

5. Пупков К. А. Функциональные ряды в теории нелинейных систем / К. А. Пупков, В. И. Капалин, А. С. Ющенко. — М. : Наука, 1976. — 448 с.
6. Салыга В. И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Идентификация и оптимальное управление / под ред. В. И. Салыги. — Х. : Вища шк., 1976. — 179 с.
7. Семенов А. Д. Идентификация объектов управления : учебн. пособие / А. Д. Семенов, Д. В. Артамонов, А. В. Брюхачев. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. — 211 с.
8. Сидоров Д. Н. Моделирование нелинейных нестационарных динамических систем рядами Вольтерра: идентификация и приложения / Д. Н. Сидоров // Сибирский журнал индустриальной математики. — 2000. — Т. 3, № 1 (5). — С. 182–194.

The method of identification of nonlinear dynamic objects in the form of integro-power series Volterra using deterministic signals stepped the influence of certain amplitude is considered. Simulink-models are proposed to implement a uniform regular integral operator n -th degree. Investigated by means of numerical experiments the quality of the developed software.

Key words: *identification, modeling, nonlinear dynamic systems, Volterra series, Volterra kernels, Matlab / Simulink.*

Отримано: 24.03.2014

УДК 519.876.5

Р. М. Ирмухаметова*, старший преподаватель,

О. А. Наконечная**, канд. техн. наук

* Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан,

** Восточноевропейский университет экономики
и менеджмента, г. Черкассы

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Рассматривается задача структурной и функциональной организации алгоритмов и программ обработки сигналов акустической эмиссии при диагностировании дефектов технических конструкций. Анализируются признаки сигналов, определяющие диагностические параметры дефектов.

Ключевые слова: *акустическая эмиссия, сигналы, диагностика, дефекты, классификация.*

Введение и постановка задачи. Метод акустической эмиссии (АЭ) является одним из наиболее перспективных методов неразрушающего контроля. Он базируется на исследовании акустических

сигналов, излучаемых областями пластической деформации или зонами трещинообразования твердых тел при механическом нагружении, и их использовании для мониторинга состояния и прогноза прочности объектов машиностроения [1; 2].

Характерной особенностью метода АЭ является то, что он обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, благодаря чему он позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности. Это позволяет принципиально по новому подходить к определению опасности дефекта. Еще одной особенностью метода АЭ является его интегральность, которая заключается в том, что используя один из нескольких датчиков АЭ, неподвижно установленных на поверхности объекта, можно контролировать весь объект. При этом координаты дефектов определяются без сканирования поверхности объекта преобразователем. Для метода АЭ положение и ориентация дефекта не имеет существенного значения, а для большинства методов неразрушающего контроля (НК) важное значение имеют не только размеры дефекта, но и его расположение и ориентация. Метод АЭ также имеет меньше ограничений, связанных со свойствами и структурой материалов.

Основные результаты. Диагностические портреты сигналов АЭ. Классификация и распознавание дефектов по сигналам АЭ. Для исследования диагностических сигналов, статистической обработки результатов измерений, дальнейшей реализации обучения распознавания степени опасности источников сигналов, возникающих, например, от различных дефектов конструкции в системе АЭ-контроля обеспечивается запись и долговременное хранение результатов измерений и полученных оценок общей активности АЭ, распределения роста активности по зонам изделия, амплитудного распределения, временных интегральных и спектральных характеристик диагностических сигналов [3]. Диагностический портрет сигнала акустической эмиссии представляет собой определенный набор диагностических признаков, вычисленных либо по дискретным значениям сигнала, поступающего с выхода устройства регистрации сигнала, либо на основе модельных сигналов.

Список признаков, используемых различными исследователями для распознавания дефектов по сигналам АЭ, достаточно обширен и отличается крайней нестабильностью при изменениях условий проведения испытаний, объекта диагностирования, материалов, в которых возникает АЭ. Поэтому выбор совокупности диагностических признаков для классификации сигналов АЭ осуществляется на основе оценки информативности признаков [4] и может быть выбран различным, в зависимости от конкретных условий проведения неразрушающего контроля.

В связи с тем, что во многих исследовательских работах исходное число p замеряемых на объектах признаков довольно велико, об-

работка этих наблюдений на ЭВМ затруднительна. Сокращение числа обрабатываемых признаков p до $p' < p$ [5] позволяет повысить статистическую достоверность выборки, предъявляемой для классификации, увеличить эффективность исследования за счет более рационального использования возможностей машинной обработки, а также, решить задачу обеспечения большей наглядности и простоты интерпретации результатов. Тот или иной вариант конкретизации этой постановки задачи (определяющий конкретный выбор меры информативности $I_{p'}(Y)$ и класса допустимых преобразований) приводит к конкретному методу снижения размерности: к методу главных компонент, факторному анализу, экстремальной группировке параметров и т. д. В процессе исследования проблемы выбора информативных признаков был также разработан новый подход к задаче отбора первичных признаков, исходя из критерия надежного распознавания, который учитывает информацию о вторичных признаках (обладающих свойством взаимной некоррелированности), получаемых в результате преобразования Карунена-Лоэва (ПКЛ). Этот подход основан на сведении задачи оптимизации состава диагностических признаков к задаче булевого программирования [5].

Для определения степени опасности дефектов испытываемого объекта может быть использован целый ряд методов классификации и распознавания дефектов по совокупности характеристических признаков сигналов АЭ, среди которых можно выделить следующие основные виды [6]:

1. *Статистические методы классификации.* Они базируются на понятии оптимального классификационного правила, которое является оптимальным в том смысле, что его использование обеспечивает в среднем наименьшую вероятность совершения ошибки классификации. Это классификационное правило, оптимальное в статистическом смысле, обычно принимается как стандарт, с которым сравнивается эффективность других алгоритмов классификации. Статистические методы классификации относятся к параметрическим методам.
2. *Метрические методы,* основанные на понятии «близости» или «расстояния» между объектами. Для классификации объектов здесь используется некоторая метрика $\rho(x_i, x_j)$, определяющая расстояние между двумя точками x_i и x_j . Наиболее часто используемыми метриками являются расстояния Евклида, Хэмминга, Махаланобиса и пр. Из относящихся к группе метрических методов распознавания образов для классификации сигналов АЭ используется метод ближайшего соседа (МБС).

3. *Метод обобщенного портрета*, который сводится, по существу, к проблеме построения уравнения гиперплоскости, разделяющей совокупности обучающей выборки оптимальным образом в некотором смысле.
4. Методы классификации на основе применения *методов кластерного анализа*.

Первые две группы методов относятся к нелинейным методам и их применение сопряжено с определенными вычислительными трудностями. Метод обобщенного портрета позволяет произвести построение оптимальной разделяющей гиперплоскости, обеспечивающей безошибочное разделение векторов обучающей последовательности. В случае, если безошибочное разделение векторов обучающей последовательности провести невозможно, при помощи метода обобщенного портрета строят субоптимальную разделяющую гиперплоскость. Данная гиперплоскость находится исходя из задачи минимизации числа ошибок классификации множества новых объектов, образуемого путем последовательного исключения из обучающей последовательности элементов, «наиболее препятствующих разделению».

Применение методов кластерного анализа позволяет производить предварительную классификацию наблюдений в случаях, когда неизвестны число классов и их характеристики. Кластерный анализ является мощным инструментом выявления в множестве n -мерных векторов областей «сгущений» или кластеров. Наличие кластеров (или обучающей выборки) обязательно при ранжировании признаков и для обучения в процессе построения классификационных правил.

Кластеризация по переменным (признакам) позволяет уменьшить пространство признаков путем выявления информационных связей признаков сигналов АЭ в исходном ансамбле признаков и отбора наиболее характерных представителей от каждой информационно-связанной группы признаков. В совокупности с другими методами статистического анализа кластеризация по переменным (признакам) позволяет повысить надежность выводов по составу информационных признаков классов (типов сигналов).

Кластеризация по реализациям (объектам), в случае отсутствия обучающей выборки, производится на модельных выборках сигналов АЭ путем предварительного задания классов сигналов с целью последующего исследования систем распознавания сигналов АЭ, либо при наличии обучающей выборки, позволяет оценить возможность классификации данных (сигналов) по выбранному критерию.

Методы вычислений, подлежащие реализации. В настоящее время вопросами создания систем АЭ диагностирования занимаются десятки организаций и фирм. Однако существенно, что разработчики при создании новых образцов аппаратуры очень часто прикладывают

все усилия не к совершенствованию измерения какого-либо параметра процесса и улучшению характеристик прибора, а ищут новые информативные параметры и разрабатывают новые методические приемы изучения явления АЭ. Специалисты в данной области полагают, что для решения подобных задач необходимо придание системам АЭ-диагностики свойства адаптируемости, настраиваемости, гибкости в выборе признаков и алгоритма их использования. Эту проблему можно решить путем создания автоматизированной системы АЭ контроля и диагностики, основу которой составит программное обеспечение для анализа поступающей диагностической информации при помощи специализированных пакетов программ, реализующих те или иные алгоритмы обработки информации о сигналах АЭ в соответствии с решаемыми задачами диагностирования. Очевидно, что центральным звеном подобного программного комплекса является единая специализированная база данных для хранения и выборки исходной информации о сигналах АЭ.

При первичной обработке информации о сигналах АЭ осуществляется решение следующих видов задач:

- вычисление координат источников АЭ;
- идентификация тракта и восстановление сигналов АЭ;
- вычисление диагностических признаков по сигналам АЭ.

При вычислении координат источника АЭ используются методы, основанные на измерении разности времени прихода (РВП) сигналов АЭ на разнесенные приемные преобразователи. Их можно разделить на две группы [7–9]:

- точные методы, основанные на решении уравнений, связывающих РВП сигнала на разнесенные в пространстве приемники с координатами источника;
- приближенные методы, позволяющие определить область расположения источников непосредственно по значениям РВП или по простым соотношениям, не прибегая к решению уравнений.

Среди точных методов следует выделить три типа методов:

- триангуляционные, основанные на построении треугольников, связывающих выбранную систему координат, датчики антенны (здесь антенной или пьезоантенной называются четырехточечные группы приемников, измеряющие три значения РВП) и источник АЭ;
- дисперсионные, в которых вычисляется полярный радиус до источника сигнала;
- угловые, базирующиеся на определении координат точки пересечения прямых линий, которые проходят через выбранные точки антенн и имеют угол наклона, соответствующий углу направления на источник АЭ относительно соответствующей антенны.

Методы первых двух типов реализуются в одноантенных системах локации, а угловые — в многоантенных. Триангуляционный метод применим при контроле поверхностей, ограниченных размерами антенны, так как при удалении источника АЭ от центра антенны решение системы связующих уравнений становится неустойчивым (т. е. погрешности решения могут оказаться недопустимо большими). Для применения дисперсионного метода в системах АЭ-контроля требуются специальные датчики, способные раздельно реагировать на разные типы волн, например, на продольные и поперечные волны. Однако этот метод позволяет локализовать дефекты практически на произвольной площади обзора, величина которой ограничивается затуханием сигнала АЭ в материале контролируемого изделия, пользуясь несложными формулами.

Точность вычисления координат источников АЭ в условиях реального эксперимента зависит как от точности исходных данных для расчета, так и от устойчивости применяемого метода локации, а также от конфигурации и размеров приемной антенны, формы контролируемого изделия.

Одной из задач при оценке и классификации сигналов АЭ является восстановление сигнала АЭ, принятого датчиком на некотором расстоянии от места его возникновения, и идентификация его тракта [10].

Под трактом прохождения сигнала АЭ понимается кратчайшее расстояние от места возникновения сигнала АЭ до места установки датчика, который этот сигнал принял.

Идентификация трактов прохождения сигналов может проводиться как во временной, так и в частотных областях. В зависимости от этого изменяется структура модели, параметры которой идентифицируются, а также структура системы идентификации.

При применении для регистрации сигналов АЭ резонансных датчиков задача идентификации тракта во временной области сводится к идентификации тракта для прохождения сигнала некоторой частоты ω — резонансной частоты датчика. В этом случае модель тракта может иметь вид:

$$A_2 = A_1 e^{-ar} \left[\sin(\omega t + \varphi_0 + br) \right], \quad (1)$$

где A_1, A_2 — сигналы, снимаемые соответственно с первого и со второго датчика, фаза $\varphi(r) = \varphi_0 + br$ зависит от задержки сигнала br при прохождении тракта и начальной фазы сигнала φ_0 (при методе двух датчиков [10] φ_0 принимается равным фазе сигнала на первом датчике), r — расстояние между датчиками.

Задача идентификации тракта и восстановления сигнала АЭ является очень сложной ввиду различного рода помех. Поэтому в каждом конкретном случае требуется дополнительное исследование по анализу точности ее решения.

Для параметризації діагностических сигналів ефективним средством являється ПКЛ [5; 7]. ПКЛ базується на тому, що діагностический сигнал, описуємаємый на інтервалі $[a, b]$ неперервної функцією $\eta(t)$ і інтерпретуємый як реалізація некоего слуцайного процесса може бытть представлен в виде:

$$\eta(t) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \varphi_k, \quad (2)$$

где $\varphi_k(t)$ — собствєнная функция интегрального уравнения

$$\int_a^b R(t, s) \varphi_k(s) ds = \lambda_k \varphi_k(t), \quad (3)$$

λ_k — его собствєнное значение; $R(t, s)$ — функция ковариации слуцайного процесса; c_k — реалізація слуцайной величины с дисперсией λ_k .

Соотвєтственно (2) ПКЛ ставит в соотвєтствие сигналу $\eta(t)$ набор некоррєлированных коєффициентов и записывается в следующем виде

$$c_k = \int_a^b \eta(t) \varphi_k(t) dt, \quad k = \overline{1, \infty}. \quad (4)$$

Коєффициенты c_k являются признаками сигнала в преобразованном пространстве.

Для нахождения функций $\varphi_k(t)$ предвєварительно осуществляется процедура обучения по заданным сигналам $\rho_i(t)$, $i = \overline{1, q}$, которые будем называть базовыми.

Вычисление сложных диагностических признаков производится на основе дискретного преобразования Карунєна-Лозва [5; 10], которое включает в себя этапы обучения и непосредственной параметризации. Использование данных методов параметризации АЭ сигналов позволяет получить вектор вторичных признаков, обладающих свойством взаимной некоррєлированности, что облегчает проведение дальнейшей классификации дефектов.

В ходе дальнейшей обработки АЭ сигналов выполняется их классификация по типам дефектов. Ансамбль признаков, по которым производится классификация, формируется на основе ранжированного ряда исходных признаков либо ранжированного ряда признаков, преобразованных по Карунєну-Лозву, либо ранжированного ряда факторов. Ранжирование диагностических признаков [11] производится на основании оцєнок их информативности. Вычисление количественных оцєнок информативности признаков может производиться по трем известным методам [12]: методу Кульбака, методу Махаланобиса и методу Бхатчари.

При формировании оптимальной совокупности признаков для дальнейшей обработки, кроме ранжирования по оцєнкам информа-

тивности, могут применяться различные методы снижения размерности пространства признаков.

На последней стадии анализа диагностических сигналов выполняется классификация и распознавание дефектов по совокупности характеристических признаков зарегистрированных сигналов АЭ. Для этого можно использовать один из рассмотренных выше методов классификации.

Выбор наилучшего в некотором смысле метода распознавания и алгоритма, его реализующего, может быть сделан при достаточной информации о классифицируемых объектах. Однако в ряде случаев (например, при параллельной разработке системы распознавания и сбора информации об объектах) необходимо предварительно оценить по заданным критериям возможности определенного набора методов и алгоритмов распознавания.

Изложенные задачи могут быть решены на основе численного эксперимента путем сравнения исследуемых алгоритмов на эталонных сигналах. Под эталонным сигналом будем понимать сигнал (информацию), полученный от объекта, с приписанным ему номером класса.

Так как реальные сигналы, получаемые с объекта, и классы, которым они принадлежат, неизвестны, то на этапе оценивания алгоритмов распознавания можно воспользоваться сигналами акустической эмиссии, в той или иной мере воспроизводящими реальные сигналы. Алгоритмы получения эталонных сигналов изложены ниже.

Алгоритм моделирования сигналов АЭ, обеспечивающий заданные свойства классифицируемости. Один из способов получения эталонных сигналов состоит в цифровом моделировании сигналов АЭ с присвоением им номеров классов, на разделение которых ориентированна разрабатываемая система классификации сигналов [5].

Для оценивания алгоритмов распознавания можно воспользоваться имитатором эталонных сигналов, представляющим собой генератор сигналов, характеристики которых задаются случайным образом исходя из экспертных оценок возможной формы реальных сигналов. Полученные эталонные сигналы используются для численного эксперимента по формированию алгоритмов распознавания реальных объектов. На эталонных сигналах оценивается потеря информации (ошибки распознавания) при переборе методов распознавания и решающих правил, а также при снижении размерности пространства признаков. При этом критерий оптимальности зависит от постановки задачи распознавания. В частности, при ограничении на быстрдействие системы распознавания может использоваться критерий следующего вида:

$$K(\sigma_S) = f_S(N_S/W_3), \quad (5)$$

где N_S — объем вычислений для заданной тройки $\sigma_S = \langle M_i, R_j, n_k \rangle$, M_i — i -й метод распознавания, R_j — j -ое решающее правило, n_k —

размерность пространства признаков, W_3 — заданное быстродействие. Здесь выбирается тройка σ_s , обеспечивающая для функции $K(\sigma_s)$ минимальное значение.

Получение эталонных сигналов АЭ в реальной среде. Учет влияния внешних сред на формирование эталонного сигнала АЭ можно путем его получения на металлическом образце при различных способах возбуждения волн АЭ [4].

В этом случае система для регистрации информации сигналов акустической эмиссии состоит из запоминающего осциллографа, двух пьезоэлектрических преобразователей, каждый из которых может использоваться либо как датчик, либо как имитатор сигналов АЭ и генератора коротких электрических импульсов для возбуждения пьезоэлектрического преобразователя при его работе в режиме имитатора сигналов АЭ. В зависимости от выбранного способа возбуждения волн АЭ в образце изменяется схема проведения эксперимента.

Способ первый. Акустические волны возбуждаются одним из пьезоэлектрических преобразователей — имитатором, который подключается к выходу генератора импульсов (ГИ) возбуждения имитатора. Приемником сигналов АЭ служит второй пьезопреобразователь — датчик, который подключается к входу вертикальной развертки запоминающего осциллографа. Для синхронизации процесса сигнал с выхода ГИ подается также на вход внешней синхронизации осциллографа.

Второй способ. Акустические волны возбуждаются механическим воздействием на поверхность образца. Приемниками сигналов АЭ служат оба датчика. При этом первый датчик подключен ко входу внешней синхронизации осциллографа, второй — ко входу вертикальной развертки. Первый датчик на образце располагается ближе к месту возбуждения волн АЭ в образце, чем второй датчик.

Подобное расположение датчиков позволяет подавать сигнал синхронизации на осциллограф до прихода информационного сигнала на вход вертикального отклонения луча. При этом не происходит потери информации из-за «срезания» переднего фронта сигнала акустической эмиссии.

У каждого из описанных способов регистрации акустических сигналов есть свои достоинства и свои недостатки. Поэтому, тот или иной способ регистрации необходимо выбирать в зависимости от поставленных целей.

При первом способе классы, которым принадлежат сигналы АЭ, задаются амплитудой напряжения, подаваемого на имитатор, что позволяет менять силу удара по образцу. Во втором способе классы задаются различными вариантами механического воздействия на образец.

Для всех вышеизложенных способов получения эталонных сигналов АЭ задача получения классов, к которым они принадлежат,

может решаться путем их кластеризации. Результаты кластеризации далее используются как исходная информация для отработки системы классификации сигналов.

Предлагаемая структура программных средств по обработке сигналов АЭ. Общей методологической концепцией создания автоматизированных систем контроля и диагностики является системный подход, который предполагает рассмотрение процесса создания системы автоматизации, как целостного комплекса взаимосвязанных элементов и подсистем. Элементами и подсистемами могут быть как внешние условия функционирования системы, исходные данные, отдельные программы и связи между элементами и подсистемами, так и изменение всех элементов и подсистем в процессе функционирования системы автоматизации.

Последнее обстоятельство требует включения в систему автоматизации управляемых обратных связей. Управление подобными процессами полностью автоматизировать не представляется возможным, поэтому системы автоматизации такого уровня сложности должны быть итерактивными (диалоговыми). При этом, диалоговые программные средства должны быть организованы по принципу модульности, когда логически законченные алгоритмы или наборы обслуживающих функций оформляются в виде отдельных программных модулей. Это позволит существенно ускорить процессы программирования, отладки и развития программных средств, т. е. включение в систему новых сервисных, прикладных и системных программ-модулей. Кроме того, принцип модульности позволяет организовать работу диалоговой системы по принципу работы транзитных программ.

В соответствии с решаемым комплексом задач основными компонентами программных средств по обработке сигналов АЭ являются: диалоговая система, единая специализированная база данных, специализированные пакеты программ, а именно: моделирования процессов вычислительной локации источников сигналов АЭ, вычисления характеристик диагностических признаков, прикладных программ статистического анализа, классификации с обучением.

Диалоговая система предназначена для организации итерактивного процесса диагностирования в виде последовательного выполнения определенных функций (шагов) с возможностью возврата и повторения по следующей схеме. Первым этапом решения задачи диагностирования является установление состава используемых признаков — формирование маски ввода. Затем следует этап вычисления критериев информативности имеющимися методами и ранжирование (сортировка) признаков по их критериям информативности для различных методов вычисления критериев. Третьим этапом является

установление максимального количества признаков для каждого метода ранжирования, участвующих в решении задач классификации. На четвертом этапе выполняется формирование решающих правил (правил классификации) и решение задачи классификации на обучающей выборке. На пятом этапе решается задача классификации на всем массиве исходных данных. Результаты классификации заносятся в файл исходных данных. На последнем — шестом этапе выводится на печать протокол работы диалоговой системы.

Единая специализированная база данных (БД) предназначена для хранения и выборки исходной информации о сигналах АЭ, а также результатов их обработки при помощи используемых программных средств.

Пакет программ моделирования процессов вычислительной локализации источников сигналов АЭ предназначен для моделирования, исследования и сравнительного анализа различных алгоритмов вычисления координат источников сигналов акустической эмиссии. Он состоит из трех подсистем. Подсистема ввода данных и режимов моделирования объединяет ряд модулей, с помощью которых осуществляется ввод исходных данных, параметров антенны, число источников и т. п. Подсистема моделирования алгоритмов локализации включает модули, реализующие вычисление координат источников акустической эмиссии. Для решения поставленной задачи используют три метода: триангуляционный, дисперсионный и угловой. Подсистема анализа и вывода результатов моделирования выполняет функции связи с внешней средой.

Пакет программ вычисления характеристик диагностических признаков предназначен для моделирования процессов определения сигналов АЭ и для решения прикладных задач исследования сигналов АЭ. В состав пакета входят также три следующие подсистемы. Подсистема настройки, предназначенная для настройки подсистемы нахождения характеристик сигналов АЭ и подсистемы работы с файлами на конкретную решаемую задачу. Подсистема нахождения характеристик сигналов АЭ обеспечивает вычисление следующего базового набора характеристик: огибающей квантованного моделированного сигнала АЭ; оценку координат источников АЭ и скоростей волн; оценку координат источников АЭ при известных скоростях волн; оценки погрешностей определения координат; вычисление временных и динамических характеристик сигналов АЭ (длительности, длительности и крутизны переднего и заднего фронтов сигнала, амплитуды сигналов, динамики изменения амплитуд сигналов АЭ в каждой зоне изделия); вычисление интегральных и спектральных характеристик сигналов АЭ; формирование гистограмм амплитуд сигналов АЭ; формирование матрицы активности сигналов АЭ по зонам изделия; формирование матрицы роста активности по зонам изделия; формирование матрицы роста амплитуд по зонам

изделия. Взаимодействие пакета программ с БД обеспечивает подсистема работы с файлами результатов.

Пакет прикладных программ статистического анализа предназначен для решения широкого класса задач статистической обработки и анализа данных. В нем реализуются следующие методы одномерного и многомерного статистического анализа, связанные с получением количественных характеристик наблюдений:

- статистика одномерных и двумерных случайных величин (оценка математического ожидания, дисперсии, медианы, моды, асимметрии, эксцесса, размаха, интерквартильного диапазона);
- анализ резко выделяющихся наблюдений;
- оценка параметров распределений;
- графическое представление распределений;
- проверка гипотез об однородности статистик, выборок и распределений (параметрические и непараметрические критерии);
- критерии согласия;
- корреляция для различных наборов данных;
- анализ таблиц сопряженности;
- регрессия (множественная линейная, многомерная, нелинейная относительно параметров);
- кластерный анализ;
- анализ дисперсий и ковариаций;
- линейный дискриминаторный анализ;
- канонические корреляции;
- факторный анализ;
- анализ автокорреляции и спектральной плотности временных рядов.

Пакет программ классификации с обучением включает в себя программу классификации по методу ближайшего соседа и программу обучения с использованием ПКЛ. Программа классификации по методу ближайшего соседа предназначена для классификации объекта, заданного n -мерным вектором признаков, по методу ближайшего соседа, если задана обучающая выборка. Программа обучения с использованием ПКЛ решает задачи получения матрицы ПКЛ, параметризации обучающей выборки, селекции первичных признаков и выделения опорного множества с возможностью распечатки результатов всех шагов обучения.

Предложенные принципы построения программного обеспечения и состав его основных компонентов позволяют придать системе АЭ-диагностики следующий ряд важных свойств:

- системность при решении задач классификации и распознавания дефектов, обеспечивающую адекватность решений, полученных

на основе АЭ-метода, за счет использования технологии единой специализированной базы данных и диалога с пользователем;

- комплексность исследования поступающей диагностической информации на основе использования различных пакетов программных средств, реализующих различные методы решения одних и тех же задач, что обеспечивает достоверность полученной информации;
- возможность использования отдельных частей вычислительной подсистемы для решения локальных вычислительных подзадач и моделирования сигналов АЭ;
- легкость настройки системы при изменении состава программных средств, привлекающихся для решения диагностических задач.

Заклучение. Таким образом, создание автоматизированной системы обработки сигналов АЭ, основанной на вышеперечисленных подходах и алгоритмах, позволяет разрабатывать эффективные программные средства применительно к современным задачам диагностирования и контроля технических средств.

Список использованной литературы:

1. Филоненко С. Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика / С. Ф. Филоненко. — К. : КМУГА, 1999. — 312 с.
2. Назарчук З. Т. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій : науково-технічний посібник : у 3 т. / З. Т. Назарчук, В. Р. Скальський. — К. : Наук. думка, 2009. — Т. 2: Методологія акустико-емісійного діагностування. — 263 с.
3. Грязнов М. И. Измерение параметров импульсов / М. И. Грязнов, М. Л. Гуревич, Ю. А. Рябинин. — М. : Радио и связь, 1991. — 216 с.
4. Скальський В. Р. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації / В. Р. Скальський, П. М. Коваль. — Львів : Сполом, 2005. — 396 с.
5. Верлань А. Ф. Алгоритмы оптимизации состава первичных диагностических признаков на основе преобразования Карунена-Лозва / А. Ф. Верлань, А. А. Игнатченко // Методы оптимизации и их приложения : тез. докл. Международн. школы-семинара. — Иркутск, 1989.
6. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / [С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин]. — М. : Финансы и статистика, 1989. — 607 с.
7. Грешников В. А. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / В. А. Грешников, Ю. А. Дробот. — М. : Изд-во стандартов, 1976. — 272 с.
8. А.с. 721747 СССР, МКИ4 G 01 N 29/04. Способ определения координат источника акустической эмиссии / Г. А. Кузьмин, Г. П. Петин, А. С. Трипалин (СССР). — Оубл. 15.03.80, Бюл. № 10.
9. Дробот Ю. Б. Расчет координат импульсных источников акустической эмиссии / Ю. Б. Дробот // Контроль. Диагностика. — 2002. — № 3. — С. 53.

10. Методы и алгоритмы восстановления сигналов и изображений : монография / А. Ф. Верлань, И. О. Горошко, Е. Ю. Карпенко, В. Ю. Королев, Л. В. Мосенцова. — К. : НАН Украины, ИПМЭ им. Г. Е. Пухова, 2011. — 368 с.
11. Кутин Г. И. Методы ранжировки комплексов признаков. Зарубежная радиоэлектроника / Г. И. Кутин. — М. : Радио и связь, 1981. — № 9. — С. 54–70.
12. Мастецкий Л. М. Математические методы распознавания образов. Курс лекций / Л. М. Мастецкий. — М. : Изд-во МГУ, 2002. — 86 с.

Consider the task of structural and functional organization of algorithms and programs processing of acoustic emission signals when diagnosing defects technical constructions. Analyzed the signs of signals defining diagnostic parameters defects.

Key words: *acoustic emission, signals, diagnostics, defects, classification.*

Отримано: 26.03.2014

УДК 621.34-501.72

В. С. Коновал, канд. техн. наук,
В. І. Мороз, д-р техн. наук, професор

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО МЕТОДУ ДЛЯ АНАЛИЗУ СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

У статті запропоновано спосіб реалізації рекурентних формул на основі інтегральних методів для розв'язування задач аналізу стійкості електроенергетичних систем.

Ключові слова: *електроенергетичні системи, інтегральні рівняння, комп'ютерне моделювання, з-перетворення.*

Постановка проблеми. Моделювання перехідних процесів у складних електроенергетичних системах, які описують тисячами диференціальних рівнянь, є достатньо проблемною задачею навіть для сучасного рівня обчислювальної техніки і класичних методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь [1]. Складність полягає в тому, що у випадку застосування числових методів на поведінку досліджуваної системи накладається ще й поведінка використаного числового методу. Як показано в роботах [2–4], внаслідок дискретизації числовими інтеграторами неперервної моделі динамічної системи в отриманій цифровій моделі з'являються додаткові нулі та полюси результуючої дискретної передатної функції та відповідні зміни в амплітудних і фазних частотних характеристиках порівняно з аналоговим прототипом, який описано вихідною системою звичайних диференціальних рівнянь. У результаті складність цифрової моделі досліджуваної електроенергетичної системи зростає у кілька разів порівняно з математичною моделлю, що подана диференціальними рів-