



Филоненко С.Ф., Стахова А.П.

Национальный авиационный университет. Украина, Киев

АКУСТО-ЭМИССИОННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Анотація

Розглянуто концепцію та структуру побудови акусто-емісійних систем, які призначені для дослідження процесів зношування поверхневих шарів матеріалів і діагностики вузлів тертя. Показано, що використання засобів технології LabCard дозволяє провести розподіл функцій між електронними та програмними засобами систем. При цьому програмні засоби мають пріоритет. Показано, що існування загальних елементів систем дозволяє формувати єдину логіку управління і єдині засоби програмного забезпечення.

Abstract

The concept and structure of acoustic emission systems construction that intended for research of processes the surface layers deterioration of the materials and diagnostic of friction clusters is reviewed. Is shown, that the draft of the technology LabCard means allows to conduct distribution a functions between systems electronic and software. Thus the software have priority. Is shown, that the availability of systems common members allows to form the unified logician of control and unified means of the software.

Введение

Комплекс физико-химических процессов, которые протекают при трении и изнашивание поверхностных слоев материалов, определяет природу источников и специфику излучения сигналов акустической эмиссии (АЭ). Как показывают исследования, в отличие от статических испытаний материалов, где наблюдается импульсная последовательность регистрируемых сигналов АЭ [1, 2], при развитии процесса трения регистрируется непрерывный сигнал АЭ [3, 4]. Различие в сигналах АЭ и процессах их излучения формирует определенные требования, которые должны предъявляться к аппаратным средствам и методам обработки сигналов АЭ. Это, в первую очередь, относится к методам регистрации и обработки исходной информации о сигналах АЭ, т.е. методам обработки импульсных или непрерывных сигналов. Подобные требования, безусловно, приводят к ограничению возможности применения одних и тех же АЭ приборов и систем для исследования статических и динамических процессов излучения сигналов АЭ.

Рассматривая концептуальную часть аппаратных средств, используемых для регистрации и обработки сигналов АЭ, как при статических, так и динамических видах испытаний материалов, можно выделить три основных направления, используемых при их построении [5]: аналоговое, аналого-цифровое и цифровое. Общим элементом для всех трех направлений (концепций) является преобразование упругих смещений, возникающих в материале, в электрический сигнал и его предварительное усиление, что обусловлено низким уровнем сигнала, регистрируемого на выходе первичного преобразователя. В дальнейшем используются различные подходы в обработке сигналов АЭ.

В аналоговом способе сигналы АЭ, после их усиления, поступают или непосредственно в блоки аналоговой обработки или на вход детектора, который используется для выделения огибающей регистрируемых сигналов, а в дальнейшем на блоки аналоговой обработки. В аналоговом способе обработки сигналов АЭ для получения какой-либо зависимости изменения регистрируемых параметров, осуществляется жесткая аппаратная реализация вычислительного алгоритма. В то же время, предусматривается некоторая свобода в регулировании исходных условий: порога ограничения, частотной полосы пропускания, коэффициента усиления и других характеристик, но она не позволяет осуществлять принципиальные изменения самого алгоритма обработки. При этом в качестве регистрирующей аппаратуры используются самопишущие приборы. Для расширения набора вычислительных алгоритмов используются блочные наращиваемые модули, примером которых являются разработки фирмы "Bruel and Kjer" [6].

В аналого-цифровом способе обработка сигналов АЭ, осуществляется аналогично аналоговому способу. Однако с выхода блоков аналоговой обработки информация поступает не только на регистрирующую аппаратуру, но и в блоки цифровых преобразований с последующей передачей цифровых кодов в компьютер. Фактически в компьютер осуществляется ввод цифровых значений аналоговых диаграмм изменения параметров сигналов АЭ с привязкой ко времени (давлению, деформации, температуре, и т.д.). Это позволяет проводить автоматизацию сбора, накопления и статистическую обработку информации для поис-

ка корреляционных связей между параметрами импульсных потоков АЭ и параметрами диаграмм деформирования материалов.

Цифровой способ является более сложным. Он базируется на разработке определенных концепций построения АЭ комплексов, создании жестких и гибких алгоритмов, а также программных продуктов для анализа и вывода информации, систем управления и систем контроля состояния аппаратуры, в соответствии с принятыми концепциями [7–11]. Разрабатываемые комплексы широко применяются при статических и динамических видах испытаний материалов и изделий. Однако, несмотря на различия в процессах излучения сигналов АЭ (импульсная последовательность или непрерывный сигнал), используются одни и те же виды обработки регистрируемой информации. Это обеспечивается тем, что с введением порога ограничения по амплитудному признаку производят трансформацию непрерывного сигнала, регистрируемого при динамических испытаниях, в импульсную последовательность сигналов АЭ. Такой подход противоречит физическим представлениям о развивающихся динамических процессах, и не применим при разработке методов диагностики изделий. В первую очередь, это относится к АЭ комплексам, которые должны обеспечивать гибкость в управлении видами обработки, анализа информации и представления его результатов, в зависимости от вида регистрируемого процесса, целей и задач проводимых исследований.

В статье будут рассмотрены АЭ системы диагностики узлов трения, распределенные структуры которых определяются решаемыми задачами. Будет показано, что использование средств технологии LabCard позволяет провести перераспределение функций между аппаратными и программными средствами систем. Минимизация

электронных средств с жесткой аппаратной реализацией первичной обработки информации и приоритет гибких программных средств позволяет формировать единые структуры управления системами, а также обработки и анализа регистрируемой информации.

Концепция построения акусто-эмиссионных систем АЭ системы, которые базируются на средствах вычислительной техники (ПК), позволяет использовать максимальные возможности современных инструментальных средств, направленных на создание измерительных лабораторий. К таким средствам относятся средства технологий LabCard и LabView, которые предполагают широкое использование программного управления элементами системы, процессами измерения, обработки информации и представления ее результатов. Первая технология базируется на использовании среды Borland C (C++), а вторая – на использовании собственной программной оболочки. Однако обе технологии используют одни и те же инструментальные средства – порты ввода-вывода (ПВВ) аналоговой и цифровой информации. Они располагаются на шине персонального компьютера (ПК). С учетом возможностей средств вычислительной техники (объем памяти, скорость ввода и обработки информации, графический экран вывода, цифровой обмен данными и другие), программное управление устройствами ПВВ и ПК позволяет строить информационно-измерительные системы (ИИС) с перераспределением функций между ее элементами систем. Приоритетность программного обеспечения и базовых элементов ИИС (ПК и ПВВ) обеспечивает минимизацию внешних электронных средства, не входящих в структуру самого ПК. При этом выбор одной из технологий (LabCard и LabView) для реализации ИИС основывается на представлении ее концептуальной части (рис. 1).



Рис. 1. Структура концептуальной части акусто-эмиссионных систем диагностики узлов трения

Как было отмечено выше, в отличие от импульсных сигналов АЭ, регистрируемых при статических видах испытаний, при динамическом нагружении материалов (испытания на трение) результирующий сигнал АЭ во времени представляет собой непрерывный сигнал. Если статические испытания являются кратковременными (минуты и десятки минут), то испытания на трение могут быть, как кратковременными (минуты и десятки минут), так и длительными (часы, сутки, единицы суток). При общем подходе к преобразованию входного процесса в цифровые коды различия в длительности проводимых испытаний и процессах излучения сигналов требует использования различных принципов хранения сигналов АЭ и методов их обработки.

В зависимости от длительности проводимых испытаний возможно использование физического или логического уровней хранения информации в ПК. При кратковременных испытаниях возможно использование физического уровня устройств запоминания информации. Например, если объем устройства запоминания (жесткого диска) составляет 2 Гбайта, интервал дискретизации аналого-цифрового преобразователя — 10 мкс, то время записи входного процесса на физическом уровне построения устройства запоминания составит 5,5 часа. Такое хранение исходного процесса позволяет проводить его неоднократную вторичную обработку (рис. 1). При длительных испытаниях обработка сигналов АЭ должна осуществляться непосредственно в процессе регистрации информации (рис. 1).

Совершенно очевидным является то, что обработка параметров непрерывного сигнала АЭ должна проводиться с усреднением его значений. При этом условия формирования интервалов усреднения при кратковременных и длительных испытаниях различаются между собой. В первом случае, выбор интервала усреднения является гибким, а его минимальное значение будет определяться из соотношения объема записанной информации и максимального объема формируемого массива данных, который имеет определенные ограничения (определяется средой программирования). Во втором случае, выбор интервала усреднения является жестким, и будет определяться не только условиями испытаний (скорость вращения пары трения, время записи информации, максимально возможный объем формируемого массива данных и другие), но и условиями вывода зависимостей изменения параметров сигналов АЭ (параметрами графических окон вывода информации). Безусловно, что при использовании обработки с усреднением будут существовать ограничения и на набор (количество) анализируемых параметров сигналов АЭ.

Таким образом, концептуальная часть АЭ систем для динамических испытаний предполагает построение распределенных систем, структуры и логика работы которых определяются условиями хранения и обработки информации — долговременное хранение входной информации с использованием физического уровня построения устройств запоминания и неоднократной ее обработкой, обработка входной информации в реальном масштабе времени.

Структура построения акусто-эмиссионных систем

Условия хранения и обработки информации при динамических испытаниях материалов определяют, и выбор технологии реализации концептуальной части распределенных АЭ систем. Как было отмечено выше, при наличии единых инструментальных средств, устанавливаемых на шине ПК, технология LabCard, использующая среду программирования C++, позволяет работать с устройствами ПК на физическом уровне их построения. Прежде всего, на физическом уровне построения устройств запоминания информации, что поддерживается специальными функциями среды программирования, разрешающими доступ к физическому уровню построения устройств запоминания, в соответствии с принятыми структурами хранения информации. Это обеспечивает реализацию направления долговременного хранения исходной информации с неоднократной вторичной ее обработкой. При этом в полной мере реализуется и второе направление — обработка сигналов АЭ при проведении длительных испытаний, т.е. обработка сигналов АЭ в реальном масштабе времени.

Таким образом, общие структуры АЭ систем для кратковременных и длительных испытаний пар трения состоят из двух основных частей (рис. 2): электронной части и ПК с инструментальными средствами технологии LabCard.

Электронная часть АЭ систем предназначена для решения двух основных задач. Во-первых, преобразование упругих смещений, возникающих при протекании физико-химических процессов в поверхностных слоях материалов, в электрический сигнал при помощи датчик АЭ (рис. 2). Во-вторых, усиление сигналов с выхода датчика при помощи усилителя сигналов АЭ до уровня, достаточного для проведения их дальнейшей обработки. Вторая часть систем предназначена для преобразования сигналов АЭ в цифровые коды, проведения их обработки и представления результатов анализа. Отметим, что электронная часть систем работает по жесткому и неизменному алгоритму, а основные операции выполняются в ПК с использованием гибких программных средств.

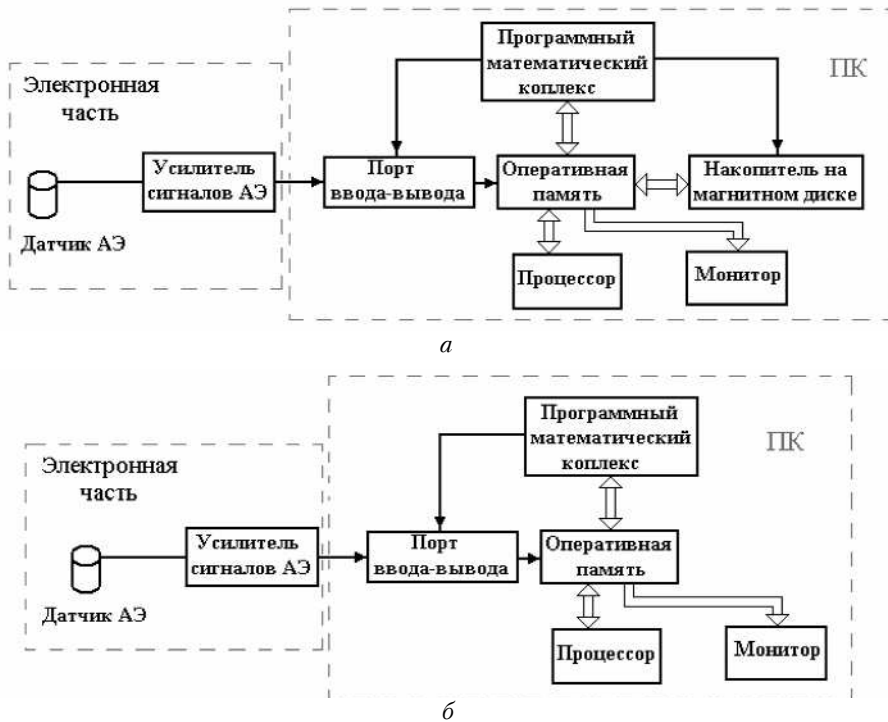


Рис. 2. Структуры АЭ систем диагностики пар трения:
 а – при проведении кратковременных испытаний;
 б – при проведении длительных испытаний

Поэтому электронную часть систем будем считать внешней, а вторую часть систем — внутренней.

Внутренняя часть систем (рис. 2) состоит из ПВВ и устройств ПК — оперативной памяти, магнитного диска, процессора, монитора. Из рис. 2 видно, что различие реализации концепции построения систем для проведения кратковременных и длительных испытаний определяется различием конфигурирования устройств, входящих во внутреннюю часть систем. В системе для кратковременных испытаний (рис. 2, а) используется накопитель на магнитном диске, который предназначен для хранения исходной информации на физическом уровне его построения. В системе для проведения длительных испытаний (рис. 2, б) осуществляется непосредственная обработка входной информации с выводом результатов на экран монитора. Так как все элементы внутренней части систем являются программно доступными, то управление режимами их работы осуществляется с использованием гибких алгоритмов. Их модификация не требует изменения структуры внутренней части систем, а приводит к модификации только программных математических комплексов.

Структура логики управления акусто-эмиссионными системами

В основе логики управления акусто-эмиссионными системами, включая и обработку данных,

лежит формирование и передача информационных потоков (ИП). Они разделяются по назначению и направлению передачи. Исходя из задач, решаемых акусто-эмиссионными системами, можно выделить три основные группы ИП: управляющие ИП; ИП измерительной информации; ИП контроля состояния. Рассматриваемые группы ИП в различных сочетаниях формируются в программной среде систем, как при проведении кратковременных, так и длительных испытаний узлов трения.

Обмен ИП в системах (передача ИП) осуществляется последовательным образом. Однако приоритетной группой ИП являются потоки управления. Они используются для управления режимами работы устройств внутренней части систем, а также операциями обработки данных. ИП управления предшествуют всем остальным ИП, т.е. являются первичными. После их прохождения формируются и передаются все остальные ИП. В первую очередь, это касается потоков измерительной информации (ПИИ). Они формируются по результатам измерений входных сигналов АЭ при проведении испытаний пар трения, при чтении данных, записанных на физическом уровне построения накопителя на магнитном диске, а также при выводе результатов обработки на экран монитора или печатающее устройство. Первые две группы ИП поддерживаются потоками контроля состояния. К ним относятся: ИП параметров состояния системы, ИП протокола испытаний; ИП выполнения операций обработки данных.

Выделенные группы ИП, в различных комбинациях, формируются при выполнении практически всех операций в системе. Приоритетными, как было отмечено выше, являются потоки управления. После загрузки и выполнения команд управления создаются вторичные ИП. Они формируются и передаются в последовательности, которая определяется назначением выполняемых операций. В тоже время, наличие единых базовых элементов систем (рис. 2) позволяет формировать и единые принципы (логику) управления диагностическими комплексами. Общая логика управ-

ления системами при проведении кратковременных и длительных испытаний пар трения показана, соответственно, на рис. 3 а, б. Рассмотрим общие принципы построения логики управления, которая реализуется через интерфейс управления загрузкой отдельных операций на исполнение.

Из рассмотрения задач и операций, выполняемых в системах, следует, что при проведении кратковременных и длительных испытаний большинство ИП практически сохраняются неизменными, за исключением тех потоков, которые определены различиями в операциях, реализующих принципы построения диагностических комплексов для заданных условий испытаний пар трения. При этом прохождение ИП будем рассматривать относительно программной оболочки, а по умолчанию примем, что при вводе информации формируются выходящие ИП, а при выводе информации из оболочки формируются входящие ИП.

Всю логику управления диагностическим комплексом при проведении кратковременных испытаний (рис. 3, а) условно можно разбить на три уровня. Первый уровень реализуется на начальном этапе управления комплексом. Это обусловлено необходимостью создания параметров состояния (ПС) системы, имеющих постоянной хранения. При вводе значений параметров в программную оболочку формируется выходной ИП, в соответствии с принятым форматом данных. После проведения преобразования данных на выходе оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) формируется входной ИП с единым форматом параметров управления (ПУ), которые сохраняются в логическом массиве данных. Аналогичным образом на первом уровне производится формирование протокола испытаний (ПИ, рис. 3, а). Потоки первого уровня не являются управляющими, а представляют собой

потоками данных. При проведении измерений и обработке результатов реализуется логика управления второго уровня (рис. 3, а), которая обеспечивает формирование и передачу, как управляющих ИП, так и ИП данных. Потоки управления являются приоритетными и предшествуют потокам данных. При этом работа начинается с чтения логического массива ПС и формирования выходного ИП данных (рис. 3, а), который передается в ОЗУ. После преобразования данных в формат управляющих команд, осуществляется формирование входного потока ПУ (1, рис. 3, а), предназначенного для загрузки и запуска АЦП ПВВ. В процессе работы ПВВ формируется внутренний выходной ИП состояния, который через ОЗУ трансформируется во входной ИП ПУ (2, рис. 3, а) ПВВ. При проведении преобразования входного сигнала (процесса) формируется выходной ИП данных, который поступает в ОЗУ. В случае достижения определенного объема введенной информации производится формирование двух ИП. Первым является ИП управления НМД (3, рис. 3, а), а вторым поток данных, который записывается на физическом уровне построения НМД. По окончании процесса записи информации осуществляется чтение НМД, формирование ИП данных и их передача в ОЗУ. Одновременно в ОЗУ поступает ИП ПУ обработкой данных (4, рис. 3, а), выходной поток ПС системы и выходной поток ПИ (рис. 3, а). Обработка данных заканчивается формированием и передачей входного ИП для записи логических массивов результатов обработки (ЛМД, рис. 3), а также привязанные к ним массивы ПС и ПИ.

Третий уровень логики управления используется для вывода и представления результатов, ПС системы и ПИ, в соответствии с вызываемой

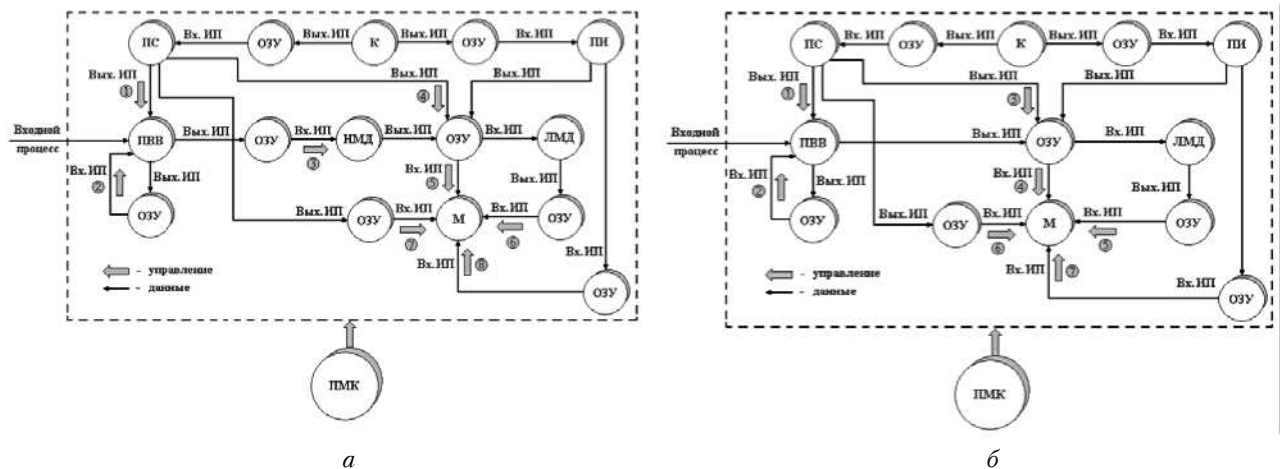


Рис. 3. Логика управления диагностическим комплексом при проведении кратковременных испытаний: ПС – параметры состояния; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; К – клавиатура; ПИ – протокол испытаний; ПВВ – порт ввода-вывода; НМД – накопительный магнитный диск; ЛМД – логический массив данных; М – монитор

операций вторичной обработки данных. При этом производится чтение ЛМД (рис. 3, *a*) с формированием выходного ИП результатов первичной обработки, а также привязанных ПС и ПИ. После проведения вторичной обработки данных формируются два входных ИП. Первым является ИП управления монитором (5, рис. 3, *a*), а затем поток данных. На данном уровне так же осуществляется независимый вывод на экран монитора ПС и ПИ. При этом выполняется следующая последовательность действий: осуществляется чтение текущего массива ПС с формированием выходного потока данных, поступающего в ОЗУ, а после проведения преобразования данных в требуемые форматы формируются два входных ИП: поток управления монитором (6, рис. 3, *a*) и поток данных. Аналогичным образом формируются ИП при выводе ПИ (рис. 3, *a*).

Логика управления диагностическим комплексом при проведении длительных испытаний аналогична логике управления комплексом при проведении кратковременных испытаний, т.е. имеет трех уровневую организацию с формированием однотипных ПУ и потоков данных (рис. 3, *b*). Отличие логики управления для данного типа испытаний пар трения определяется отличием концептуальной части построения системы — обработка результатов измерений в реальном масштабе времени. Другими словами в логике управления отсутствует управление НМД на физическом уровне его построения (рис. 3, *b*). При этом производится непосредственная обработка результатов измерений с формированием входного ИП управления монитором (4, рис. 3, *b*) и ИП данных для построения зависимости изменения амплитуды результирующего сигнала АЭ во времени. В тоже время, логические массивы параметров результирующего сигнала АЭ формируются и записываются на НМД после завершения испытаний. При этом существуют отличия и в структуре ИП управления операциями обработки результатов измерений, согласно специфике ПС системы. Назначение и последовательность прохождения всех остальных ИП практически остается без изменения.

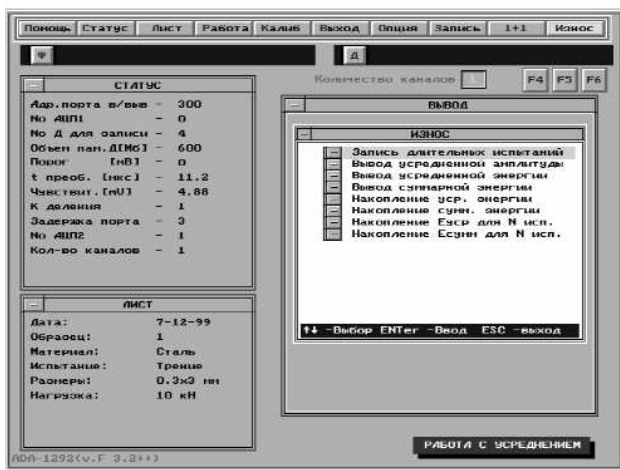
Таким образом, наличие единых базовых элементов внутренней части систем позволяет формировать единую логику управления, как при проведении кратковременных, так и при проведении длительных испытаний. При этом различия в логике управления являются минимальными и определяются различиями концептуальной части системы (рис. 1) — использование физического уровня построения НМД при проведении кратковременных испытаний и его отсутствие при проведении длительных испытаний пар трения. Использование единой логики управления системами, в

полной мере, позволяет формировать и единую логику управления обработкой данных, т.е. формировать единое программное обеспечение, с учетом различий в структуре ПУ и данных. С данной точки зрения программный математический комплекс является базовым элементом АЭ систем диагностики узлов трения. В тоже время, наличие единых устройств внутренней части систем и приоритетность программного обеспечения позволяют реализовать в единой системе процедуры кратковременных и длительных испытаний. Другими словами, создать единый интерфейс управления с отдельной реализацией процедур кратковременных и длительных испытаний. Естественно, что каждое направление должно поддерживаться собственными ПУ и ИП в системе.

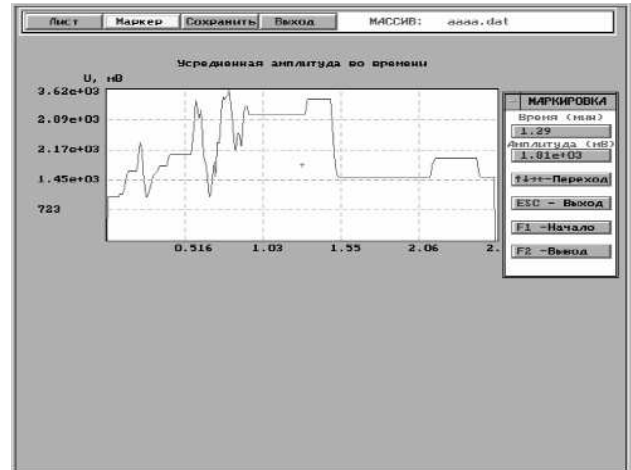
На рис. 4 показаны фрагменты работы программного обеспечения акусто-эмиссионной системы диагностики узлов трения. На рис. 4, *a* приведен общий интерфейс управления диагностическим комплексом. На рис. 4, *b* показан мини интерфейс управления для анализа результата регистрации и обработки усредненной амплитуды сигналов АЭ во времени при испытании пары трения. При этом в общем интерфейсе управления (рис. 4, *a*) сформированы панели инструментов, которые обеспечивают выполнение однотипных операций контроля и управления системой при проведении кратковременных и длительных испытаний пар трения. В тоже время, реализуется независимый вызов операций, в соответствии с концепцией построения распределенных систем.

Выводы

Разработана концепция построения акусто-эмиссионных систем для диагностики узлов трения, в основе которой лежит формирование распределенных структур с различными принципами хранения сигналов АЭ и методами их обработки, что определяется различием решаемых задач (кратковременные и длительные испытания). При этом использование средств технологии LabCard позволяет распределить функции между элементами систем с минимизацией электронных и максимальным использованием гибких программных средств. Наличие единых программно доступных устройств внутренней части систем обеспечивает возможность формировать единые алгоритмы управления, в основе которых лежит формирование и передача информационных потоков. Структура и назначение последних определяется назначением и задачами управления, в соответствии с концептуальной частью систем. В тоже время, наличие единых устройств внутренней части систем и приоритетность программного обеспечения позволяют реализовать в единой системе процедуры кратковременных и



а



б

Рис. 4. Фрагменты работы программного обеспечения акусто-эмиссионной системы диагностики узлов трения: а – общий интерфейс управления акусто-эмиссионной системой; б – результат работы программы по формированию мини интерфейса управления для анализу усредненной амплитуды сигналов во времени

длительных испытаний, т.е. создать единый интерфейс управления с отдельной реализацией процедур кратковременных и длительных испытаний. Однако каждое направление должно поддерживаться собственными информационными потоками, т.е. потоками управления и потоками данных.

Литература

1. Филоненко С.Ф. Анализ достоверности критериальной оценки выделения сигналов акустической эмиссии от трещин на источнике Су Нильсона // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы, 2001. – № 2. – С. 33–39.
2. Филоненко С.Ф. Физические аспекты акустической эмиссии при протекании пластической деформации // 36. наукових праць: Надтверді матеріали: створення та застосування / НАН України. ІНМ ім. В.М. Бакуля. – К., 2007. – С. 131–138.
3. Бабак В.П., Філоненко С.Ф., Стадниченко В.М., Стахова А.П. Моделі сигналів акустичної емісії при руйнуванні поверхневих шарів пар тертя // Проблеми тертя та зношування, 2007. – Вип. 47. – С. 1–8.
4. Филоненко С.Ф., Стахова А.П. Моделирование сигналов акустической эмиссии при переходе от стадии нормального к стадии катастрофичес-

кого изнашивания // Технологические системы, 2007. – № 4(40). – С. 41–47.

5. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К.: Изд-во КМУГА, 1999. – 305 с.

6. Электронная аппаратура: Каталог фирмы Брюль и Кьер 1983/1984. – 76 с.

7. Бигус Г.А., Стрелков П.Б. Исследование акустико-эмиссионных сигналов при деформировании и разрушении образцов из стали 22К. // Техническая диагностика, 2005. – № 1. – С. 10–15.

8. Мисейко А.Н., Сазонов А.А. Применение метода акустической эмиссии для обнаружения коррозионных повреждений технологических трубопроводов. // Дефектоскопия, 2003. – № 6. – С. 48–54.

9. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Кабанов С.И., Лебедев Е.Ю. Микропроцессорная АЭ-система для прочностных испытаний авиационных конструкций. // Дефектоскопия, 2002. – № 2. – С. 54–61.

10. Меерсон Д.Л., Панюков Д.И., Выбойщик М.А., Разуваев А.А. Применение метода акустической эмиссии для исследования повреждаемости покрытия TiN. // Дефектоскопия, 2002. – № 7. – С. 26–36.

11. Попов А.В. Акустико-эмиссионный метод вынужденных колебаний при определении дефектов в тонкостенных сосудах давления. // Дефектоскопия, 2005. – № 3. – С. 25–31.