновременным расширением их возможностей. До настоящего времени основным алгоритмом кластеризации предусма-

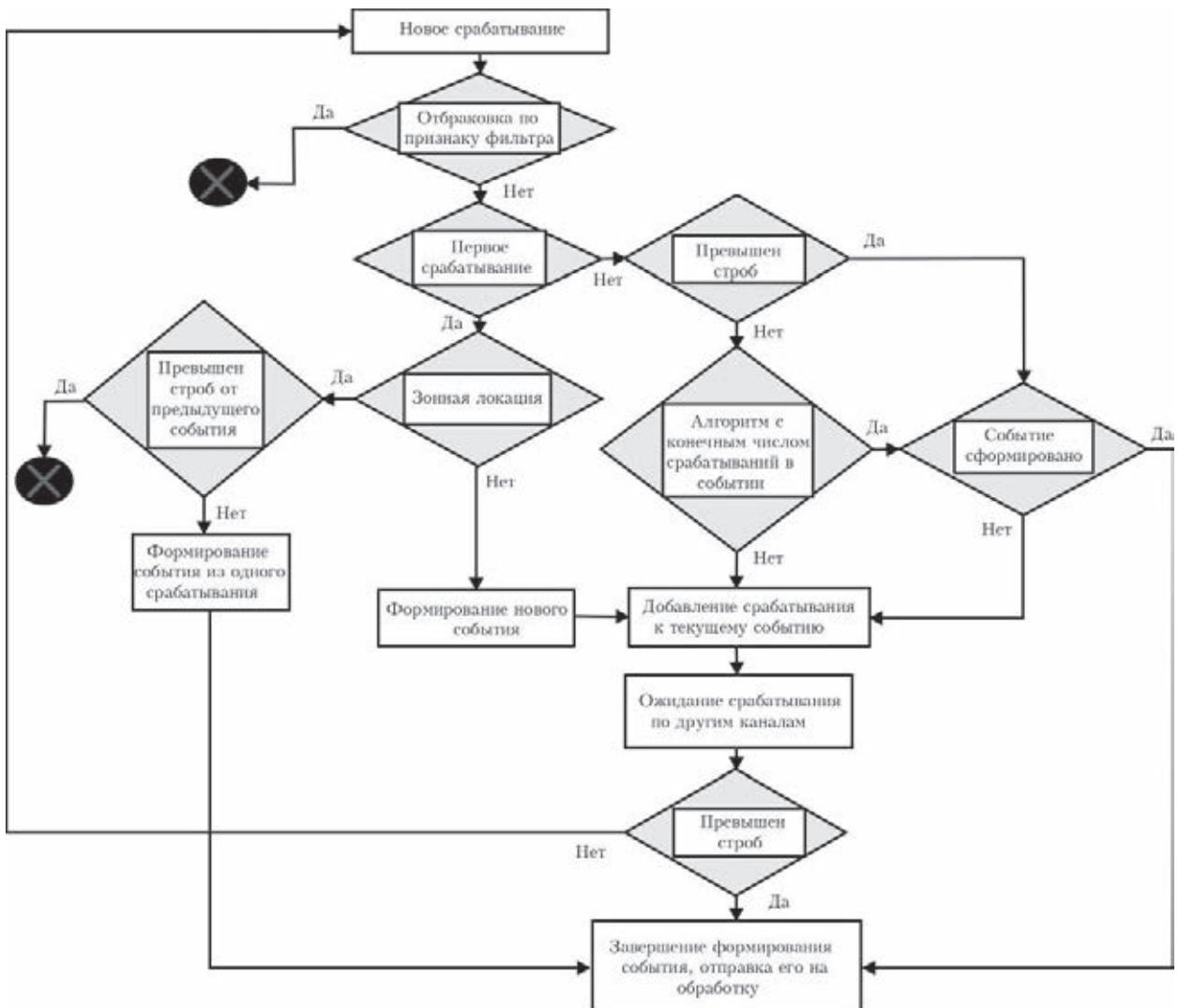


Рис. 1. Блок-схема формирования событий в программе ЕМА-3.9

тривалось создание кластеров, в которые события объединяли по координатному признаку.

Созданный новый алгоритм кластеризации позволяет выбрать любую комбинацию следующих признаков, характеризующих сигнал АЭ: координата, амплитуда, время нарастания, длительность, число осцилляций, скорость, частота, энергия, уровень шума. Это дало возможность более детального проведения классификации обнаруженных дефектов и анализа АЭ информации в целом. Полученные события АЭ можно фильтровать по тем же признакам, по которым проводится их кластеризация.

Критерии фильтрации параметров задаются минимальным и максимальным значениями. Совместное использование нескольких полос фильтрации и объединения по требуемым параметрам в кластеры обеспечивает более эффективную отбраковку технологических шумов и детальный анализ информации. Программа обеспечивает выбор между фильтрацией параметров на входе, с отсечением ненужной информации, и фильтрацией, выполняемой после формирования событий. Применение этих алгоритмов на практике показало, что полезными являются обе возможности, но первой следует отдать предпочтение, поскольку сокращается, иногда весьма существенно, объем сохраняемых и обрабатываемых данных.

Использование нового алгоритма формирования событий АЭ позволило создавать матрицу задержек сигналов АЭ при линейной локации. Ранее линейная локация всегда выполнялась по расчетному алгоритму. Локация на основе матрицы задержек позволяет минимизировать ошибки и исключить попадание координат событий в недопустимую область. Алгоритм реализован для всех используемых в программе типов линейных локационных антенн. Создание матрицы происходит на основе заранее определенной скорости распространения звука в материале, при изменении заданной скорости происходит автоматический пересчет матрицы, на основе которой затем определяются координаты событий АЭ.

Проведенная модернизация потребовала изменения формата файлов настроек ЕМА-3.9 с сохранением совместимости (старые файлы могут быть прочитаны и использованы новыми версиями программы). Учитывая, что настройки сохраняются также и в файлах результатов испытаний, данное изменение относится и к ним. Окна настройки программы ЕМА-3.9 содержат новый интерфейс с общей таблицей ввода параметров для кластеризации и фильтрации (рис. 2). Изменения можно выполнять в реальном времени как при настройке, так и при проведении реальных испытаний или непрерывного АЭ мониторинга.



Рис. 2. Задание свойств антенны в окне точной настройки программы ЕМА-3.9 (в центральной части окна – таблица с задаваемыми параметрами фильтрации и кластеризации)

Вкладка «Свойства антенны» позволяет установить полосовые цифровые фильтры для таких параметров событий АЭ, как длительность, число осцилляций, время нарастания сигнала до максимума, амплитуда АЭ, средняя частота сигнала и др. Устанавливают верхнюю и нижнюю границы полосы. Для включения и выключения фильтра выделяют мышью соответствующие поля в левой колонке таблицы. Если локационная антенна АЭ поддерживает режим матричной локации (для линейных, плоскостных и цилиндрических антенн), в окне можно изменять параметры матрицы в реальном времени. Это отражается на обработке событий АЭ и расчете их координат.

Выбор одного из трех флажков в правой части окна определяет способ формирования событий:

- ограничивает формирование неполных событий по заданному признаку. Обычно для линейных локационных антенн таким признаком является срабатывание не менее двух датчиков АЭ, для плоскостных – не менее трех. Увеличенные значения данного признака уменьшает число регистрируемых событий, но повышает достоверность их формирования;

- позволяет задействовать алгоритм формирования событий по фиксированному числу срабатываний. При этом срабатывания по большему числу каналов, пришедшие в течение времени строка, к событию не добавляются;

- отслеживает порядок срабатываний с точки зрения их логической последовательности. При большом числе событий позволяет отбраковать многие из них, при малом – снятие данного флажка позволит увеличить их число.

Одной из особенностей ПО систем ЕМА является работа не только с акустической, но и технологической информацией, которая вводится в систему в виде так называемых низкочастотных (НЧ) параметров: нагрузки, давления, деформации, температуры и т.д.

Тарировка низкочастотных параметров для правильной интерпретации их числовых значений имела уже в ранних версиях ЕМА-3. К настоящему времени добавлена возможность настройки



коэффициентов и тарировочных функций непосредственно в процессе проведения измерений. Изменения отображаются на графиках реального времени, что позволяет быстро подобрать необходимый вид тарировки. Кроме того, в случае невозможности введения в систему какого-то из НЧ параметров электрическим или программным способом, предусмотрен ручной ввод и экстраполяция НЧ. Добавлена возможность ввода текущего значения низкочастотных параметров и обратной их экстраполяции в процессе проведения измерений. Это позволяет получить ступенчатую или представленную наклонными отрезками кривую изменения низкочастотного параметра, например, текущего давления.

Расширены возможности обработки данных АЭ, в частности:

- расчет активности АЭ и времени отсутствия активности – «тишины»;
- расчет распределения параметров сигналов по отдельным АЭ каналам;
- расчет корреляции непрерывной АЭ по отдельным каналам;
- расчет локальной скорости звука для каждого зарегистрированного события АЭ.

Реализована возможность автоматической коррекции установленных порогов амплитудной дискриминации через заданное время. Указанная доработка очень важна для автономной работы системы во время мониторинга, так как позволяет вовремя реагировать на изменения акустического фона без вмешательства оператора.

Существенно переработан общий интерфейс программы.

Изменена цветовая гамма основных окон и панели инструментов. Менее яркие цвета обеспечивают лучшую эргономику. Более крупные надписи облегчают читаемость информации. Вместо манипуляторов для изменений размеров частей экрана используются стандартные разделители по аналогии с Проводником Windows.

Для окон анализа данных, точной настройки и графиков реального времени введен режим регулируемой прозрачности, что позволяет при работе просматривать информацию за ними.

В верхней части основного окна программы расположена программируемая информационная строка с возможностью анимации текста. Новый интерфейс основного окна содержит область с закладками, доступ к которым имеется постоянно. Выбор закладки обеспечивает переход в одно из наиболее часто используемых окон программы – информации, испытаний, графического редактора. Это обеспечивает также возможность просмотра информации и построения графиков с заданными параметрами непосредственно в процессе проведения испытаний.

Окно информации содержит новую область – график, который отображает табличные данные из списка окна информации. При выборе другого содержания списка график автоматически обновляется. Каждый из представленных в списке параметров может быть представлен на графике или отключен. Имеется выбор типа графика – точечный, столбчатый, линейный, ступенчатый. Положение графика и его размер являются настраиваемыми. Возможно также отключение графика, в этом случае окно информации выглядит как в предыдущих версиях программы.

Расширена отображаемая информация о событиях АЭ. Каждое срабатывание датчика (рис. 3) при табличном анализе содержит информацию о событиях АЭ, к которым оно было отнесено (если срабатывание не было отнесено ни к одному событию, то указываются признаки, по которым произошла отбраковка). В случае отбраковки событий в соответствующей таблице указываются критерии, по которым она проводилась. Добавлены также сведения о частоте, энергии события и расчетной локальной скорости звука в материале.

Рассмотренные доработки вместе с возможностью графического отображения, сортировки и фильтрации списка позволяют существенно расширить информативность системы и проводить сложный комплексный анализ полученных данных. Кроме того, допущенные оператором при настройке системы ошибки могут быть легко обнаружены и исправлены.

Существенно повышена информативность окна испытаний. В левой области экрана изменено представление данных. Теперь данные по текущим значениям НЧ и АЭ параметров сведены в таблицу, обновляемую в режиме реального времени при испытаниях и компьютерном повторе. Таблица АЭ параметров показывает, сколько событий АЭ зарегистрировано по каждой антенне, сколько создано кластеров и сколько событий отнесено к имеющимся кластерам.



Рис. 3. Окно информации программы ЕМА-3.9 с данными о срабатываниях датчиков (в нижней части окна – график, где в качестве отображаемых параметров выбраны длительность срабатывания и средняя частота)

Экран локации в новой версии обеспечивает вывод как всех используемых при проведении АЭ контроля локационных антенн одновременно, так и, по желанию пользователя, нужной антенны (рис. 4). Для повышения наглядности в местах формирования АЭ событий появляется вспышка. Данная опция может быть, как и мигание датчиков при индикации события, отключена пользователем.

Реализована возможность отображать, по желанию, цилиндрические объекты контроля в трехмерном отображении, с настройкой сетки, цветов и других визуальных параметров (рис. 5). Отдельно отметим возможность автоматического поворота цилиндра к месту с наибольшей АЭ активностью и отображение линии уровня заполнения резервуара жидкостью.

Добавлена возможность отображения в реальном времени текущей активности АЭ, представляющей собой отношение количества событий к временному интервалу их поступления, и времени, в течение которого информация не поступала.

Оптимизирована работа и расширены возможности настройки графиков реального времени. При построении столбчатых и точечных графиков данные добавляются только при появлении новых событий. Имеется возможность выноса графиков реального времени из окна испытаний в отдельное окно и обратно. Для графиков также предусмотрена настройка цвета, шрифта, сетки, наименований отображаемых параметров и интервала обновления.

Полностью изменен интерфейс построения пользовательских графиков.

В окне графического редактора создана специальная область для управления графиками (рис. 6). Это позволяет выполнять функции, ранее выполняемые при помощи мастера графиков, непосредственно в окне редактора, что упрощает и ускоряет процесс создания и изменения графиков. Если тип графика изменять не требуется, его построение выполняется про-

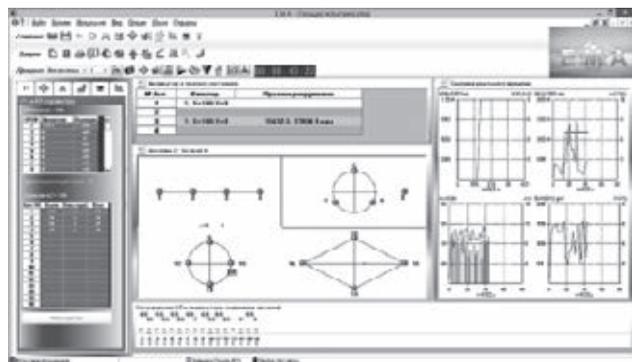


Рис. 4. Окно испытаний программы ЕМА-3.9 с отображением четырех локационных антенн (над экраном локации – область прогноза разрушения; слева – таблицы АЭ и НЧ данных, справа – графики реального времени; под экраном локации – значение непрерывной эмиссии)

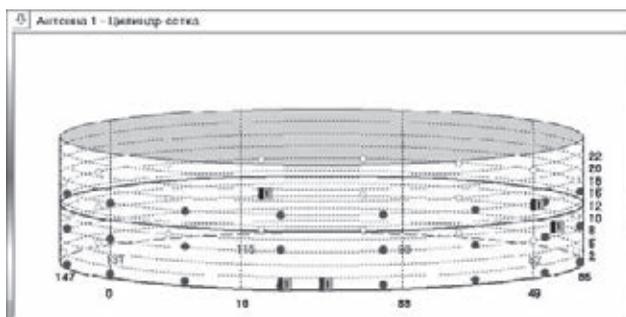


Рис. 5. Экран отображения трехмерного цилиндра в окне испытаний при контроле резервуара. Показаны три ряда установленных датчиков АЭ, кластеры с координатами источников АЭ и линия уровня налива жидкости

стым нажатием кнопки, что существенно сокращает время выполнения данной операции. Добавлена возможность выбора пользовательского цвета по шкале RGB. Установка цвета выполняется ползунковыми регуляторами, выбор цвета – щелчком мыши в специальной области.

В программе добавлены ранее не использованные возможности анализа данных – распределение значений параметров АЭ по каналам и корреляция между каналами. Созданное для этого новое окно анализа данных содержит вкладки для просмотра и настройки анализа в графическом виде. В реальном времени доступно автообновление текущего экрана с заданным интервалом.

Окно анализа данных предназначено для просмотра и дополнительного анализа получаемых АЭ данных, в том числе с возможностью автоматического обновления в реальном времени. Оно состоит из трех основных экранов. Переключение экранов выполняется при помощи кнопок панели инструментов. Экран 1 (см. рис. 6) содержит данные по кластерам, во многом аналогичен данным в окне информации, позволяет просмотреть по кластерам выбранной антенны данные событий АЭ и относящихся к ним срабатываний датчиков. Экран 2 (рис. 7) позволяет выбирать и сравнивать данные по отдельным каналам АЭ в виде распределения параметров.

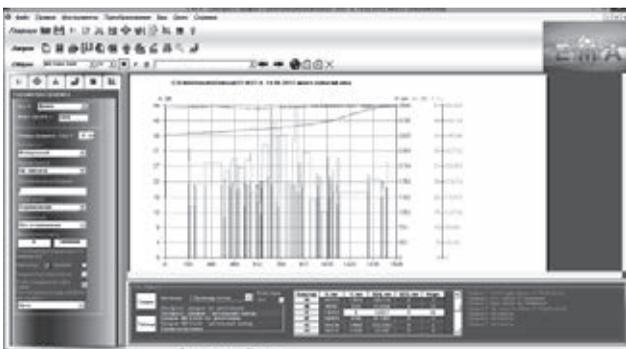


Рис. 6. Окно построения графиков программы ЕМА-3.9, совмещенное с графическим редактором (в левой части окна – выбор числа и типа графиков, в нижней – выбор отображаемых на графике данных)

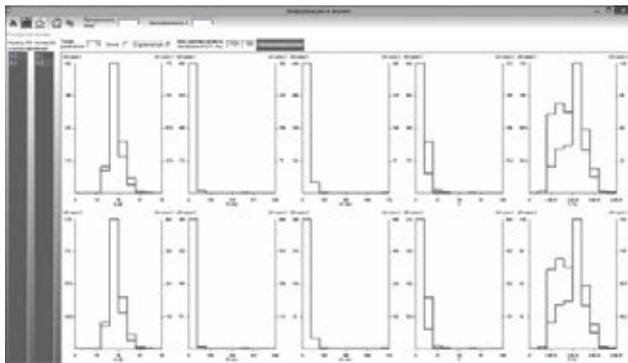


Рис. 7. Окно анализа данных программы ЕМА-3.9 с графиками распределений данных АЭ по каналам

На каждом графике могут быть представлены данные двух каналов АЭ. В ряду графиков для канала представлены результаты распределения для пяти параметров: амплитуда  $A$ , райс тайм  $R$ , длительность  $W$ , число осцилляций  $C$ , частота  $F$ .

Принцип построения графиков следующий:

- каналы АЭ № 1 и № 2 для каждой серии графиков горизонтального ряда можно выбрать в списке слева;

- весь диапазон значений отображаемого параметра, зарегистрированных в процессе измерения, разбивается на полосы в соответствии со значением текстового поля «число точек разбиения»;

- по оси ординат откладывается значение параметра в данной полосе (максимум), по оси абсцисс – число вхождений параметра.

Для графиков предусмотрен выбор типа графика (столбчатый или ступенчатый), отображение–скрытие сетки. При большом числе рядов графиков отображение может быть слишком мелким, поэтому предусмотрено изменение размеров рабочей области заданием высоты и ширины.

Экран 3 отображает столбчатый график корреляции заданного числа данных непрерывной АЭ для выбранного канала с остальными каналами (рис. 8).

Выбор данных осуществляется вводом в текстовое поле «Точек», а также при помощи флажков «Все», «Последние» и ползункового регулятора «Начать с».

Под каждым столбиком отображается номер канала, для которого рассчитывалась корреляция с выбранным в списке, над столбиком показан коэффициент корреляции.

При установке ненулевого значения в поле «Автообновление» текущий экран окна анализа данных будет обновляться в реальном времени с указанным в поле интервалом.

Опыт эксплуатации систем ЕМА на производстве, в том числе в режиме непрерывного мониторинга, показал, что одной из наиболее важных задач является автоматизация повторяющихся и трудоемких операций. Ряд представленных выше программных средств решает некоторые частные вопросы автоматизации. К сожалению, далеко не

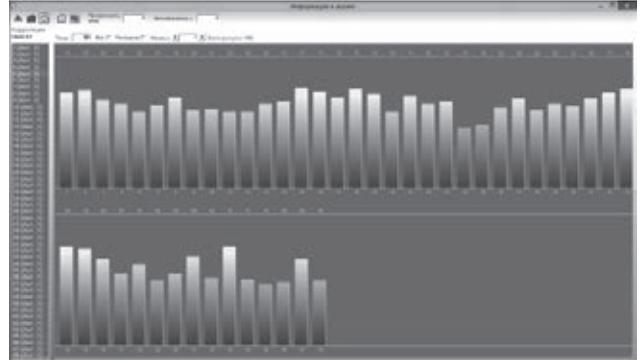


Рис. 8. Окно анализа данных программы ЕМА-3.9 с графиками корреляции шумов по каналам

всегда очевидно заранее, какие именно операции придется автоматизировать, исходя из разнообразия объектов контроля, условий их эксплуатации и возникающих пожеланий персонала, эксплуатирующего системы.

В связи с этим было принято решение создать наиболее универсальное средство автоматизации – расширение возможностей программы без изменения внутренней ее структуры за счет добавляемых динамически программных модулей. Такая система расширения функциональности используется, в частности, в программном пакете MSOffice (рис. 9).

Программа ЕМА версии 3.9 оснащена встроенной системой программирования. Программы могут выполняться непосредственно в окне программирования с выводом в окно отладки. Также они могут быть встроены в основной алгоритм программы, изменяя стандартные процедуры ЕМА-3.9 тремя способами:

- в начале предопределенного события;
- вместо предопределенного события;
- по завершении предопределенного события.

Задание обработчиков событий создается в окне конфигурации, на вкладке «Программиро-



Рис. 9. Окно конфигурации программы ЕМА-3.9 с настройкой событий, обрабатываемых пользовательскими программами



вание». Программы пишутся на языке VBScript и хранятся в файлах с расширением «.bas».

Язык VBScript соответствует спецификации, созданной компанией Microsoft, справка по языку доступна на сайте компании. Окно программирования содержит в верхней области информацию об объектах и их свойствах, доступных программе. В качестве таких объектов, в частности, выступают результаты измерений, настройки программы и ряд ее компонентов, включая основные рабочие окна.

Справа от браузера объектов расположена область их свойств, методов и событий, ниже перечисляются, если они имеются, параметры процедур. Далее находится область редактора программного кода, справа от нее окно вывода, куда можно направить выходные строковые данные командой «Output». Кнопка «Очистить окно» стирает выведенные данные. Кнопка «Поиск» позволяет найти в редакторе кода необходимый набор символов. Поиск выполняется от текущей позиции до конца текста, циклический возврат в начало не предусмотрен. В окне отладки отображаются ошибки программного кода с указанием строки, номера и описания ошибки.

Командная строка позволяет вызывать команды на языке VBScript и процедуры, написанные в окне кода. Для запуска команды или процедуры необходимо ввести в командной строке ее имя и нажать клавишу «Enter».

Если в окне конфигурации был задан пользовательский обработчик события, основной код соответствующей программы ЕМА-3.9 будет заменен на пользовательский, который будет выполняться при каждом возникновении соответствующего события. Таким образом, создана возможность дополнительного анализа обрабатываемых данных или же полностью альтернативной их обработки. В частности, можно полностью изменить механизм формирования событий, расчета их координат, особенности вывода на экран, табличного и

графического представления и т.д. Это не только расширяет функциональность программы, но и дает возможность экспериментировать с обработкой данных, расширяя накопленный научный и практический опыт [4], который, несомненно, пригодится при создании последующих версий программного обеспечения.

Отметим, что ряд выполненных перечисленных выше разработок и модернизаций является результатом тесного взаимодействия разработчиков систем АЭ контроля и мониторинга различных модификаций с их пользователями, выполнения совместных исследований и анализа возникших при этом замечаний и предложений.

## Выводы

Представлены новые возможности и особенности программного обеспечения ЕМА-3.9 для систем АЭ диагностики.

Выполненные разработки и модификации, включая изменения в обработке данных, интерфейсе, информативности и средствах автоматизации выполняемых задач, позволяют повысить эффективность применения систем АЭ диагностики с программным обеспечением ЕМА-3.9, расширить сферу перспективных лабораторных исследований, развить потенциал их промышленного применения.

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. Приборы для акустико-эмиссионного контроля и диагностики сварных конструкций / А.Я.Недосека, С.А.Недосека, А.А.Грузд и др. // Автомат. сварка. – № 8. – 2010. – С. 58–61.
3. Недосека С. А., Недосека А. Я., Овсиенко М. А. Влияние методов обработки акустико-эмиссионной информации на формирование АЭ событий и определение их координат // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2011. – № 2. – С. 5–14.
4. Опыт ИЭС им. Е.О. Патона в области акустико-эмиссионного контроля / Б.Е. Патон, Л.М. Лобанов, А.Я. Недосека и др. // Там же. – 2012. – № 1. – С. 7–22.

The paper deals with the most important characteristics of EMA program, version 3.9, and associated additional programs used in periodical testing and continuous monitoring of industrial facilities. An improved algorithm of AE data processing, allowing improvement of data validity, is described. Algorithms of determination of AE source coordinates at random arrangement of transducers on linear objects, in particular those with application of matrix location, are presented. Clusterization algorithm is analyzed, which allows conducting it by any parameters with application of data filtration criteria that ensures a more efficient elimination of technological noise and detailed analysis of data. Capability of automatic correction of set thresholds of amplitude discrimination after the preset time is realized that is particularly important during performance of continuous AE monitoring of structures in service. Capability of 3d representation of cylindrical objects is realized, with indication, in particular, of the level of tank filling. Graphic and table representation of AE parameters distribution along the channels and interchannels correlation are realized. Built-in programming system is described. The presented new capabilities and features of EMA-3.9 software will allow widening the sphere of application of EMA family systems during performance of AE diagnostics of the most diverse industrial items.

*Keywords:* AE diagnostic system, AE event formation, data clusterization and filtration, AE event location, amplitude discrimination

Поступила в редакцию  
03.04.2013