

Nondestructive Testing of Cell Panels with Fuzzy-Art Neural Network

Anton Pereidenko, Petro Shegedin

Information-measuring Systems Department, Kyiv National Aviation University, UKRAINE, Kyiv, Komarova 1 avenue,
E-mail: apereidenko@gmail.com

At present time there is no universal physical diagnostics method of composite materials which would allow to reveal all possible types of defects. Therefore, developing techniques and diagnostics systems, it is necessary to be based on several complementary physical methods which give the chance to define the greatest quantity of the most dangerous defects of the given material and a product. To solve a task in this case it is expedient to use standardless methods of diagnostics and nondestructing testing.

Among the most perspective methods of standardless diagnostics and classification which give the chance to solve the described problems, are the methods based on use of artificial neural networks. Similar methods allow receive high noise stability, independence of influence of external factors and high efficiency of the control. Application of neural networks in systems of standardless diagnostics allows raise reliability of the control, reduce cost of system realization and increase its speed.

For choosing optimum architecture of neural network which will be used in information-measuring system for composite materials' nondestructive testing, in previous works were analyzed the results of application of such neural network as a Kohonen network [3,4], multilayer perceptron [5] and special hybrid neural network [1,2]. It was decided to use Fuzzy-ART neural network as a kernel of classifier. A classic chart and functional algorithm of this neural network is described in works [6,7]. In the classical Fuzzy-ART network there are some disadvantage which make it not suitable for solution the tasks of standardless diagnostics of composite materials. The only way to solve this problem is to replace certain elements of this neural network.

Fuzzy-ART network has such advantages as: stability information which storing in memory and ability rapidly expand its own knowledge base, high resolution of the data classification, good noise protection, relative invariance of the presentation of input vectors, it is possible to change speed of network training, the repeated presentation of the training sample neural network is able to fix mistakes, which were admitted at the preliminary stage, the opportunity to work with analog signals.

As a result of the work, was developed system of standardless diagnostics and state classification of products from composite materials, which allows to identify defective parts and controlled objects by degree of their damage. The use of the described system is feasible and enables to achieve high accuracy of nondestructive testing – 97-98%.

Неруйнівний контроль стільникових панелей з використанням нейронної мережі fuzzy-art

Антон Переїденко, Петро Шегедін

Кафедра інформаційно-вимірювальних систем,
Національний авіаційний університет,
УКРАЇНА, м.Київ, пр.Комарова, 1,
E-mail: apereidenko@gmail.com

Запропоновано та досліджено використання модифікованої нейронної мережі Fuzzy-ART для проведення неруйнівного контролю стільникових панелей. Описано структуру та принцип дії розробленої системи неруйнівного контролю виробів з композиційних матеріалів. Приведено результати використання розробленої системи для безеталонної діагностики стану стільникових панелей.

Ключові слова – неруйнівний контроль, безеталонна діагностика, композиційні матеріали, нейронна мережа Fuzzy-ART.

I. Вступ

Відмінною рисою композиційних матеріалів є нероздільність процесів їх створення і формування властивостей від отримання готових деталей і вузлів. Для досягнення високої надійності виробів з композиційних матеріалів необхідно, в першу чергу, удосконалювати технологію виготовлення та забезпечити контроль дотримання всіх параметрів технологічного процесу. Не менш важливим є підвищення надійності оцінки технічного стану виробу на момент виготовлення і в процесі експлуатації. Композиційні матеріали характеризуються значним розкидом фізичних параметрів матеріалів, які входять у композит, низькою щільністю, значним розкидом властивостей в самому виробі, їх анізотропією, відсутністю достатньої інформації про основні типи дефектів. Тому до них не можна застосувати традиційні методи неруйнівного контролю, які базуються на знанні фізичних параметрів матеріалів, таких як модуль пружності, щільність, швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль, діелектрична проникність.

У даний час не існує єдиного універсального фізичного методу діагностики композиційних матеріалів, який би дозволяв виявляти всі можливі типи дефектів. Тому, при розробці методик і систем діагностики, необхідно базуватися на кількох взаємодоповнюючих фізичних методах, які дають можливість визначити найбільшу кількість найбільш небезпечних для даного матеріалу і виробу дефектів. Іншою проблемою також є той факт, що вироби з композиційних матеріалів, які широко використовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці, на відміну від виробів з металів, формуються з первинної сировини одночасно з формуванням цих матеріалів. Через складність технології їх виготов-

лення, особливо це характерно для великогабаритних багатошарових конструкцій, такі вироби дещо відрізняються один від одного за своїми властивостями, параметри яких можна вимірювати та контролювати. З точки зору дефектоскопії це призводить до ряду методичних проблем, зокрема практично неможливо виготовити еталонні зразки для якісних виробів, а в силу широкої номенклатури можливих дефектів виробів з композитів ще більш складно виготовити атестовані зразки (еталони) з тими чи іншими дефектами, за допомогою яких проводиться первинна настройка дефектоскопів та ідентифікація типів і розмірів дефектів. З математичної точки зору стає неможливою побудова апріорних моделей, які описують інформативні параметри контрольованих об'єктів, а незнання законів розподілу ймовірностей змін не дозволяє сформулювати вирішальне правило діагностики.

Таким чином, вирішити поставлену задачу в цьому випадку доцільно із застосуванням безеталонних методів діагностики і неруйнівного контролю. Незважаючи на широке розмаїття існуючих методів і систем безеталонної діагностики та класифікації стану об'єктів контролю, на даний час не існує єдиного та універсального методу проведення безеталонної діагностики, зокрема виробів з композиційних матеріалів.

Оскільки діагностика виробів з композиційних матеріалів ускладнена великим розмаїттям можливих дефектів, а також складністю виготовлення еталонних зразків із заданими параметрами, необхідно вирішувати поставлену задачу із застосуванням засобів діагностики, які здатні накопичувати отриману інформацію про можливі дефекти, розширювати власну базу дефектів та уточнювати її в процесі функціонування без повного перенавчання системи. Іншою проблемою може бути наявність великої кількості інформативних параметрів, які характеризують стан об'єкта контролю, а, отже, буде мати місце велика розмірність простору діагностичних ознак, за якими відбувається побудова вирішальних правил. Використання статистичних методів у такому випадку ускладнено, оскільки доводиться аналізувати багатовимірні функції розподілу ймовірності, що призводить до значних апаратних ресурсів і витрат часу.

II. Опис вирішення задачі

Серед найбільш перспективних методів безеталонної діагностики та класифікації, які дають можливість вирішити описані проблеми, є методи, засновані на використанні штучних нейронних мереж. Використання подібних методів дозволяє отримати високу завадостійкість, незалежність від впливу зовнішніх факторів і високу ефективність контролю. Застосування нейронних мереж при створенні систем безеталонної діагностики дозволяє підвищити вірогідність контролю, значно зменшити вартість реалізації системи, знизити апаратні і програмні витрати та підвищити її швидкодію. Нейронні мережі дають можливість побудувати складні розділяють гіперплощини, проводити класифікацію лінійно неподільних

об'єктів, а також запам'ятовувати нову інформацію і доповнювати власну базу знань про номенклатуру можливих класів без втрати раніше вивченої інформації.

Існує багато робіт і наукових праць, що описують та підтверджують ефективність застосування нейронних мереж для розпізнавання технічного стану об'єктів контролю [1], розпізнавання можливих дефектів [1], реєстрації сигналів та їх класифікації [2], вирішення кластерного аналізу [3,4] тощо.

Для вибору оптимальної архітектури нейронної мережі, що буде використовуватись у складі інформаційно-вимірювальної системи неруйнівного контролю виробів з композиційних матеріалів, в попередніх роботах було проаналізовано результати застосування таких нейронних мереж як мережа Кохонена [3,4], багатошаровий перцептрон (БШП) [5] та спеціальна гібридна нейронна мережа [1,2]. Гібридній нейронній мережі [1,2] потрібен додатковий час для формування нового класу і фактично відбувається повне її перенавчання. Застосування системи на основі БШП [5] не можливо при вирішенні задач безеталонної діагностики композиційних матеріалів, оскільки номенклатура можливих дефектів виробів з композитів невідома. А для БШП необхідна початкова навчальна вибірка, до того ж БШП не може динамічно розширювати власну базу знань і адаптуватися до появи об'єктів, які відносяться до невідомих раніше класів. Достовірність роботи системи на основі нейронної мережі Кохонена [3,4] при вирішенні задач безеталонної діагностики виробів із композиційних матеріалів не перевищує показника 0,93. Виходячи з отриманих результатів, було вирішено, застосовувати в якості ядра класифікатора нейронну мережу Fuzzy-ART [6,7], оскільки такий підхід дозволяє усунути описані недоліки.

Нейронна мережа Fuzzy-ART здатна вирішувати задачі кластерного аналізу і класифікації образів. Даний тип нейронної мережі дозволяє їй динамічно розширювати власну базу знань про можливі типи дефектів контрольованих об'єктів в процесі роботи. Класична схема та алгоритм роботи даної нейронної мережі описані в роботах [6,7]. В класичній мережі Fuzzy-ART присутні деякі недоліки, що роблять її не придатною для вирішення задачі безеталонної діагностики виробів з композиційних матеріалів. Вирішити поставлену проблему можна шляхом заміни певних складових елементів мережі.

Описана класична архітектура [7] даної мережі чутлива до порядку пред'явлення вхідних векторів під час роботи. Даний недолік проявляється в процесі виконання другої фази (фази порівняння), і пов'язаний з оператором нечіткого "І". Недолік проявляється таким чином, що існує ситуація, коли сигнал скидання не активується і вектор буде класифіковано невірно. Щоб вирішити описаний недолік у роботі було модифіковано класичну архітектуру та алгоритм функціонування мережі Fuzzy-ART. Для цього застосовувався додатково оператор нечіткого "АБО". Такий підхід надає Fuzzy-ART незалежність від порядку пред'явлення вхідних векторів, і таку

нейронну мережу можна використовувати для вирішення поставлених задач безеталонної діагностики композиційних матеріалів.

Існуючі програмні пакети для роботи з нейронними мережами дозволяють вирішувати широке коло прикладних задач, але накладають ряд обмежень на використання архітектур нейронних мереж, не дозволяють проводити гнучку настройку окремих нейронів, вносити доповнення і розробляти власні алгоритми їх навчання та функціонування, окремі більш складні моделі нейронних мереж в даних програмних пакетах відсутні зовсім. Саме тому розробка програмного забезпечення системи безеталонної діагностики композиційних матеріалів з використанням нейронної мережі Fuzzy-ART проводилася в середовищі програмування LabVIEW 2010. Використання цього середовища програмування дозволило розробити багатофункціональну систему діагностики стану виробів із композиційних матеріалів. Графічна мова програмування LabVIEW не накладає обмежень на використання архітектур мережі та на алгоритми їх навчання. Існує можливість розробки власних алгоритмів навчання та функціонування нейронної мережі, створення нових архітектур і поєднання різних типів мереж в єдину багатофункціональну систему. Використання версії LabVIEW 2010 дозволяє реалізувати паралельне виконання програми, що підвищує швидкість і ефективність роботи системи в цілому.

Завдяки використанню нейронної мережі Fuzz-ART у разі появи нового об'єкту в пам'яті системи формується новий клас, який буде відповідати даному об'єкту і виконується коригувальна настройка нейромережевого класифікатора. Таким чином, існує можливість навчати систему в процесі контролю, і відпадає необхідність у формуванні великої кількості еталонних дефектів для первинного налаштування системи. Така організація роботи системи надає їй універсальний характер і дозволяє використовувати для вирішення широкого кола задач.

У системі передбачена можливість зберігати отримані інформаційні сигнали, результати роботи і можливість використання даних, які записані на фізичному або оптичному носії. Також присутні засоби індикації, які відображають отриманий інформаційний сигнал, наявність дефекту і його тип, вибір типу джерела отримання діагностичної інформації тощо.

Основний програмний код системи виконано за модульною структурою, яка надає можливість підключення та інтеграції в основний код програми раніше створених підпрограм і додаткових модулів на мовах високого рівня, працювати з динамічними бібліотеками DLL, розширювати систему додатковими програмними модулями та функціями без внесення значних змін в основну структуру програмного забезпечення. Даний підхід дозволяє без ускладнення додавати необхідні або виключати непотрібні елементи системи, модернізувати та адаптовувати систему до зміни умов роботи.

III. Результати досліджень

В якості експериментальних даних для дослідження використовувались дані, отримані при проведенні контролю зразків стільникових панелей методом низькошвидкісного удару [8]. Дослідний зразок мав п'ять характерних ділянок – бездефектну і чотири ділянки з різним ступенем пошкодженості [8]. Моделями дефектів служили ділянки, по яким попередньо, за допомогою сталевої кульки було завдано точкового удару з нормованою енергією $A_{уд}$, рівною 2.30 кДж (дефект 1), 2.81 кДж (дефект 2), 3.24 кДж (дефект 3) та 5.11 кДж (дефект 4), який спричиняв руйнацію зразка в області контакту. Видимі розміри діаметру області руйнування не перевищували 5 мм. Глибина залягання дефектів відповідає товщині вуглепластика – 3 мм.

Для кожного з 4-х отриманих зразків з дефектами та бездефектного зразка було отримано по 100 реалізацій імпульсів ударної взаємодії. В якості діагностичних ознак використовувались такі параметри як амплітуда, тривалість імпульсу, а також форма інформаційного сигналу. Зміна вказаних параметрів дає можливість визначити наявність дефекту стільникової панелі і класифікувати його тип за ступінню пошкодженості.

У процесі контролю на вхід системи в випадковому порядку подавався один з отриманих сигналів. Після цього він видалявся з вибірки і на вхід системи подавався новий сигнал з вибірки. Дана процедура повторювалася до тих пір, поки всі сигнали з вибірки не були пред'явлені системі. Перед початком роботи системі не було відомо ніякої попередньої інформації про об'єкти контролю та номенклатуру їх дефектів. Таким чином, система динамічно в процесі роботи автоматично формувала власну базу класів. Сформувавши базу класів, для дослідження достовірності формування класів та неруйнівного контролю системі було пред'явлено по 100 нових сигналів, характерних для кожної ділянки досліджуваних зразків. Після пред'явлення всієї контрольної вибірки сигналів було проаналізовано отримані результати роботи розробленої системи. Достовірність контролю стільникових панелей із застосуванням описаної системи склала 97-98%.

Достовірність контролю стільникових панелей із застосуванням розробленої системи на основі нейронної мережі Fuzzy-ART представлені на рисунку. Також було визначено оптимальний рівень коефіцієнту чутливості ρ для реалізованої архітектури ART-мережі. В таблиці наведено результати дослідження основних характеристик розробленої нейронної мережі Fuzzy-ART.

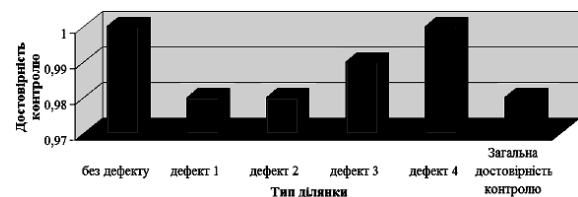


Рис. 1. Достовірність роботи розробленої системи.

Показник				
Час аналізу, секунд	Обсяг пам'яті на диску, кБ	Достовірність контролю при різних значеннях коефіцієнту чутливості ρ		
		$\rho = 0,90$	$\rho = 0,92$	$\rho = 0,93$
2,1	115	0,97	0,98	0,96

Аналізуючи дані в таблиці, можна відзначити, що для даної архітектури нейронної мережі необхідно вибирати значення коефіцієнту чутливості мережі в діапазоні $0,90 \leq r \leq 0,92$.

В цілому можна відзначити, що розроблена модифікована архітектура нейронної мережі Fuzzy-ART має такі переваги як: стабільність запам'ятованої інформації та можливість динамічно розширювати власну базу знань, висока роздільна здатність при класифікації даних, добра завадозахищеність, інваріантність відносно порядку пред'явлення вхідних векторів, існує можливість змінювати швидкість навчання мережі, при повторному пред'явленні навчальної вибірки нейронна мережа здатна сама виправити помилки, які були допущені на попередньому етапі роботи, можливість працювати з аналоговими сигналами.

Висновок

В основі побудованої системи безеталонної діагностики виробів з композиційних матеріалів лежить нейромережевий класифікатор, який забезпечує гнучку і стабільну базу знань про класи можливих дефектів, ефективно оперує з векторами даних великої розмірності, має здатність адаптувати архітектуру сформованої нейронної мережі до вирішення нових задач і дає можливість отримати високу достовірність контролю.

В результаті проведеної роботи була розроблена система безеталонної діагностики та класифікації стану виробів із композиційних матеріалів, яка дозволяє визначити дефектні ділянки об'єкта контролю та провести їх класифікацію за ступенем пошкодження. Застосування нейронної мережі Fuzzy-ART для обробки отриманих експериментальних даних дає можливість автоматизувати цей процес та процес прийняття рішень за результатами неруйнівного контролю. Використання розробленої системи є доцільним і дає можливість отримати високу достовірність контролю – 97-98%. Проведені експерименти та отримані результати показали перспективність застосування нейронної мережі Fuzzy-ART в якості ядра інформаційно-діагностичної системи для проведення неруйнівного контролю та класифікації дефектів виробів із композиційних

матеріалів. Було визначено, що для вирішення поставленої задачі безеталонної діагностики стільникових панелей найкраще підходить модифікована нейронна мережа Fuzzy-ART з коефіцієнтом чутливості $\rho = 0,92$.

Література

- [1] Переєденко А.В. Применение нейронных сетей при неразрушающем контроле композиционных материалов / А.В. Переєденко, Ю.В. Куц, В.С. Еременко // «Дни на безразрушительный контроль 2010»: материалы XXV Национальная конференция с международно участие “Дефектоскопия’10”, 13-17 июня 2010г.: тезисы докл. – София, 2010. – С. 469-475.
- [2] Переєденко А.В. Система безэталонной диагностики композиционных материалов на основе гибридной нейронной сети / А.В. Переєденко, В.С. Еременко, Є.Ф. Суслов, П.А. Шегедин // «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments»: материалы 9-ой международной научно-практической конференции, 3-4 декабря 2010г.: тезисы докл. – М., 2010. – С. 207-212.
- [3] Переєденко А.В. Дослідження алгоритмів проведення кластерного аналізу для вирішення задач неруйнівного контролю / А.В. Переєденко, В.С. Еременко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №1/5(43). – С. 40-43.
- [4] Переєденко А.В. Система кластерного аналізу результатів неруйнівного контролю виробів із композиційних матеріалів / А.В. Переєденко, В.С. Еременко, В.О. Роганьков // Наукоємні технології. – 2010. – №3. – С. 73-77.
- [5] Переєденко А.В. Побудова вирішальних правил при багатопараметровому неруйнівному контролі / А.В. Переєденко, В.С. Еременко, О.О. Гільова, Є.Ф. Суслов // «Современные методы и средства НК и ТД»: материалы 18-ї міжнародної конференції, 5-9 жовтня 2010р.: тези доп. – Ялта, 2010. – С. 78-81.
- [6] Carpenter G.A. A massively parallel architecture for a self-organizing neural pattern recognition machine / G.A. Carpenter, S. Grossberg // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1987. – №37. – P. 54-115.
- [7] Carpenter G.A. Fuzzy ART: Fast stable learning and categorization of analog patterns by an adaptive resonance system / G.A. Carpenter, S. Grossberg, D.B. Rosen // Neural Networks. – 1991. – №4. – P. 759-771.
- [8] Еременко В.С. Обнаружение ударных повреждений сотовых панелей методом низкоскоростного удара / В.С. Еременко, В.М. Мокийчук, А.М. Овсянкин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2007. – №1. – С. 24-27.