

нова для данных EEG (объем выборки - 900) было выполнено 5000 итераций обучения для сети Джордана и рассчитан показатель Ляпунова, равный 0.0315. При этом на всех выборках смешанных данных модели показали высокую чувствительность при переходе от хаотического сигнала к детерминированному.

Вывод. В качестве особенностей рекуррентных нейросетевых моделей, выявленных в процессе экспериментов, можно привести следующие: повышенная сложность процесса обучения рекуррентных нейросетевых архитектур; высокая зависимость результата от начальной инициализации весовых коэффициентов; более высокая сходимость процесса обучения при удачном выборе параметров алгоритма обучения.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. V. Golovko, Y. Savitsky, N. Maniakov. Neural Networks for Signal Processing in Measurement Analysis and Industrial Applications: the Case of Chaotic Signal Processing // chapter of NATO book "Neural networks for instrumentation, measurement and related industrial applications". - Amsterdam: IOS Press, 2003, pp. 119-143.
2. N.H. Packard, J.P. Crutchfield, J.D. Farmer and R.S. Shaw, Geometry from a Time Series, Physical Review Letters 45, 1980, pp.712-716.
3. F. Takens, Detecting strange attractors in turbulence, Lecture Notes in Mathematics, Vol. 898, Springer-Verlag, Berlin, 1980, pp. 366-381;

and in Dynamical System in Turbulence, Warlock, 1980, eds. D. Rand and L.S. Young.

4. A.M. Albano, J. Muench, C. Schwartz, A.I. Mees and P.E. Rapp, Singular-Value Decomposition and the Grassberger-Procaccia Algorithm, Physical Review A 38, 1988, pp. 3017-3026.
5. M. Casdagli, S. Eubank, J.D. Farmer and J. Gibson, State space reconstruction in presence of noise, Physica D 51, 1992, pp. 52-98.
6. X. Zeng, R. Eykholt and R.A. Pielke, Estimating the Lyapunov-Exponent Spectrum from shot Time Series of Low Precision, Physical Review Letter 66, 1991, pp. 3229-3232.
7. J. Holzfuss and G. Mayer-Kress, An approach to error estimation in the applications of dimensional algorithms, in Dimensions and Entropies in Chaotic Systems, editor G. Mayer-Kress, Springer-Verlag, New York, 1986, pp. 114-122.
8. M.T. Rosenstein, J.J. Collins, C.J. De Luca, Reconstruction expansion as a geometry-based framework for choosing proper delay time, Physica D 73, 1994, pp. 82-98.
9. A.M. Fraser and H.L. Swinney, Independent coordinates for strange attractor from mutual information, Physical Review A 33, 1986, pp. 1134-1140.
10. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн. 4: Учеб. Пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. – М.: ИРПРЖ, 2001. – 256 с.

SAVICKI Y.V. The analysis of chaotic signals on base there are a lot of layers neuron's of networks with a various configuration recurrent's of communications

Are considered and the researches, carried out by the author, recurrent's neuron's of networks with a various configuration recurrent's of communications in tasks of the analysis and chaotic processes are discussed. The comparative results of experiments on calculation of the senior parameter Lapunova for reference and real chaotic processes are given. The features of behaviour rekkurent's neuron's of networks in a task of the analysis of sensitivity of models from transition from a chaotic signal to determined are considered.

УДК 621.9.08

Козак А.Ф., Костюк Д.А., Кузавко Ю.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АКУСТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОРРОЗИИ

Введение. В последние десятилетия борьба с коррозией в индустриальных странах превратилась в общепризнанную проблему. Расходы, вызванные коррозией металлов, особенно велики в областях техники, где присутствует контакт между металлическими конструкциями и агрессивными компонентами – такими как кислоты, щелочь, их производные и др. Некоторые природные среды также демонстрируют высокую коррозионную активность – например, морская вода, залежи газоконденсата, термальных вод. Антикоррозионной защите металлических конструкций присущи некоторые особенности, обусловленные типом коррозии и имеющимся доступом к корродирующей поверхности. На практике наиболее широко наблюдается однородная коррозия - непрерывная в макроскопической шкале и покрывающая всю металлическую поверхность. В этом случае в металлической поверхности появляется частично гидратируемый оксид железа (ржавчина).

В настоящий момент наиболее распространенным методом измерения коррозионной активности является анализ контрольных образцов, помещаемых в коррозионную среду (например, в трубопровод). Перед погружением эти образцы тщательно взвешиваются, затем их исследуют на потери металла и другие дефекты. Пластинки служат основой для определения интенсивности общей и точечной коррозии. Как правило, определенная таким способом величина общей коррозии оказывается несколько завышенной, а локальной коррозии - несколько заниженной по сравнению с реальными значениями, однако в метод широко используется для достаточно надежного определения интенсивности и характера коррозии металлов.

С точки зрения акустики диссипативно-дисперсионных сред

(ДДС), развитой в работах [1-3], пораженную коррозией поверхность детали можно рассматривать как тонкий диссипативно-дисперсионный слой (т.е. среду со значительным поглощением ультразвуковых колебаний) на массивной твердотельной подложке. Отраженный акустический сигнал несет информацию о толщине такого диссипативного покрытия, а также о его материальных и химических качествах [4]. Спектральный анализ сигнала также должен позволить выявить добавки, привнесенные конкретным материалом.

Поэтому особенности отражения непрерывного и импульсного сигнала от покрытия-пленки на массивном основании применительно к оксиду железа на стальной поверхности детали представляют значительный практический интерес.

1. Теория акустических аномалий в ДДС. Теория нормального распространения непрерывных и импульсных продольных и поперечных акустических волн в ДДС-содержащих структурах с простой геометрией развита в работах [1, 3, 4] и др. Показано в частности, что для слоя ДДС со свободной границей вследствие колоссальной диссипативных потерь существует теоретическая возможность проводить микро- и нанометрические исследования [4, 5].

Модель распространения акустического сигнала в металлическом объеме с корродированной поверхностью представлена рис. 1. Непрерывная гармоническая продольная волна u^1 попадает из твердого полупространства 1, роль которого играет исследуемый объект, на тонкое покрытие 2, обладающее свойствами ДДС (слой оксида железа). Излученный сигнал частично отражается в виде u^R .

Костюк Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета (БрГТУ).

Козак Александр Федорович, ст. преподаватель кафедры ЭВМиС БрГТУ.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Кузавко Юрий Алексеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси.

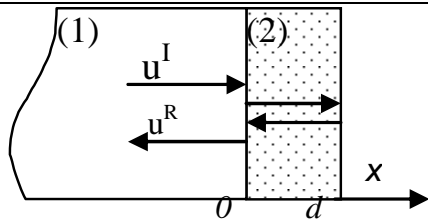


Рис. 1. Отражение акустического сигнала от границы твердотельной подложки (1) с пленкой ДДС (2)

Амплитудный коэффициент нормального отражения R_ω непрерывной продольной акустической волны от плоской границы твердотельного звукопровода с диссипативным покрытием [4, 5] запишется в виде:

$$R_\omega = \frac{A - iZ_{2l}}{A + iZ_{2l}},$$

$$A = Z_{2l} (1 - ix) \left(i - \frac{x^{1/2}}{[(1 + x^2)^{1/2} + 1]^{1/2}} \right) \frac{\exp(\gamma) \exp(-i\beta) - \exp(-\gamma) \exp(i\beta)}{\exp(\gamma) \exp(-i\beta) + \exp(-\gamma) \exp(i\beta)}, \quad (1)$$

где в соответствии с [6-7] $Z_{1l} = \rho_1 S_{1l}$ - акустический импеданс среды 1 в предположении об отсутствии в ней диссипации (при частоте $\omega \rightarrow 0$), $Z_{2l} = \rho_2 S_{2l}$, $\beta = k'd$, $\alpha = k''d$, k - волновое число, $x = \omega / \omega_c$, ρ - плотность, S - скорость продольного звука, d - толщина пленки, ω_c - характеристическая частота диссипативно-дисперсионной среды, определяемая объемной и сдвиговой вязкостью (внутренним трением), а также теплопроводностью [8].

Реальный импульсный акустический сигнал, распространяющийся в таких структурах, может быть представлен следующим образом:

$$u_x^i(x=0, t) = A \exp\left(\frac{\alpha_1 t}{T}\right) \exp\left(i2\pi \frac{t}{T}\right) [\theta(t + \tau_1) - \theta(t)] +$$

$$+ A_2 \exp\left(-\frac{\alpha_2 t}{T}\right) \exp\left(-i2\pi \frac{t}{T}\right) [\theta(t) - \theta(t - \tau_2)], \quad (2)$$

где $T = 2\pi / \omega_0$; $\tau_1 = n_1 T / 4$, $\tau_2 = n_2 T / 4$; n_1, n_2 - некоторые целые числа, влияющие на форму огибающей импульса, α_1, α_2 - безразмерные параметры, определяющие асимметричную огибающую акустического сигнала и связанные с добротностью Q ультразвукового пьезокерамического преобразователя, ω_0 - частота основной гармоники сигнала (т.е. несущая частота).

Амплитуды отраженных и прошедших сигналов определяются численно [1, 4] с помощью прямого и обратного преобразования Фурье.

Таким образом, исходя из приведенной зависимости R_ω (1) для реального акустического сигнала (2) с помощью специально разработанного программного обеспечения [9] могут быть рассчитаны форма и спектр отраженного от диссипативной пленки сигнала. На рис. 2 представлено изменение акустического сигнала при эволюции пленки ДДС. Третье измерение на рисунке использовано для представления эволюции сигнала во времени (в процессе образования коррозионного покрытия).

Исследование результатов моделирования показывает, что амплитуда и фазовый сдвиг отраженного сигнала зависят от толщины пленки и ее диссипативных характеристик. При определенных значениях последних и в случаях, когда по толщине слоя укладывается $n/4$ длин волн, могут возникать экстремумы R_ω , и, соответственно, осцилляции размаха отраженного импульса.

Используемые программные средства позволяют выявить особенности отражения, а также прохождения акустических сигналов любой формы. Аналитические расчеты возможны для простейших форм излучаемых сигналов, например для прямоугольного или не скольких периодов синусоидального (практически нереализуемыми с помощью ультразвуковых пьезопреобразователей), но нетривиальный

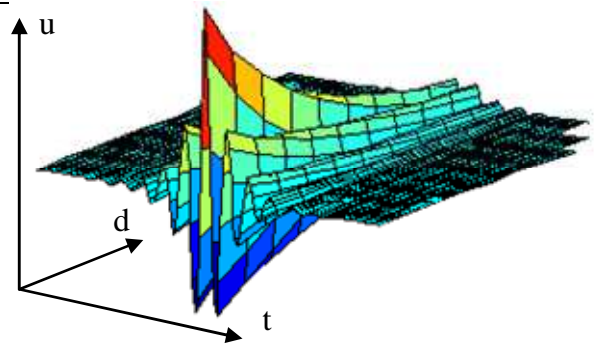


Рис. 2. Эволюция акустического сигнала, отраженного от коррозионной пленки

частотно-зависимый вид R_ω затрудняет или делает невозможным аналитическое нахождение спектра и формы отраженных и прошедших сигналов [4, 9].

2. Программно-аппаратный комплекс акустического спектрального анализа.

В процессе исследований акустики ДДС возникла необходимость создания ультразвуковой измерительной установки с автоматизированным вводом данных в персональный компьютер и последующей их обработкой [10, 11].

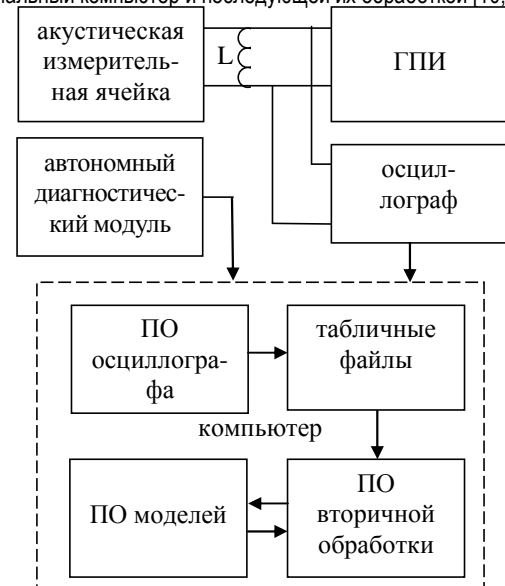


Рис. 3. Экспериментальная установка

Автоматизация проведения экспериментальных измерений, накопления, первичной обработки, визуализации и систематизации полученных результатов позволяет значительно сократить временные и трудовые затраты исследователя. В то же время при обслуживании и ремонте оборудования на удаленных объектах предпочтительнее измерительный прибор, выполненный в виде автономного внешнего модуля, способного передавать данные в персональный компьютер.

Разработанная на этих принципах стационарная установка изображена на рис. 3. Она включает в себя генератор прямоугольных электрических импульсов, осциллограф, способный передавать данные в ПК (в проводимых экспериментах - встроенный в компьютер осциллографический адаптер Bordo) и собственно персональный компьютер. В состав акустической измерительной ячейки входят ультразвуковой пьезопреобразователь, работающий в совмещенном режиме излучения-приема. Диагностический метод подразумевает определение амплитудно-фазовых характеристик (размах, длительность, фазовый сдвиг и др.) отраженного акустического импульса продольной волны. За выполнение перечисленных функций отвечает блок ПО вторичной обработки. Программное обеспечение моделей выполняет численное моделирование распространения акустических сигналов на границе звукопровода и ДДС и может предоставлять полученные

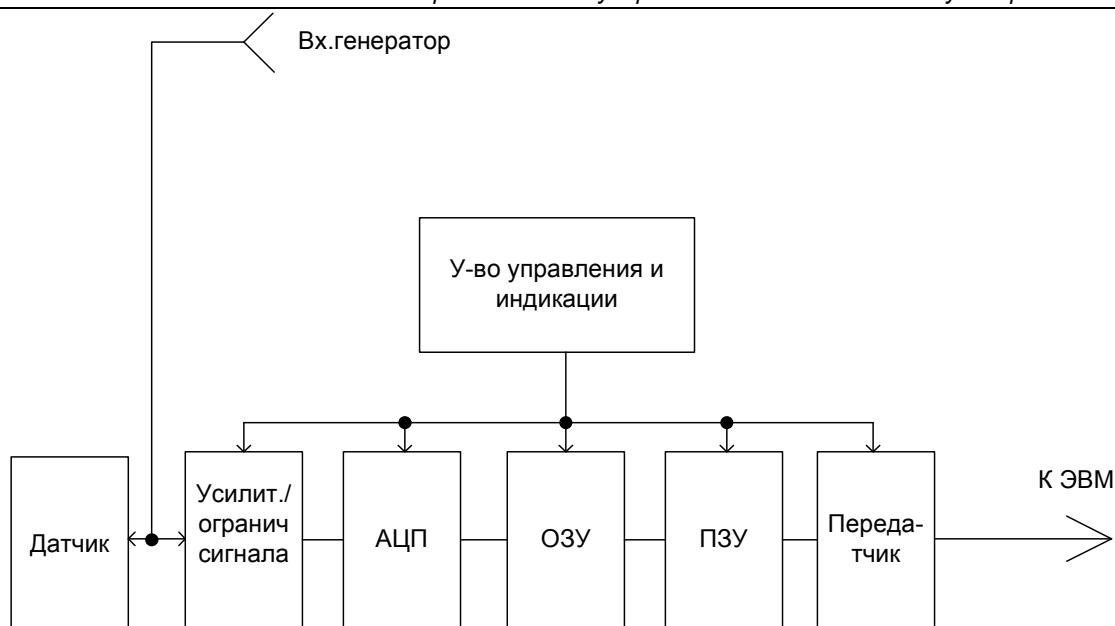


Рис. 4. Автономный диагностический модуль

данные в блок вторичной обработки для сопоставления с экспериментальными данными, а также для восстановления динамики параметров исследуемой среды методом обратной задачи [3].

Структура автономного диагностического модуля представлена на рис. 4. В его состав входят датчик (ультразвуковой пьезопреобразователь), усилитель/ограничитель сигнала, аналогово-цифровой преобразователь, память, передатчик и блок управления/индикации [10].

Высокоскоростной АЦП обеспечивает оцифровку считанного импульса для хранения в памяти прибора и последующей передачи в персональный компьютер. Устройство управления и индикации управляет работой системы и синхронизирует процессы оцифровки сигнала и передачи информации внутри устройства и во внешнюю среду. В качестве управляющего ядра устройства выбран микропроцессор Atmel C8051F000. Устройство позволяет в автономном режиме проводить первичную диагностику труднодоступных объектов, не прибегая к использованию большого и громоздкого оборудования. Для более тонкого анализа результаты измерений могут быть сохранены в flash-ЗУ и затем считаны ЭВМ по интерфейсу USB.

3. Экспериментальные исследования коррозии. Акустический контроль состояния корродирующей поверхности является одной из перспективных сфер применения разработанного комплексного программно-аппаратного решения.

При контроле коррозии средствами разработанного устройства анализируется сигнал, отраженный от границы раздела сред - стенки металлической емкости и содержащейся в ней жидкости [12]. Закрепление датчика со звукопроводом на внешней стенке емкости избавляет от необходимости обеспечения непосредственного контакта со средой. В штатном режиме в качестве ДДС выступает внутренняя среда емкости. При наличии коррозионного слоя, последний изолирует материал емкости от ДДС, являясь, в свою очередь, материалом со свойствами ДДС, отличными от содержимого емкости. Различие в параметрах отраженного сигнала позволяет отслеживать оба варианта, равно как и отсутствие какой-либо ДДС в месте контакта датчика. Таким образом, производится оценка состояния внутренней поверхности и фиксируется наличие необходимого уровня содержимого.

Теоретическое рассмотрение особенностей отражения акустического сигнала от поверхности раздела твердого тела и диссипативного покрытия [4, 5], демонстрирует корреляцию коэффициента отражения акустического сигнала с характеристиками физического состояния покрытия, его силой адгезии. Это актуально и для оксида железа (ржавчины) на стальной поверхности детали [5, 9].

При исследовании корродированных образцов датчик закреплялся на их тыльной (не подверженной коррозии) стороне и производилось зондирование образца импульсами продольного ультразвука частотой 3.5 МГц. Рис. 5 демонстрирует изменения отраженного импульса, за-

регистрируемые при перемещении датчика по тыльной стороне образца, визуализированные с помощью ПО вторичной обработки экспериментальных данных, поддерживающего хранение набора осциллограмм в виде трехмерной поверхности (смещение линии тренда на графике отображает выбор конкретного измерения для последующей двумерной визуализации, анализа и обработки).

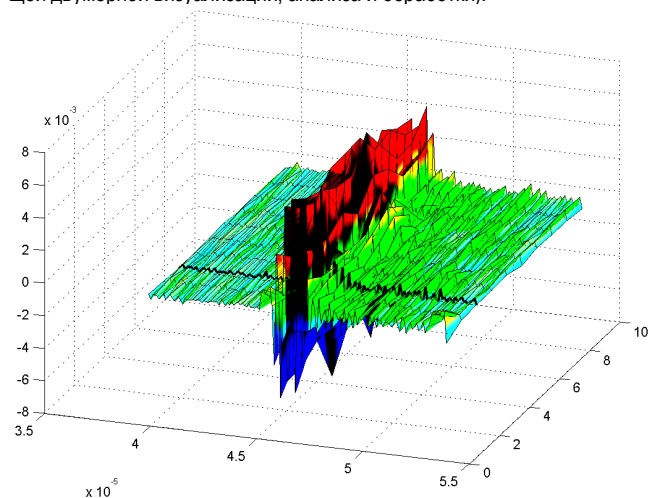


Рис. 5. Представление динамики экспериментальных данных

Был выполнен анализ параметров отраженного сигнала с целью выявления интегральных характеристик, однозначно отражающих состояние коррозионного слоя объекта. Необходимость их использования вызвана как ограничениями дисплея автономного диагностического модуля, не позволяющего оператору видеть осциллограмму принятого сигнала, так и необходимостью упрощения и автоматизации процесса первичной оценки результатов контроля.

Рис. 6 демонстрирует обратную (частично корродированную) поверхность одного из экспериментальных образцов с топологической привязкой значений размаха отраженного импульса при прозвучивании объекта к различным точкам поверхности.

Дополнительным ограничением, накладываемым на выбор интегральных оценок коррозии, является требование невысокой емкости вычислений оценки, что связано с относительно невысокой вычислительной мощностью процессора автономного модуля. В качестве интегральных оценок отраженного сигнала, чувствительных к коррозии, показали наибольшую эффективность размах импульса, коэффициент амплитуды сигнала, а также среднеквадратическое значение сигнала.

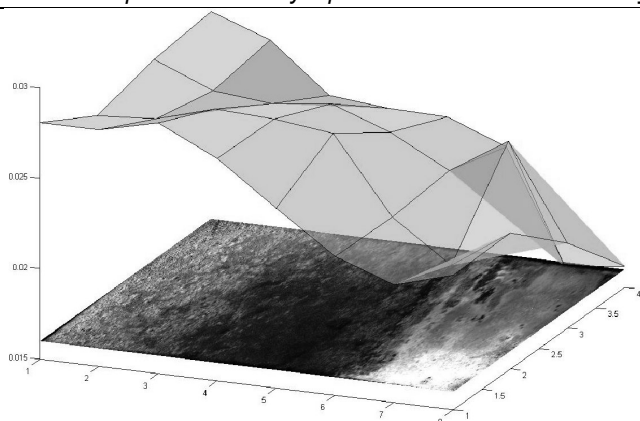


Рис. 6. Значения размаха отраженного импульса в различных точках диагностируемого объекта

Заключение. Результатом разработки является физическая и техническая база для применения методов акустики ДДС к оперативному решению ряда задач промышленности, связанных с диагностикой коррозионных процессов. Проведенные исследования показывают целесообразность использования акустического спектрального анализа в данной области. Его применение позволит перейти от менее точных и протяженных по времени выполнения методов контроля к более точным, быстрым, выполняемым в производственных условиях акустическим средствам и таким образом ускорить оперативное решение значительного количества технологических проблем.

Авторы благодарны БРФФИ (грант Т06М-227) и МО РБ за финансовую поддержку исследований.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Аномалии граничного отражения ультразвука от диссипативной среды // Письма в ЖТФ, 2001, том 27, вып.23 – С. 31-40.

2. Д.А.Костюк, Ю.А.Кузавко. Аномальное отражение продольного ультразвука от сильно диссипативной среды // Инженерно-физический журнал, 2004. - т. 77. - №5. - С. 161–169.
3. В.П. Данилевский, Д.А. Костюк, Н.В. Кудинов, Ю.А. Кузавко. Акустические спектроскопические методы и средства диагностики материалов и веществ // Материалы, технологии, инструменты. – №3. - т. 8, 2003. - С. 104-112.
4. Костюк Д. А., Кузавко Ю. А. Аномалии граничного отражения ультразвука от пленки диссипативной среды // Инженерно-физический журнал. - Том 75. - No 4, 2002 – С. 181-186.
5. Kozak A., Kostiuik D., Kuzavko Y., Nikolayuk L., Tomassi P. The acoustic spectral analysis of metal corroding surfaces // Proc. of the Internat. Conf. CORROSION 2005 „Science & Economy”. Poland, Warsaw, 8 – 10 June 2005, Inżynieria Powierzchni, 2005, 2A, p. 63 – 70.
6. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука, 1990. - 432 с.
7. Дьелесан Э., Руайе Э. Упругие волны в твердых телах - М.: Наука, 1982 - 424 с.
8. Лепендин Л.Ф. Акустика. - М.: Высш. шк., 1978 – 448 с.
9. Козак А.Ф., Костюк Д.А., Кузавко Ю.А., Николаюк Л.Н. Акустический спектральный анализ коррозии ферромагнитных металлов и сплавов. // Сб-к тезисов 15 Петербургских чтений по проблемам прочности - Санкт-Петербург, 2005. - С. 87-88.
10. Козак А.Ф., Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Приборное решение акустического спектрального анализа для диагностики вязких сред // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов. Материалы 2-й международной научно-технической конференции. – Могилев, 2006. - С. 54– 56.
11. Костюк Д.А., Николаюк Л.Н. Виртуальная лаборатория диагностики диссипативных сред // Современные информационные компьютерные технологии: сб. науч. ст. - Гродно: ГрГУ, 2006. - С. 58–63.
12. Козак А.Ф., Костюк Д.А., Марчик Д.В. Программно-аппаратная система акустического спектрального анализа корродирующих поверхностей // Современные проблемы математики и вычислительной техники. V респ. науч. конф. молодых ученых и студентов. - Брест, 2007. - С. 93 – 96.

Материал поступил в редакцию 17.12.07

KOZAK A.F., KOSTIUK D.A., KUZAVKO Yu.A. Application of acoustical spectroscopy software and hardware to corrosion diagnostics

The practical opportunity and perspectives of dispersion-dissipative media acoustics application for metals corrosion diagnostics is considered. Worked out software-hardware decision is intended for practical application of the acoustic spectral analysis of corrosion processes. Advantages of proposed approach are estimated.

УДК 681.324

Савицкий Ю.В.

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Введение. В настоящее время в мире накоплено значительное количество теоретических результатов и большой практический опыт в применении аппарата искусственных нейронных сетей для обработки информации в различных сферах. Предложен ряд высокоэффективных алгоритмов обучения, позволяющие улучшить адаптивные свойства нейросетевых моделей. Однако одной из нерешенных и наиболее серьезных до сих пор остается проблема выбора количества скрытых нейроэлементов в архитектурах нейронных сетей [1-4]. Решения подобных проблем в нейросетевых задачах требуют индивидуального подхода, а какие-либо универсальные методы архитектурного синтеза нейронных сетей в настоящее время отсутствуют. Это является весьма серьезным ограничением для использования нейросетевых моделей в практических задачах.

Для того чтобы нейронная сеть реализовывала с требуемой точностью заданное обучающей выборкой отображение и обладала при этом необходимыми обобщающими свойствами, она должна содержать определенное количество нейроэлементов в скрытых слоях. Однако многочисленные эксперименты в различных практических задачах демонстрируют сложность и нетривиальность решения данной проблемы. Если при увеличении количества нейронных

элементов в структуре сети наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению погрешности обучения, то аппроксимирующие свойства модели при этом могут сильно изменяться. Это связано с проблемой переобучения сети (overtraining), которая возникает при использовании избыточной архитектуры сети. В такой ситуации может быть достигнута очень малая ошибка обучения, однако избыточная модель будет генерировать новые результаты, не входящие в обучающее множество, с большой погрешностью. При этом в процессе обучения выполняется запоминание обучающих эталонов, сопровождающееся ухудшением обобщающих свойств модели. В случае использования нейронной сети с недостаточным количеством скрытых элементов не может быть достигнута требуемая ошибка обучения, а следовательно, не может быть достигнута и требуемая точность прогнозов. В связи с этим задача определения архитектуры нейронной сети относительно обучающего множества в общем случае традиционно сводится к перебору возможных вариантов нейросетевых структур и к выполнению отдельно для каждого из них фаз инициализации, адаптации и оценивания принятой модели. Такой эвристический способ поиска адекватной структуры нейронной сети требует значительных временных и вычислительных затрат и