

# СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ART-2 И FUZZY-ART

**В. С. ЕРЕМЕНКО, А. В. ПЕРЕЕДЕНКО**

Национальный авиационный университет. 03680, Киев-58, просп. Космонавта Комарова, 1. E-mail: nau\_307@ukr.net

Решение задач безэталонной диагностики требует использования методов обработки данных, которые ориентированы на широкий набор объектов контроля, позволяют быстро и эффективно проводить диагностику, допускают адаптацию к изменениям условий проведения контроля и позволяют вносить изменения в программные модули без значительных изменений в основной структуре программного обеспечения. Статья посвящена исследованию и программной реализации модифицированных нейронных сетей ART-2 и Fuzzy-ART для решения задач классификации дефектов сотовых панелей. Разработанные нейронные сети используются в составе системы безэталонной диагностики изделий из композиционных материалов. Описано структуру и алгоритм работы разработанных нейронных сетей. Также представлены структура и основные модули разработанного программного обеспечения для работы с представленными нейронными сетями. Преимуществом описанной нейронной сети и системы в целом является гибкость ее архитектуры, высокое быстродействие и высокая достоверность обработки информации. Приведены результаты использования разработанной системы на основе сетей ART-2 и Fuzzy-ART для диагностики технического состояния сотовых панелей. Классификатор на основе описанных нейронных сетей во время обучения может автоматически изменять свои параметры, достигая наилучшей достоверности контроля при обнаружении и классификации подповерхностных дефектов в сотовых панелях, а также дефектов, которые расположены с обратной стороны панели, площадью от 2 см<sup>2</sup> при толщине композитной панели 12,8 мм. Надежность неразрушающего контроля с помощью указанного классификатора составляет 90...95 %. Применение нейронной сети Fuzzy-ART обеспечивает лучшие показатели достоверности контроля, чем применение сети ART-2. Библиогр. 9 назв., табл. 1, рис. 3.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль, нейронные сети, композиционные материалы, нейронные сети адаптивной резонансной теории

При многопараметровом контроле для обработки данных и построения решающих правил часто используются методы спектрального анализа и методы распознавания образов, в частности, разделяющие гиперплоскости. Однако применение данных методов характеризуется рядом недостатков. При спектральном анализе сложной задачей является выбор базиса для спектрального преобразования [1]. Для анализа сигнала необходимо учитывать большое количество спектральных составляющих, которые не всегда чувствительны к появлению дефектов материала, необходимо также учитывать составляющие высших частот, которые имеют малую энергию и сильно искажаются шумами. Дополнительные трудности возникают при разработке и реализации соответствующего математического обеспечения систем НК: необходимо использовать сложные методы обработки информационных сигналов (на основе критерия  $w^2$  или других статистических критериев), которые приводят к формированию избыточных и сложных решающих правил. Построение разделяющих гиперплоскостей в случае многомерных линейно-неразделимых пространств распределения диагностических признаков приводит к решению системы сложных нелинейных уравнений с большим количеством составляющих (количество уравнений

системы определяется количеством информационных параметров, которые используются для анализа), что является достаточно сложным с вычислительной точки зрения и снижает эффективность работы информационно-измерительной системы или в некоторых случаях вообще является невозможным. Существующие системы НК не позволяют решать задачу кластерного анализа в автоматическом режиме, отсутствует возможность быстро вносить в память системы информацию о новом классе (объекта или дефекта), а также расширять собственную базу знаний без пересчета всех параметров системы.

Альтернативным методом обработки экспериментальных данных и построения правил принятия решений и классификации при многопараметровом контроле изделий из композиционных материалов является применение искусственных нейронных сетей. В задачах НК обученная нейронная сеть не только умеет распознавать (классифицировать) полученные во время контроля сигналы с датчиков, но и хранит важную информацию о закономерностях и взаимосвязях формы информационного сигнала и состояния объекта контроля, а также правильно классифицировать новые сигналы и возможные дефекты, которые не встречались во время обучения.



Проведенные исследования [2–5] основных архитектур нейронных сетей показали, что для решения задачи диагностики изделий лучшие показатели достоверности контроля можно получить при использовании нейронных сетей адаптивной резонансной теории (ART). Сети и алгоритмы ART [6–8] сохраняют пластичность, необходимую для изучения новых классов объектов и в то же время предотвращают изменение ранее сформированных в памяти сети классов. Также нейронные сети ART позволяют выполнять анализ формы полученных информационных сигналов без предварительной обработки входных данных и формирования набора диагностических признаков, что значительно расширяет область их применения. ART-сети могут использоваться для решения таких задач НК, как кластерный анализ, классификация дефектов объекта контроля, распознавания образов и т. п.

Сети ART представляют собой векторный классификатор. Входной вектор классифицируется в зависимости от того, на какой из ранее запомненных сетью эталонных образов он похож. Решение относительно классификации входного вектора сеть ART выражает в виде возбуждения одного из нейронов слоя распознавания. Если входной вектор не соответствует ни одному из запомненных образов, создается новая категория (выделяется новый нейрон и запоминается новый вектор), которая соответствует входному вектору. Если входной вектор похож на один из ранее запомненных векторов по определенному критерию подобия, эталонный вектор в памяти нейронной сети будет изменяться (учиться) под воздействием нового входного вектора таким образом, чтобы стать более похожим на данный входной вектор.

Сохраненный эталонный образ не будет изменяться, если текущий входной вектор не окажется похожим на него. Таким способом решается дилемма стабильности–пластичности. Новый образ может создавать дополнительные классификационные категории, однако новый входной образ не может заставить измениться или затереть существующую память. Алгоритм, по которому работают разработанные ART-сети, был описан в работах [3–5].

Диагностика дефектов в образцах сотовых панелей с искусственными дефектами при обработке сигналов нейронными сетями ART-2 и Fuzzy-ART происходит путем анализа изменения формы регистрируемых сигналов, формируя в памяти нейронной сети образ или образы информационных сигналов, которые характеризуют бездефектные участки и участки с различной степенью поврежденности объекта контроля, и сопоставляя регистрируемые сигналы со сформированными в памяти образами (эталонами).

Нейронная сеть ART-2 разработана для анализа непрерывных входных сигналов. В нейрон-

ной сети ART-2 присутствуют два слоя нейронов: слой сравнения  $F_1$ , который выполнен из трех подслоев с обратными связями, а также слой распознавания  $F_2$ . С.Гроссберг и Г.Карпенгер в работах [6,7] описали несколько возможных архитектур сети ART-2. Для исследований была использована архитектура сети, которая изображена на рис. 1, где белые стрелки отражают специфические операции в слоях  $F_1$  и  $F_2$  нейронной сети (основные уравнения преобразования описаны далее), черные стрелки отражают операции элементов управления сети (определение уровня расхождения между входным сигналом и найденным эталоном, конкурирующий поиск нейрона-победителя и подавление активных нейронов в слое распознавания), заштрихованные круги на рисунке отображают операцию поиска нормы вектора, направление стрелок указывает направление распространения сигнала между нейронами в сети ART-2.

Для исследований была разработана новая архитектура сети ART-2 [4]. Основные уравнения, которые описывают работу слоя сравнения  $F_1$  сети ART-2, приведены ниже:

$$p_i = u_i + \sum_j g(y_j)v_{j,i}, \quad q_i = \frac{p_i}{e + |p|}, \quad u_i = \frac{z_i}{e + |z|},$$

$$z_i = f(t_i) + bf(q_i), \quad s_i = x_i + au_i, \quad t_i = \frac{s_i}{e + |s|},$$

где  $p_i, q_i, u_i, z_i, s_i, t_i$  — выходы соответствующих групп нейронов, которые составляют слой сравнения  $F_1$  сети ART-2;  $|\bullet|$  —  $L_2$ -норма вектора в евклидовом пространстве;  $y_j$  — выход  $j$ -го нейрона слоя распознавания  $F_2$ ;  $v_{j,i}$  — элементы матрицы весовых коэффициентов  $V$ ;  $a, b$  — коэффициенты, которые находятся экспериментальным путем;  $e$  — параметр, который характеризует отношение между временем работы нейронов слоев  $F_1$  и  $F_2$ ,  $0 < e \ll 1$ ;  $f(x)$  — нелинейная сигнальная функция

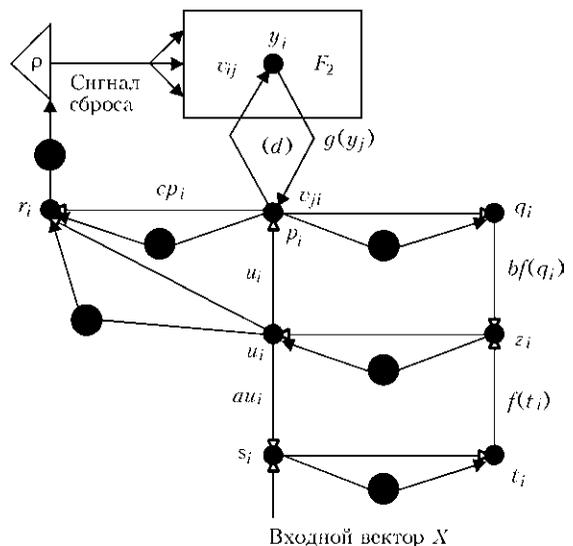


Рис. 1. Используемая архитектура нейронной сети ART-2



активации нейронов, может быть непрерывно дифференцированной или кусочно-линейной:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2\theta x^2}{x^2 + \theta^2} & \text{при } 0 \leq x < \theta, \\ x & \text{при } x \geq \theta, \end{cases} \quad f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq x < \theta, \\ x & \text{при } x \geq \theta. \end{cases}$$

Основные уравнения, которые описывают работу слоя распознавания  $F_2$  сети ART-2, приведены ниже:

$$T_j = \sum_i p_i w_{ij}, \quad T_k = \max \{T_j : j = \overline{1, m}\},$$

$$g(y_k) = \begin{cases} d & \text{при } T_k = \max_j (T_j), \\ 0 & \text{в другом случае,} \end{cases}$$

где  $w_{ij}$  — элементы матрицы весовых коэффициентов  $W$ ;  $d$  — коэффициент, который находится экспериментальным путем.

Таким образом, на устройство сравнения будет поступать вектор  $p_i$ :

$$p_i = \begin{cases} u_i & \text{при неактивных нейронах слоя } F_2, \\ u_i + dv_{k,i} & \text{при активном нейроне-победителе } k. \end{cases}$$

Устройство сравнения активирует сигнал сброса, если не будет выполнено условие:

$$\frac{\rho}{e + |r|} \geq 1,$$

где  $\rho$  — коэффициент чувствительности классификатора, выбирается в интервале  $[0, 1]$ ;  $r$  — вектор, который характеризует степень отличия входного вектору  $X$  и эталонного образа  $W_k$  в памяти сети:

$$r_i = \frac{u_i + cp_i}{e + |u| + |cp|},$$

где  $c$  — взвешивающий коэффициент, который выбирается из неравенства:

$$\frac{cd}{1 - d} \leq 1.$$

В случае правильной классификации входного вектора сигнал сброса не активируется, а весовые коэффициенты матриц  $W$  и  $V$  модифицируются следующим образом:

$$v_{j,i}^{new} = v_{j,i}^{old} + \Delta v_{j,i}, \quad \Delta v_{j,i} = g(y_j)[p_i - v_{j,i}] = d(p_i - v_{k,i}),$$

$$w_{i,j}^{new} = w_{i,j}^{old} + \Delta w_{i,j}, \quad \Delta w_{i,j} = g(y_j)[p_i - w_{i,j}] = d(p_i - w_{i,k}).$$

где  $v_{j,i}^{old}$  и  $v_{j,i}^{new}$  — весовые коэффициенты матрицы  $V$  соответственно до и после модификации;  $w_{i,j}^{old}$  и  $w_{i,j}^{new}$  — весовые коэффициенты матрицы  $W$  соответственно до и после модификации.

В начале работы нейронной сети ART-2 и при формировании нового нейрона (в случае формирования нового класса) значения соответствующих

весовых коэффициентов будут инициализироваться начальными значениями:

$$v_{j,i} = 0, \quad w_{ij} \leq \frac{1}{(1-d)\sqrt{N}}, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, m},$$

где  $N$  — размерность входного вектора  $X$ ;  $m$  — количество нейронов в слое распознавания  $F_2$  (количество запомненных классов).

Нейронная сеть ART-2 нечувствительна к порядку предъявления входных векторов, имеет высокое быстродействие работы и высокую достоверность классификации образов. К тому же, ART-2 имеет свойство к самостоятельному исправлению ошибок классификации после определенного количества циклов повторного предъявления обучающей выборки [6].

С целью повышения эффективности работы сети ART-2 и достоверности классификации дефектов изделий из композиционных материалов было разработано и использовано новую архитектуру нейронной сети ART-2 [4], алгоритм ее работы и обучения. На рис. 2 изображена структурная схема разработанной сети ART-2, где выделены блоки, которые были изменены и дополнены по отношению к архитектуре классической сети.

Во-первых, в классической реализации сети ART-2 весовые коэффициенты матриц  $W$  и  $V$  имеют почти одинаковые по значению элементы, т. е. имеет место дублирование значений весовых коэффициентов. В разработанной сети ART-2 вместе с двумя матрицами весовых коэффициентов реализован алгоритм работы, когда используется одна матрица весовых коэффициентов, что, тем самым, уменьшает расходы памяти информационно-диагностической системы и снижает количество вычислительных операций (при выполнении модификации весовых коэффициентов во время обучения и адресации к элементам соответствующих матриц при расчетах). В разработанной сети будет иметь место следующее соотношение:

$$V = W^T.$$

Для соответствующих расчетов в слое  $F_1$  примем:

$$v_{j,i} = w_{i,j}$$

Таким образом, уменьшаются вдвое расходы памяти и количество операций при модификации весовых коэффициентов во время обучения.

Во-вторых, в классической реализации сети ART-2 фактически определяется один критерий оценки принадлежности входного вектора к определенному классу. В разработанной новой архитектуре нейронной сети для вычисления двух критериев оценки принадлежности входного вектора к определенному классу были использованы две матрицы весовых коэффициентов, но значения их элементов модифицируются при обучении отличающимся от классической теории способом. В таком случае также был разработан новый ал-

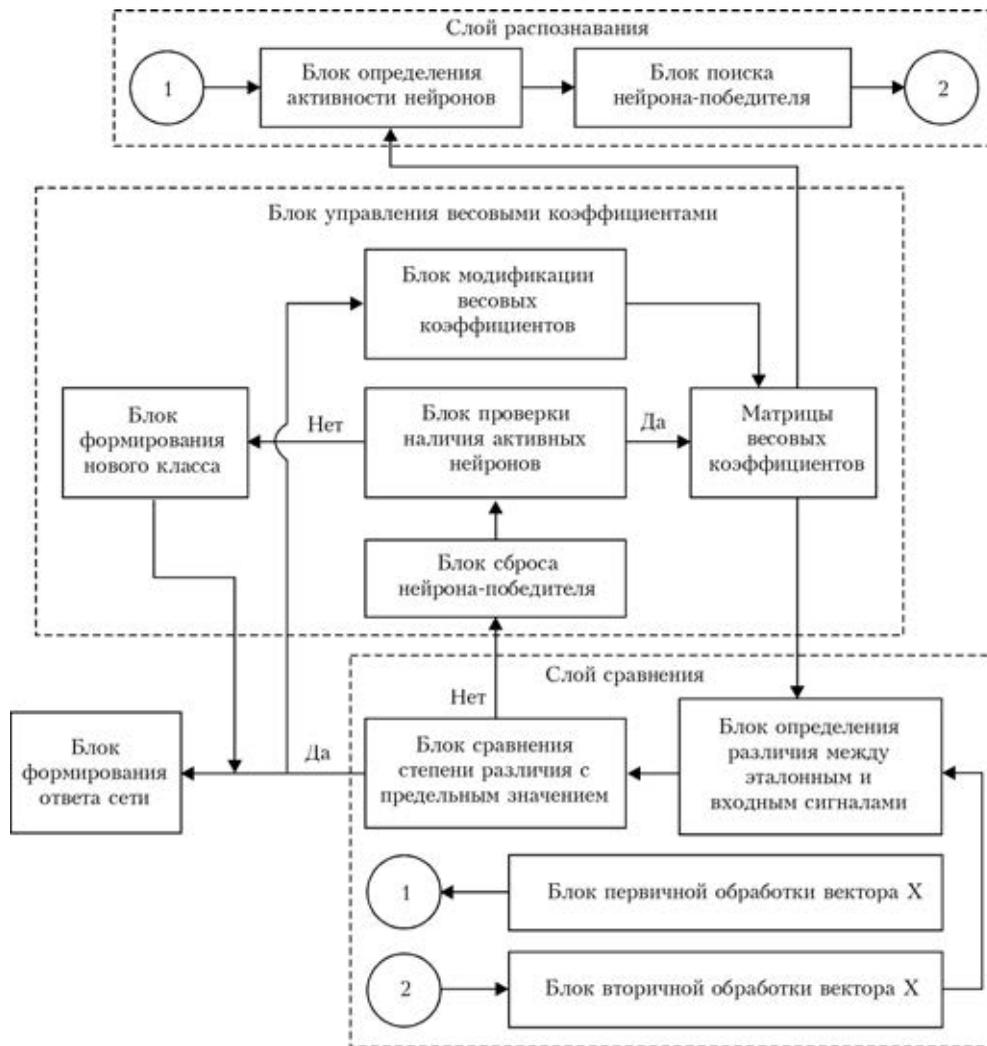


Рис. 2. Структурная схема разработанной нейронной сети ART-2

горитм работы слоя распознавания  $F_2$ . В предложенной сети работа слоя распознавания описывается выражениями:

$$T_j = \sum_i x_i w_{ij}, T_k = \max \{T_j : j = \overline{1, m}\},$$

$$g(y_k) = \begin{cases} d & \text{при } T_k = \max_j(T_j) \\ 0 & \text{в другом случае} \end{cases}$$

где  $w_{ij}$  — элементы матрицы весовых коэффициентов  $W$ ;  $x$  — элементы входного вектора  $X$ .

Функционирование слоя сравнения  $F_1$  остается без изменений по отношению к классической архитектуре сети ART-2. Модификация весовых коэффициентов во время обучения происходит следующим образом:

$$v_{j,i}^{new} = v_{j,i}^{old} + \Delta v_{j,i}, \Delta v_{j,i} = g(y_j)[u_i - v_{j,i}] = d(u_i - v_{j,i}),$$

$$w_{ij}^{new} = w_{ij}^{old} + \Delta w_{ij}, \Delta w_{ij} = g(y_j)[x_i - w_{ij}] = d(x_i - w_{ij}).$$

где  $v_{j,i}^{old}$  и  $v_{j,i}^{new}$  — весовые коэффициенты матрицы  $V$  соответственно до и после модификации;  $w_{ij}^{old}$

и  $w_{ij}^{new}$  — весовые коэффициенты матрицы  $W$  соответственно до и после модификации.

Все другие вычисления выполняются согласно классическому алгоритму ART-2 [6, 7].

Нейронная сеть Fuzzy-ART [3,5,8] также способна решать задачи кластерного анализа и классификации образов. Данный тип нейронной сети позволяет ей динамически расширять собственную базу знаний о возможных типах дефектов контролируемых объектов в процессе работы. Структурная схема, алгоритм работы и особенности функционирования данной нейронной сети описаны в работах [3, 5]. Характерными отличиями нейронной сети Fuzzy-ART от ART-2 является использование нечетких логических операций и наличие в ней лишь одной матрицы весовых коэффициентов вместо двух.

Для экспериментальных исследований и выбора наиболее эффективных методов обработки данных и построения решающих правил при неразрушающем контроле композиционных материалов были использованы образцы сотовых панелей, которые были предоставлены ГП «АНТОНОВ» и

применяются при производстве самолетов модели «АН», а именно:

– два образца (Об-1 и Об-2) сотовых композиционных панелей крыла самолетов типа Ан-70 (рис. 3, а, б) из материала ЭЛУР-П-0,1 на ВК 41 и сотовым наполнителем ПСП-1-2,5-45 толщиной 10 мм с искусственно заложенными дефектами типа отслоения обшивки от заполнителя с внутренней стороны обшивки (контроль данных дефектов проводили со стороны внешней бездефектной обшивки);

– один образец (Об-3) композиционной панели типа склейки листа алюминиевого сплава и герметика «виксинт», который используется на самолете АН-140 (рис. 3, в) с искусственно заложенными дефектами типа отслоения герметика.

Области контролируемых дефектов были разделены на точки с расстоянием между каждой точкой 2 мм. Сканирование проводилось с дискретным шагом по направлению, указанному на рис.3. Цифры на границах участков с дефектами означают номера точек сканирования, на которых начинается и заканчивается дефектный участок.

Авторами использовалась специальная система для выявления дефектов композиционных материалов методом низкоскоростного удара [9], а также соответствующее программное обеспечение, которое реализует различные методы обработки информационных сигналов (построение разделяющих гиперплоскостей, анализ спектральных плотностей информационных сигналов с помощью критерия Хи-квадрат, анализ формы сигналов с применением нейронных сетей и т. п.). Метод низкоскоростного удара основан на измерении параметров ударного воздействия на контролируемый объект. При воздействии на объект бойка с кинетической энергией  $A$  возникает импульс силы ударного взаимодействия, который характеризуется амплитудой, длительностью и формой. Система была испытана для выявления и диагностики дефектов в описанных образцах композиционных материалов.

Таким образом, диагностика дефектов в образцах сотовых панелей с искусственными дефектами при обработке сигналов, которые регистрируются разработанной системой, выполнялась тремя способами.

1. Анализируя изменения амплитуды и длительности регистрируемых сигналов по отдельности и в совокупности — группируя эти два параметра в общее пространство признаков и построив между различными состояниями (дефект-без дефекта) разделяющие гиперплоскости.

2. Путем статистической обработки регистрируемых сигналов, которая включает разложение информационных сигналов по ортогональным базисам Фурье и последующий анализ спектральных

плотностей информационных сигналов с помощью распределения Хи-квадрат.

3. Анализируя изменение формы регистрируемых сигналов с применением нейронных сетей адаптивной резонансной теории (ART-2 и Fuzzy-ART) [3–5], так как изменение формы сигнала дает возможность с высокой достоверностью определять наличие дефекта сотовой панели и классифицировать его тип по степени поврежденности.

В процессе контроля сотовых панелей с применением нейронных сетей ART-2 и Fuzzy-ART на вход сети в случайном порядке подавался один из полученных сигналов. После этого он удалялся из выборки и на вход сети подавался новый сигнал из выборки. Данная процедура повторялась до тех пор, пока все сигналы в выборке не были предъявлены нейронной сети. Таким образом, сети ART-2 и Fuzzy-ART в процессе работы автоматически формировали собственную базу классов. Создав базу классов, для исследования достоверности формирования классов и результатов НК нейрон-

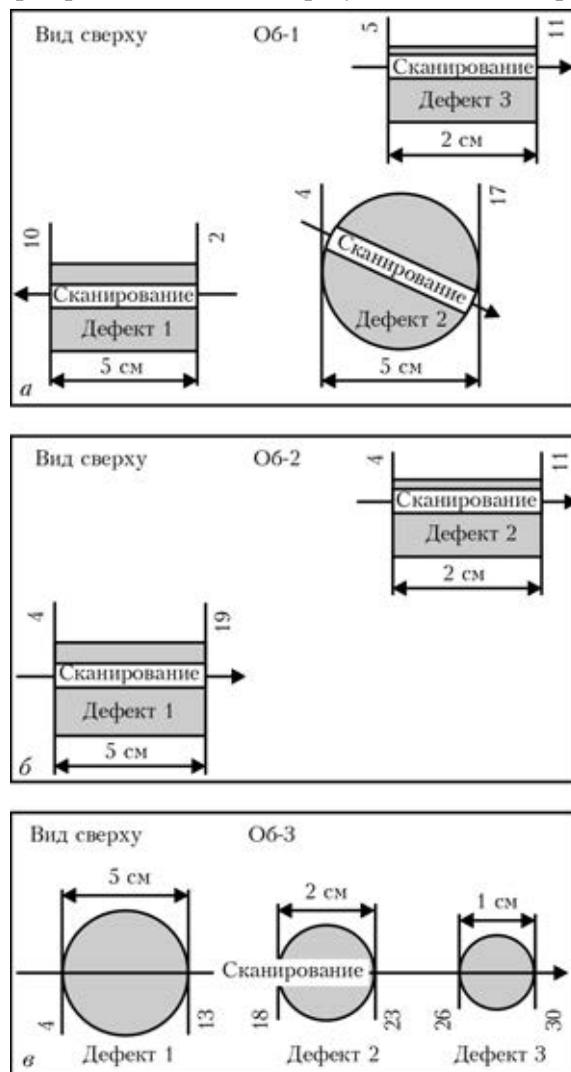


Рис. 3. Схема расположения дефектов на образцах Об-1 (а), Об-2 (б) и Об-3 (в). Цифры на границах участков с дефектами означают номера предельных точек сканирования. Сканирование проводилось с шагом 2 мм



Достоверность контроля образцов сотовых панелей с применением разделяющих гиперплоскостей, критерия Хи-квадрат, а также нейронных сетей ART-2 и Fuzzy-ART

Контролируемый образец	Тип участка, дефект	Метод обработки входных данных			
		Гиперплоскость	Хи-квадрат	ART-2	Fuzzy-ART
Об-1	1	93	95	93	95
	2	91	95	95	95
	3	50	50	90	90
Об-2	1	92	94	93	95
	2	50	50	95	96
Об-3	1	<50	<50	95	95
	2	<50	<50	80	95
	3	<50	<50	50	60

ной сети было предъявлено по 100 новых сигналов на каждый участок исследуемых образцов.

Достоверность контроля с применением указанных групп методов приведено в таблице. Исходя из полученных результатов было установлено, что решающее правило, построенное на основе разложения информационных сигналов по ортогональным базисам Фурье и анализа спектральных плотностей информационных сигналов с помощью распределения Хи-квадрат, а также на основе разделяющих гиперплоскостей, построенных в координатах амплитуда—длительность, не удалось обнаружить дефект 3 площадью  $2 \text{ см}^2$  на образце Об-1 и дефект 2 площадью  $2 \text{ см}^2$  на образце Об-2. При сканировании образца Об-3 наблюдаются всплески амплитуды на отсчетах, расположенных в районе наибольших дефектов (7-12) и (20-23) площадью 5 и  $2 \text{ см}^2$  соответственно. Однако вследствие низкой информативности значений длительности информационных сигналов невозможно определить наличие дефектов 1-3 площадью 5, 2 и  $1 \text{ см}^2$  в образце Об-3 путем применения для обработки сигналов групп методов 1 и 2. При этом при использовании амплитуды и длительности сигнала в качестве информативных признаков достоверность контроля образцов Об-1 и Об-2 при выявлении дефектов 1 и 2 площадью  $5 \text{ см}^2$  в образце Об-1 и дефекта 1 площадью  $5 \text{ см}^2$  в образце Об-2 составляет около 90 %, при использовании спектральных преобразований и последующей статистической обработки усредненных спектров достоверность контроля достигает 90...93 %.

Применение нейронных сетей ART-2 и Fuzzy-ART для обработки информационных сигналов, регистрируемых во время контроля образцов сотовых панелей позволило точно определить границы дефектных участков 1 и 2 площадью 5 и  $2 \text{ см}^2$  соответственно на образце Об-1 и дефектного участка 1 площадью  $5 \text{ см}^2$  на образце Об-2, а также, в отличие от групп методов 1 и 2, были определены границы дефектного участка 3 площадью  $2 \text{ см}^2$  на образце Об-1 и дефектного участка 2 площадью  $2 \text{ см}^2$  на образце Об-2. Нейронные се-

ти ART-2 и Fuzzy-ART позволили определить границы дефектного участка 3 площадью  $2 \text{ см}^2$  на образце Об-1 с погрешностью 6 мм (выявленные границы дефектного участка составили от 8-й до 11-й точки), а границы дефектного участка 2 площадью  $2 \text{ см}^2$  на образце Об-2 были определены с погрешностью 4 мм (выявленные границы дефектного участка составили от 5-й до 10-й точки). Также с применением нейронных сетей ART-2 и Fuzzy-ART удалось определить границы дефектных участков 1 и 2 площадью 5 и  $2 \text{ см}^2$  соответственно на образце Об-3. Границы дефектного участка 1 площадью  $5 \text{ см}^2$  на образце Об-3 были определены с погрешностью в 2 мм (выявленные границы дефектного участка составили от 5-й до 13-й точки), а границы дефектного участка 2 площадью  $2 \text{ см}^2$  на образце Об-3 были определены с погрешностью 6 мм сетью ART-2 (выявленные границы дефектного участка составили от 21-й до 23-й точки) и погрешностью 2 мм сетью Fuzzy-ART (выявленные границы дефектного участка составили от 19-й до 23-й точки). Следовательно, применение нейронных сетей ART-2 и Fuzzy-ART при контроле сотовых панелей с обратной стороны обшивки позволяет определять дефекты малых размеров (площадью  $2 \text{ см}^2$ ) и с высокой достоверностью (больше 95%) обнаруживать зависимость изменения параметров информационных сигналов от степени повреждения объекта контроля, который является сложным или невозможным с помощью большинства применяемых на сегодня методов диагностики.

### Выводы

Применение нейронных сетей ART-2 и Fuzzy-ART обеспечивает высокую чувствительность к дефектам типа отслоения обшивки от заполнителя с внутренней стороны обшивки (образцы Об-1 и Об-2) и дефектов типа отслоения герметика (образец Об-3), хорошую помехоустойчивость, возможность работы с многомерными пространствами диагностических признаков, высокую достоверность контроля.



Установлено, что система НК композиционных материалов методом низкоскоростного удара с использованием нейронных сетей адаптивной резонансной теории (ART-2 и Fuzzy-ART) в качестве классификатора позволяет успешно обнаруживать подповерхностные дефекты сотовых композиционных панелей, а также дефекты, которые расположены с обратной стороны обшивки площадью больше 2 см<sup>2</sup> при толщине сотовой панели 8...12 мм. Достоверность контроля составляет около 95 %. Применение нейронной сети Fuzzy-ART для решения описанной задачи обеспечивает лучшие показатели достоверности контроля, чем применение сети ART-2.

1. Єременко В. С., Переїденко А. В., Піколенко Є. О. Ранжування інформативних ознак при неруйнівному контролі композиційних матеріалів // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». — 2010. — № 57. — С. 159–164.
2. Переїденко А. В., Єременко В. С., Монченко О. В. Застосування нейромережових технологій у системах неруйнівного контролю // Техн. діагностика і неіаіруш. контроль. — 2012. — № 1. — С. 35–41.
3. Pereidenko A. V., Eremenko V. S., Rogankov V. O. System of standartless diagnostic of cell panels based on fuzzy-ART

Solution of the problems of standardless diagnostics of pipes requires application of data processing methods, which are oriented to a wide range of control objects, allows fast and effective diagnostics, are adapted to variation of testing conditions and permit modification of program modules without any significant changes in the main software structure. This paper is devoted to investigation and software realization of modified ART-2 and Fuzzy-ART neural networks to solve the problems of classification of defects in honeycomb panels. Developed neural networks are used in the system of standardless diagnostics of products from composite materials. Structure and operating algorithm of developed neural networks are described. Structure and main modules of the developed software for operation with the described neural networks are also presented. The advantages of the developed neural network and system as a whole are its architecture flexibility, high performance and reliability of data processing. The paper gives the results of investigation of the developed system based on ART-2 and Fuzzy-ART networks for diagnostics of technical condition of honeycomb panels. The classifier based on the described neural networks can automatically change its settings during training, reaching the highest reliability of control at detection and classification of subsurface defects in honeycomb panels, as well as defects located on the back side of the panel of 2 cm<sup>2</sup> area at thickness of composite panel equal to 12.8 mm. Reliability of non-destructive testing with the specified classifier is equal to 90 - 95%.

*Keywords: Nondestructive testing, neural networks, composite materials, neural networks of adaptive resonance theory*

- neural network // «MRRS-2011»: Proc. of the Third Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, 25–27 August 2011: proceedings. — Kyiv, 2011. — P. 181–183.
4. Переїденко А. В., Єременко В. С., Монченко О. В. Застосування модифікованої архітектури нейронної мережі ART-2 у складі системи неруйнівного контролю виробів із композиційних матеріалів // «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»: Матер. 19-ї Міжн. конф., 3–7 жовтня 2011р.: — Гурзуф, 2011. — С. 81–84.
  5. Переїденко А. В., Єременко В. С., Шегедін П. А. Класифікатор стану виробів з композиційних матеріалів на основі нейронної мережі адаптивної резонансної теорії // Вісник Нац. авіац. ун-ту. — 2012. — № 1(50). — С. 92–100.
  6. Carpenter G. A., Grossberg S. ART 2: Stable self-organization of pattern recognition codes for analog input patterns // Applied Optics. — 1987. — № 26. — P. 4919–4930.
  7. Carpenter G. A., Grossberg S., Rosen D. B. ART 2-A: An adaptive resonance algorithm for rapid category learning and recognition // Neural Networks. — 1991. — № 4. — P. 493–504.
  8. Carpenter G. A., Grossberg S., Rosen D. B. Fuzzy ART: Fast stable learning and categorization of analog patterns by an adaptive resonance system // Ibid. — 1991. — № 4. — P. 759–771.
  9. Єременко В. С., Мокиїчук В. М., Овсянкін А. М. Обнаружение ударных повреждений сотовых панелей методом низкоскоростного удара // Техн. діагностика і неіаіруш. контроль. — 2007. — № 1. — С. 24–27.

Поступила в редакцію  
25.05.2012



**21-я Международная ежегодная конференция и выставка**  
**«Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»**  
**начало октября 2013, Ялта**

**Организаторы**  
 УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», Украинское общество НК и ТД, Российское общество НК и ТД, Белорусская ассоциация НК и ТД, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Днепрпетровский нац. ун-т, НПП «Машиностроение»

**Тематика конференции и выставки**  
 • Общие вопросы неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД) • Теоретические вопросы взаимодействия физических полей с веществом контролируемых объектов • ТД и мониторинг состояния производственных объектов  
 • Контроль напряженного состояния конструкций, изделий и сварных соединений • Опыт и перспективы НК на предприятиях горно-металлургического комплекса • НК и ТД в нефтегазовой отрасли и энергетике • Контроль и диагностика строительных конструкций • Вибрационные методы диагностики • Вопросы обучения, аттестации и сертификации специалистов, подразделений НК и ТД • Разработка и гармонизация стандартов в области НК и ТД • Метрологическое обеспечение средств НК • Состояние и развитие НК и ТД в Украине • Заседание Правления УО НКТД

**Оргкомитет**  
 02094, г. Киев, ул. Минина, 3, к. 47  
 тел./факс: (+38 044) 5733040  
 e-mail: office@conference.kiev.ua, www.conference.kiev.ua