



КОМПЬЮТЕРИЗОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОТБОРА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ АЕ-2Л

О. П. БУХАЛО, Б. П. КЛИМ, Г. В. МИКИТИН, Е. П. ПОЧАПСКИЙ, Р. Ф. ФЕДОРОВ

Представлены результаты разработки компьютеризированной информационно-вычислительной системы (ИВС) отбора и обработки сигнала акустической эмиссии АЕ-2Л. Приведены технические характеристики, рассмотрен вопрос метрологического обеспечения системы.

Results are presented of development of a computerized information-computation system (ICS) of selection and processing of acoustic emission signal AES AE-2L. System specification is given and the issue of metrological support of the system is considered.

Назначение и структура ИВС. Информационно-вычислительная система отбора и обработки сигнала акустической эмиссии (САЭ) предназначена для отбора и обработки измерительной информации при экспериментальных исследованиях материалов, контроля прочности и долговечности элементов конструкций с использованием метода АЭ, в основе которого лежит регистрация пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) упругих волн, излучаемых объектами исследования.

Многopараметричность САЭ предусматривает для его эффективного использования наличие комплекса специализированных аппаратных средств [1–2]. С целью обеспечения полного использования САЭ в системе реализован отбор сигнала, включающий его предварительную дискретизацию, оперативное запоминание и ввод в персональный компьютер с дальнейшей обработкой по соответствующим алгоритмам. В основе такого подхода лежит выделение по амплитудному признаку момента появления импульсов АЭ, дискретизация только выборочной части импульса с последующим его отслеживанием по определенному алгоритму до полного прохождения импульса. Это позволяет уменьшить вероятность регистрации ложных импульсов, что повышает достоверность результатов эксперимента, а также оптимизировать время измерения, существенно уменьшив при этом объем запоминаемых данных [3].

В состав ИВС входят: аппаратный блок, персональный компьютер, тензорные и ПЭП. Система функционирует в следующих режимах:

- задания начальных условий;
- контроля правильности функционирования системы в целом;
- записи САЭ в реальном масштабе времени;
- обработки измерительной информации по определенным программам, по результатам которой можно оценить амплитудное распределение и распределение интервалов между смежными импульсами, определить частотный спектр сигнала и т. д.;
- индикации зарегистрированного сигнала и результатов обработки.

Она обеспечена различными средствами программного и ручного управления, которые позволяют устанавливать:

- частоту квантования аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (программно);
- коэффициент усиления основного усилителя (вручную и программно);

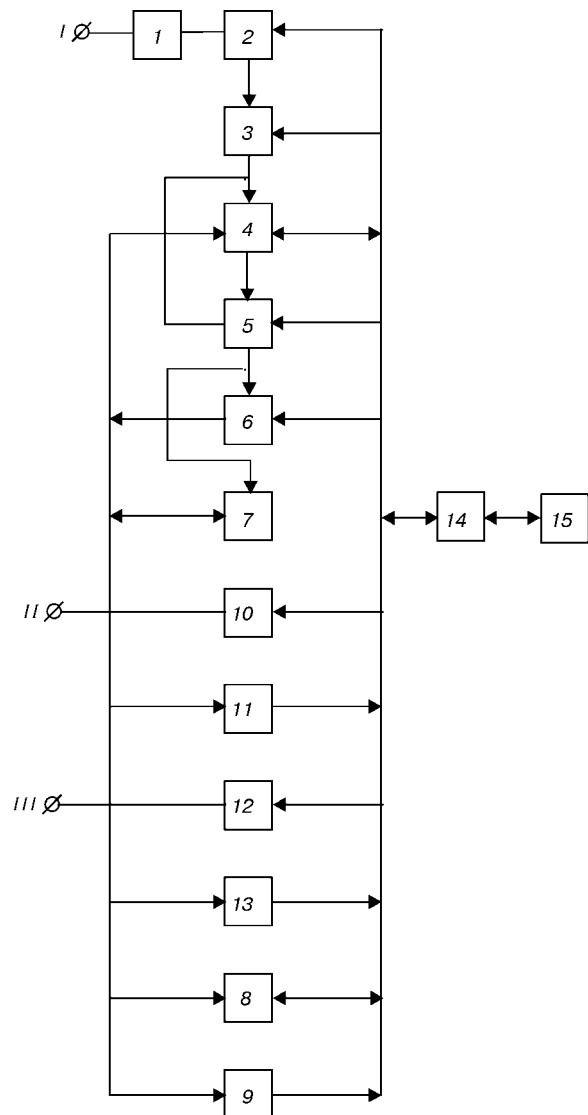


Рис. 1. Структурная схема компьютеризированной ИВС отбора и обработки САЭ АЕ-2Л



«рабочий» объем буферной памяти (программно);

полосу частот фильтра (программно);

режимы работы системы.

Структурная схема ИВС представлена на рис. 1. Предварительный усилитель 1 обеспечивает усиление и передачу САЭ с выхода ПЭП к аппаратному блоку без уменьшения уровня сигнал/шум. С выхода предварительного усилителя 1 усиленный сигнал поступает на вход полосового фильтра 2, а затем через усилитель 3 с управляемым коэффициентом передачи — на входы АЦП акустического канала 4 и аналогового компаратора 5. Необходимый коэффициент усиления усилителя 3 задается программно или вручную, а полоса рабочих частот фильтра — программно. Аналого-цифровой преобразователь обеспечивает превращение аналогового сигнала в реальном масштабе времени с минимальным искажением в цифровой код, запоминаемый в буферной памяти 8. Компаратор 5 осуществляет сравнение амплитуды сигнала с порогом, уровень которого задается программно или вручную, причем таким образом, чтобы отсечь акустические шумы.

В момент превышения САЭ порога дискриминации соответственно срабатывает компаратор, и появляющийся на его выходе импульс поступает на блок управления 6 и формирователь «мертвого» времени 7. Блок 6 формирует управляющие сигналы для управления работой аппаратного блока. Формирователь 7 вырабатывает временные интервалы, на протяжении которых система заблокирована для отбора и регистрации сигнала, — тем самым обеспечивается рациональный метод формирования массивов данных о САЭ [3]. Момент срабатывания компаратора фиксируется таймером 9.

На входы усилителей каналов нагрузки 10 и раскрытия трещины 12 поступает сигнал с тензометрических преобразователей нагрузки и раскрытия трещины. Усиленные сигналы подаются на входы АЦП 11 и 13. Интерфейс 14 предназначен для управления аппаратным блоком со стороны персонального компьютера 15, а также для ввода массивов данных из буферной памяти.

Системное и программно-информационное обеспечение. Можно выделить два подхода к разработке системного программного обеспечения ИВС для отбора и обработки САЭ [2–8].

Первый имеет место, когда аппаратная часть системы реализована в переносном варианте. В этом случае сигнал отбирается, компрессируется и записывается в оперативную память аппаратного блока. В лабораторных условиях происходит ввод данных в оперативную память компьютера с последующей записью на жесткий диск. Поскольку время для ввода практически неограничено, то его можно реализовать через порты компьютера в стандартах Centronics или RS-232.

Второй подход реализуется, когда разрабатывается лабораторный вариант аппаратуры. Обмен между аппаратной частью и персональным компьютером происходит в процессе отбора сигнала в режиме диалога. Этим обусловлена необходимость разработки алгоритмов быстрого обмена между ап-

паратной частью и персональным компьютером через системную магистраль, создание соответствующего интерфейса, обоснование и реализация алгоритма функционирования и управления системы в целом исходя из оптимального соотношения между аппаратной и программной частями системы при условии обеспечения необходимого быстродействия обмена. Возникает также потребность в разработке интерфейса между оператором и вычислительной машиной во время пребывания в системной программной среде, удобного для оперативной визуализации получаемых в процессе эксперимента результатов, обеспечения быстрого поиска и визуализации необходимого участка среди большого массива накопленных в результате эксперимента данных, оперативного вызова необходимой программы обработки. Блок-схема разработанного системного программного обеспечения компьютеризированной ИВС отбора и обработки САЭ представлена на рис. 2.

Блок 1 обеспечивает выбор одного из двух основных направлений функционирования программного обеспечения:

а) обзора накопленных в результате эксперимента данных в цифровой и графической формах (блоки 5, 6);

б) режима «Работа» — обеспечивает функционирование системы в целом во время проведения эксперимента, направленного на отбор, накопление и сохранение представленной САЭ измерительной информации.

В блоках 2, 3 задается имя файла, в котором будут храниться данные эксперимента и значения основных параметров функционирования системы:

объема выборки САЭ N_b ;

мертвого времени системы T_m ;

коэффициента усиления САЭ k ;

полосы пропускания полосового фильтра (верхней f_v и нижней f_n границ полосы пропускания);

порога дискриминации U_p .

После окончания процедуры инициализации параметров системы блок 4 программно осуществляет запуск работы системы.

Блок 7 проводит анализ состояния триггеров T_{as} и T_s , каналов отбора САЭ, контроля раскрытия трещины и нагрузки на экспериментальный образец. Установление триггера T_{as} в единичное состояние является признаком того, что появился и дискретизирован импульс АЭ. Блоком 7 при этом осуществляется передача управления на блоки 8–10. Последние организуют последовательный ввод в оперативную память компьютера через его системную магистраль значений N_b САЭ, взятых через период дискретизации T_d , и ввод данных о значении раскрытия и нагрузки на момент появления импульса АЭ, а также ввод времени его появления. Этот режим ввода данных называется асинхронным. Параллельно реализуется режим синхронного ввода, во время которого периодически осуществляется ввод информации о раскрытии трещины и нагрузке на образец, при этом триггер T_s устанавливается в единичное состояние. Синхронный ввод обеспечивается блоком 12. Блоки 11 и 13 отвечают за подсчет соответственно числа зарегистрирован-

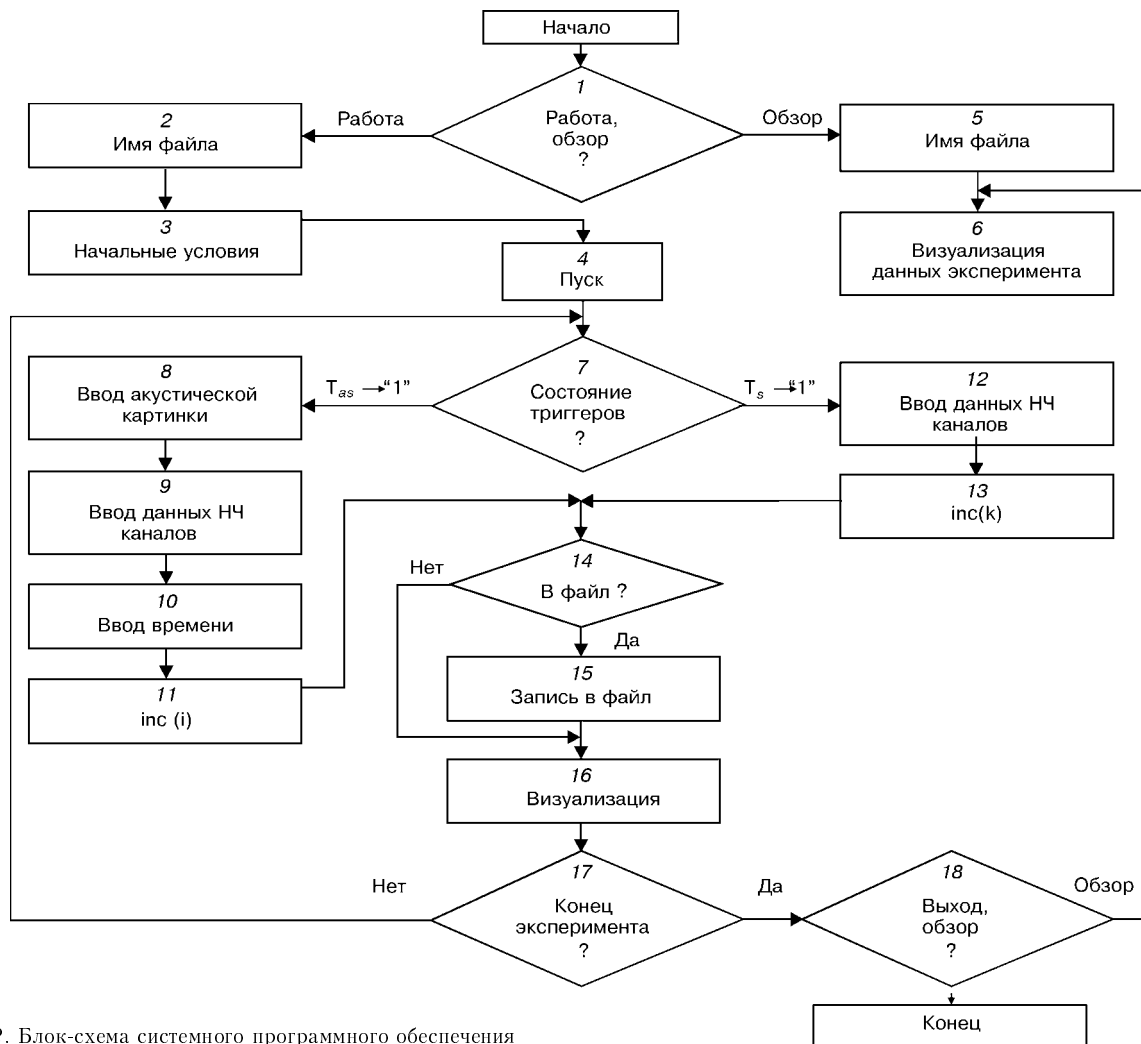


Рис. 2. Блок-схема системного программного обеспечения

ных импульсов АЭ и количества вводов информации в синхронном режиме.

Блоки 14–16 организуют и принимают решение о записи данных в файл и их визуализации на мониторе. Визуализация блоком 16 осуществляется в виде четырех окон, отражающих АЭ-картину, диаграмму «нагрузка–раскрытие», часовое распределение импульсов, суммарный счет, а также количество зарегистрированных импульсов и длительность эксперимента.

Блок 17 осуществляет контроль оставшейся в распоряжении оперативной памяти компьютера и при ее наличии передает управление на блок 7 или, в противном случае, на блок 18. В последнем принимается решение о выходе из программы или переходе в режим осмотра накопленных данных с передачей управления на программный блок 6.

К информационному программному обеспечению системы относятся алгоритмы и программы декомпрессирования и восстановления сигнала, оценки его интенсивности и средней амплитуды САЭ, построения гистограмм амплитудного распределения и распределения интервалов между смежными импульсами АЭ, оценки параметров амплитудных распределений и затухания интенсивности САЭ, реализация алгоритмов корреляционно-спектрального анализа и т. д.

Для апробации алгоритмов обработки САЭ, оценки их эффективности разработаны алгоритмы, моделирующие на машинном уровне САЭ на выходе ПЭП с экспоненциальным законом распределения интервалов между смежными импульсами и гауссовым, экспоненциальным или степенным законами распределения амплитуд импульсов.

Метрологическое обеспечение ИВС. Единство измерений физических величин обеспечивают такие составные метрологического обеспечения: методики выполнения измерений; государственные эталоны и эталонные средства измерений; методы, средства, методики поверки, калибрования, испытаний и метрологической аттестации средств измерительной техники; комплекс нормируемых метрологических характеристик (МХ) средств измерений; методики определения характеристик погрешности измерительных каналов (ИК).

Метод и методика выполнения измерения является основой методологии измерения физических величин. Согласно процедуре измерения авторами разработана методология измерения параметров САЭ [9, 10].

Метрологическое обеспечение компьютеризованной ИВС АЕ-2Л функционирует согласно разработанному концептуальному подходу к созданию



структуры метрологического обеспечения измерений [11].

В метрологическом обеспечении нестандартизованной ИВС отбора и обработки САЭ существенно обоснование выбора образцового сигнала, поскольку образование САЭ является по своему существу нестационарным случайным импульсным процессом; соответственно становится актуальной разработка образцового средства измерения. Генератор стохастического импульсного сигнала с нормируемыми стохастическими характеристиками представляет собой образцовую стохастическую меру [12]. Он моделирует образцовый стохастический электрический сигнал с заданными с высокой точностью значениями его информативных параметров и стохастических характеристик. Генератор псевдослучайного импульсного сигнала имеет следующие технические характеристики:

интенсивность стационарного импульсного потока и начальная интенсивность следования импульсов в пакете $(1, 2, 5) \cdot 10^n \text{ с}^{-1}$, $n = -2; -1; 0; 1$;

постоянная времени спада интенсивности потока в пакете $0,8 \cdot 2^m$, $m = 0, 1, \dots, 6$;

погрешность установления заданных значений интенсивности и постоянной времени не более 0,3 %;

относительное отличие дисперсий числа отсчетов для генерируемого и «чисто» пуассонового потоков при их одинаковой интенсивности не более 6 %;

мертвое время 0; 1, ..., 63 мкс;

емкость счетчиков 10^6 ;

минимальная длительность выходных импульсов 60 нс;

амплитуда импульсов 0,2... 2,0 В.

Метрологическое обеспечение измерительных информационных систем (ИИС) регламентируют: отраслевые, государственные, межгосударственные стандарты; методические указания; программы государственных испытаний и метрологической аттестации средств измерений; методики поверки ИИС; методики на организацию и порядок проведения работ по метрологическому обеспечению; методы нормирования, оценивания и контроля МХ ИИС. Метрологическое обеспечение ИИС включает: метрологическую экспертизу технических заданий на разработку ИИС (общего назначения, нестандартизованные); их государственные испытания и метрологическую аттестацию; анализ состояния метрологического обеспечения; государственный метрологический надзор за разработкой, изготовлением, внедрением и эксплуатацией ИИС; разработки государственных стандартов, методических указаний, типовых программ по метрологическому обеспечению ИИС [11]. Метрологическая аттестация измерительных систем (в частности, нестандартизованных единичного изготовления) осуществляется по программе, устанавливающей основные требования к ее построению и содержанию согласно рекомендаций [13].

Цель метрологической аттестации ИВС отбора и обработки САЭ — экспериментальное исследование ИК, направленное на определение обобщен-

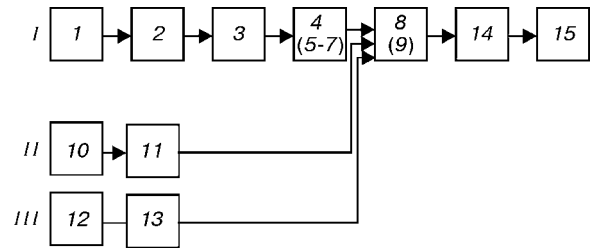


Рис. 3. Структура ИК системы АЕ-2Л

ной оценки МХ данного типа системы, в нормальных условиях эксплуатации, и выдача документа, удостоверяющего установленные в процессе аттестации МХ. Аттестацию проводят в четыре этапа:

1) представление и рассмотрение технической документации;

2) согласование и утверждение программы аттестации системы;

3) экспериментальные исследования ИК системы;

4) рассмотрение результатов аттестации, составление отчета или протокола аттестации.

Для компьютеризованной ИВС отбора и обработки САЭ проведена комплексная метрологическая аттестация ИК, являющихся основой системы. В таком случае их МХ устанавливаются экспериментально. Характеристики погрешностей ИК определяют методом образцовых сигналов (приборов), которые точнее рабочих сигналов (приборов) в 3–5 раз [14].

Метрологической аттестации нестандартизованной системы подлежат высокочастотный канал отбора и предварительной обработки САЭ и низкочастотные — контроля нагрузки образца и контроля раскрытия трещины образца.

Согласно структурной схеме ИВС АЕ-2Л (см. рис. 1) структура ИК представлена на рис. 3.

Акустический канал измерения параметров САЭ I в функциональной связи охватывает: предварительный усилитель 1; управляемый полосовой фильтр 2; управляемый усилитель акустического канала 3; АЦП акустического канала 4; аналоговый компаратор 5, блок управления 6, формирователь мертвого времени 7; буферную память 9; таймер 8; интерфейс 14; персональный компьютер 15.

Подготовка ИК к эксперименту включает:

разработки моделей измерительного канала системы и погрешности измерительного канала;

установление комплекса нормируемых МХ ИВС АЕ-2Л и критериев рациональности комплекса нормируемых МХ, условий их существенности;

установление числа исследуемых точек в диапазоне измерений параметров САЭ.

Теоретической основой проведения метрологической аттестации измерительных систем является разработка математической модели ИК.

Разработка математической модели ИК ИВС учитывает такие аспекты: ИК состоит из линейных и аналого-цифровых компонентов; изменением величин влияния можно пренебречь.

Динамическая модель ИК в нормальных условиях эксплуатации системы АЕ-2Л, учитывая статический характер величин влияния [13], описывается выражением

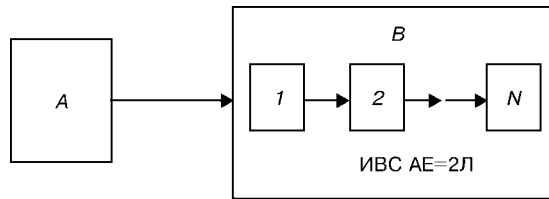


Рис. 4. Схема эксперимента: А — образцовое измерительное средство, с выхода которого на входы системы В подается образцовый сигнал; 1, 2, ..., 15 — компоненты ИК системы (рис. 3)

$$y(t) = K_n \int_{-\infty}^{\infty} g_n(t - \tau) x(\tau) d\tau. \quad (1)$$

Здесь $x(t)$, $y(t)$ — входной и выходной сигналы ИК; $g_n(t)$ — его номинальная импульсная передаточная характеристика (динамическая):

$$g_n(t) = \left(\frac{K_n}{T} \right) \exp \left(-\frac{t}{T} \right), \quad (2)$$

где K_n — номинальный статический коэффициент преобразования ИК; T — постоянная времени.

Для статического режима в нормальных условиях эксплуатации модель ИК имеет вид

$$y = K_n x. \quad (3)$$

В нормальных условиях, не приводящих к дополнительной погрешности за счет отклонений одной из величин влияния от нормального значения или выхода ее за границы диапазона нормальных значений функционирования системы (динамический режим), модель погрешности основного ИК (акустического) [14] описывается выражением

$$\Delta_k = \Delta_0 * \sum_{i=1}^l \Delta_{\text{доп } i} * \Delta_{\text{дин}}, \quad (4)$$

где Δ_k — погрешность канала; Δ_0 — основная погрешность измерительного средства (охватывает систематическую составляющую Δ_s и случайную составляющую $\Delta_{\text{осн}}$ основной погрешности); $\sum_{i=1}^l \Delta_{\text{доп } i}$ — сумма дополнительных погрешностей $\Delta_{\text{доп } i}$ измерительного средства, обусловленных действием величин влияния и неинформативных параметров входного сигнала измерительных средств; l — количество дополнительных погрешностей; $\Delta_{\text{дин}}$ — динамическая погрешность измерительных средств, обусловленная влиянием скорости (частоты) изменения входного сигнала; * — свертка.

Модель погрешности ИК системы (нагрузка, раскрытие трещины)

$$\Delta_k = \Delta_0 * \sum_{i=1}^l \Delta_{\text{доп } i}. \quad (5)$$

Установление комплекса нормируемых МХ основывается на выборе модели погрешности ИК. При оценивании МХ измерительных средств их погрешность состоит из погрешности за счет вариации, дрейфа; систематической и случайной составляющих погрешности; дополнительной и динамической погрешности. Соответственно учтены требования к выбору способа и форм предоставления МХ согласно [14].

Рациональный комплекс МХ ИК должен охватывать характеристики всех составляющих модели погрешности с учетом критериев их существенности для средств с цифровым принципом измерения [15].

Экспериментальные исследования ИК системы отбора и обработки САЭ отражают этапы и последовательность выполнения работ согласно рекомендации [14], а именно: установление объема выборки ИК с учетом структурных особенностей системы, числа исследуемых точек в диапазоне измерений, числа наблюдений в исследуемых точках диапазона измерения, требований к режиму измерений и к их последовательности во времени, выходных данных и условий для определения погрешности ИК, а также аналитическое представление погрешности ИК в нормальных условиях, определение погрешности ИК в нормальных условиях, обработку результатов исследований; установление межповторных интервалов ИК системы, анализ метрологического обеспечения системы АЕ-2Л по результатам аттестации.

Особым этапом метрологического обеспечения является разработанная авторами методика проведения аттестации нестандартизованной системы отбора и обработки САЭ с учетом процедуры экспериментальных исследований и обработки результатов согласно [14].

Для экспериментальных исследований использована схема эксперимента (рис. 4) согласно структурам ИК системы, режиму ее работы, типу входного сигнала, измеряемым величинам, используемым средствам.

В основе обработки результатов эксперимента лежит выбор методики оценивания и алгоритма обработки информации. По результатам метрологических исследований акустического ИК системы и методике оценивания и контроля систематической и случайной составляющих без учета вариации при измерении амплитуды САЭ осуществляется их обработка по соответствующим алгоритмам [16, 17].

При проведении метрологической аттестации агрегатизированной системы АЕ-2Л (ИК) методом образцовых приборов критерием научной, нормативной и технической основы метрологического обеспечения является точность образцовых приборов, которая в 3–5 раз выше точности рабочих средств измерения [13].

Технические характеристики системы АЕ-2Л

| | |
|--|------------|
| Рабочая полоса частот, кГц | 10...1000 |
| Максимальный коэффициент усиления канала, дБ | 80 |
| Приведенный ко входу АЦП порог дискриминации, мВ | 10... 1000 |
| Частоты квантования АЦП, МГц | 1; 2; 4 |
| Количество двоичных разрядов преобразования | 8 |
| Время преобразования аналогового сигнала в двоичный код, не более, мкс | 0,1 |
| Потребляемая мощность, не более, В·А | 40 |
| Питание системы — от сети переменного тока: | |
| напряжение, В | 220 ± 10 % |
| частота, Гц | 50 ± 1. |



Компьютеризованная ИВС АЕ-2Л осуществляет регистрацию САЭ в реальном масштабе времени, динамики нагрузки и раскрытия трещины исследуемого образца, времени регистрации, а также дальнейшую обработку накопленных данных по соответствующим алгоритмам. Она состоит из трех каналов (акустического, нагрузки, раскрытия трещины) и работает с тензорными и ПЭП.

1. *Скальский В. Р.* Прибор для регистрации сигналов акустической эмиссии СВР-4 // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1995. — № 1. — С. 71–79.
2. *Скальский В. Р., Пустовой В. М., Бархан А.* Портативный накопитель выборок сигналов акустической эмиссии SVR-6 // Там же. — 1999. — № 3. — С. 24–31.
3. *Аспекты отбора сигнала акустической эмиссии / О. П. Бухало, Б. П. Клим, Г. В. Микитин и др.* // Там же. — 2000. — № 3. — С. 17–23.
4. *Вакар К. Б.* Приборы и информационные системы регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии материалов и конструкций 4.1 // Матер. 1-й Всесоюз. конф. — Ростов-на-Дону: Ростов. ун-т. — 1980. — С. 108–114.
5. *Петерсен Т. Б.* Разработка и использование автоматической системы классификации для идентификации сигналов акустической эмиссии // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1993. — № 3. — С. 3–9.
6. *Акустико-эмиссионная система диагностики состояния ответственных металлоизделий / В. В. Шип, Г. А. Бигус, Е. Г. Дорохова и др.* // Там же. — 1997. — № 3. — С. 56–59.
7. *Коротеев В. А., Маслов Я. Я.* Программы обработки информации акустико-эмиссионного прибора // Там же. — 1998. — № 3. — С. 32–37.
8. *А. с. 991290 СССР, МКН¹ G 01 N 29/04.* Устройство для регистрации сигналов акустической эмиссии / С. И. Буйло, А. С. Трипалин, В. И. Холодный, В. Л. Поджидаев. — Опубл. 23.06.1983, Бюл. № 3.
9. *Буйло С. И.* Об интерпретации максимумов и достоверности оценки вида амплитудного распределения АЭ // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1995. — № 1. — С. 31–38.
10. *Аспекты измерения параметров сигнала акустической эмиссии / О. П. Бухало, Я. П. Драган, Б. П. Клим и др.* // Компьютерні технології друкарства. — 1999. — № 6. — С. 168–183.
11. *Методологические основы измерения физических величин / Я. П. Драган, Г. В. Микитин, О. П. Бухало и др.* // Там же. — 2000. — № 5. — С. 303–309.
12. *Концептуальный подход к созданию метрологического обеспечения измерений / Г. В. Микитин, О. П. Бухало, Е. П. Почапский и др.* // Укр. метролог. журн. — 2001. — № 4. — С. 5–9.
13. *Бухало О. П.* Образцовый импульсный стохастический сигнал — применение, воспроизведение, аттестация // Измерит. техника. — 1997. — № 6. — С. 24–33.
14. *Вопросы экспериментального определения метрологических характеристик измерительных каналов ИИС / А. Л. Семеник, А. Д. Пинчевский, А. В. Шишкин, Л. Н. Отко* // Метрологическое обеспечение динамических измерений в ИИС: Сб. науч. тр. — Львов: ВНИИМИУС, 1984. — С. 92.
15. *МИ 2002–89.* Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 35 с.
16. *ГОСТ 8.009–84.* Государственная система обеспечения единства измерений. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 150 с.
17. *ГОСТ 8.508–84.* Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологические характеристики средств измерений и точности характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 263 с.

Физ.-мех. ин-т им. Г. В. Карпенко НАН Украины,
Львов

Поступила в редакцию
02.11.2002

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас разместить рекламную информацию (ч/б или в цвете) в № 2 журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», 2003 г. Этот выпуск будет приурочен 4-й Национальной научно-технической конференции и выставке

«НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА» 19–23 мая 2003 г. в г. Киеве, Украина

Организатор — Украинское общество ТД и НК
тел. (38044) 227-26-66, факс: 220-94-82; E-mail: usndt@ukr.net

Дополнительный тираж журнала будет распространен среди участников и посетителей конференции-выставки.

Опыт участия нашего журнала в специализированных выставках в виде отдельного экспонента и его распространение на выставках свидетельствуют о высокой эффективности этой акции для рекламодателей.

Надеемся также, что Вы являетесь подписчиком журнала и проявите интерес к расширению сотрудничества.

Ждем Ваших предложений.

Дополнительную информацию можно получить
по тел.: (38044) 261-58-81, 269-26-23; E-mail: journal@paton.kiev.ua