

РЕАЛІЗАЦІЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ АЛГОРИТМІВ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ

Р. М. ГАЛАГАН, А. С. МОМОТ

НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ-56, пр.-т Перемоги, 37.

E-mail: rgalagan@ukr.net

Розглянуто можливість застосування архітектури нейронної мережі АРТ-2 для розробки алгоритмів класифікації технічного стану композиційних матеріалів за результатами акустичного контролю методом вільних коливань. Описано інтерфейс і результати роботи програми, що реалізує роботу мережі АРТ-2, а також розроблено засіб для контролю методом вільних коливань. Бібліогр. 10, рис. 2.

Ключові слова: нейронні мережі, композиційні матеріали, класи дефектів, інтерфейс, діагностика

Композиційні матеріали (КМ) знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. Композиційний матеріал є неоднорідним суцільним матеріалом, що складається з двох або більше компонентів, серед яких можна виділити армуючі елементи, що забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу, та матрицю, що забезпечує спільну роботу армуючих елементів.

В процесі полімеризації композитів при їх виготовленні через внутрішні напруги, нерівномірний розподіл зв'язуючого та інші технологічні фактори можуть виникати розшарування, відшарування окремих шарів, рихлість, тріщини та ін. Основні типи дефектів, причини виникнення та їх вплив на механічні характеристики виробів з композитів досить докладно описані в роботах [1, 2]. Дефекти КМ знижують експлуатаційну надійність виробів на їх основі, тому важливою задачею є забезпечення своєчасного виявлення різних дефектів КМ методами неруйнівного контролю.

Поширеним методом контролю КМ є метод вільних коливань (МВК), який оснований на аналізі характеристик вільних коливань виробу, що вібує після удару [3]. МВК використовує згинні коливання звукового діапазону частот (до 20 кГц). Інформативним параметром служить частотний спектр збуджуваних імпульсів. Він є узагальненою характеристикою, що містить всі відомості про амплітуду, форму, тривалість, частотний і фазовий склад коливань.

Варто зазначити, що існуючі системи контролю, що використовують МВК, не дозволяють вирішувати задачу класифікації (кластерного аналізу) в автоматичному режимі, що знижує їх ефективність, а також швидко вносити в пам'ять

системи інформацію про нові класи (об'єкти або дефекти), не дозволяють розширювати власну базу знань без перерахунку всіх параметрів системи розпізнавання.

В останні десятиліття стрімко розвивається нова прикладна область математики, що спеціалізується на штучних нейронних мережах. Актуальність досліджень в цьому напрямку підтверджується безліччю різних практичних застосувань. Це автоматизація процесів розпізнавання образів, адаптивне управління, апроксимація функціоналів, прогнозування, створення експертних систем, організація асоціативної пам'яті і багато інших додатків. У завданнях НК очевидне застосування нейронних мереж – це розпізнавання дефектів за сигналами приладу неруйнівного контролю [4].

В задачах НК навчена нейронна мережа повинна не тільки розпізнавати та класифікувати отримані під час контролю сигнали з датчиків, але і зберігати інформацію про закономірності і взаємозв'язки характеристик інформаційного сигналу і стану об'єкта контролю, а також правильно класифікувати інформаційні сигнали, що відповідають можливим дефектам, які не зустрічались під час навчання.

До нейромережевої архітектури, що може бути застосована для розпізнавання дефектів, пред'являються наступні вимоги:

- можливість роботи з безперервними або квазібезперервними вхідними даними;
- можливість навчання без вчителя, що необхідно для автоматизації формування нових класів дефектів;
- рішення дилеми стабільності–пластичності, що необхідно для запобігання порушення роботи мережі в результаті перенавчання.

Архітектура нейронних мереж адаптивної резонансної теорії. Зазначеним вимогам відповідає архітектура нейронних мереж адаптивної резонансної теорії (АРТ). Мережі й алгоритми АРТ [5, 6] зберігають пластичність, необхідну для вивчення нових класів об'єктів, у той же час запобігаючи зміні раніше запам'ятованих класів; дозволяють виконувати аналіз форми отриманих інформаційних сигналів, тобто без попередньої обробки вхідних даних формувати набір діагностичних ознак, що значно розширює область їх застосування. АРТ-мережі можуть використовуватись для вирішення таких задач НК, як кластерний аналіз, класифікація дефектів об'єктів контролю (ОК), розпізнавання образів тощо.

Теорія мереж АРТ включає декілька парадигм, кожна з яких визначається формою вхідних даних і способом їхньої обробки. АРТ-1 розроблена для обробки бінарних вхідних векторів, а мережі АРТ-2 і Fuzzy-ART можуть класифікувати як бінарні, так і неперервні вектори даних.

Мережі АРТ являють собою векторний класифікатор. Вхідний вектор класифікується в залежності від того, на який із раніше запам'ятованих мережею еталонних образів він схожий. Рішення щодо класифікації вхідного вектору мережа АРТ виражає у формі збудження одного з нейронів шару розпізнавання. Якщо вхідний вектор не відповідає жодному із запам'ятованих образів, створюється нова категорія (виділяється новий нейрон та запам'ятовується новий вектор), яка відповідає вхідному вектору. Якщо визначено, що вхідний вектор схожий на один з раніше запам'ятованих векторів за визначеним критерієм подібності, еталонний вектор в пам'яті нейронної мережі буде

змінюватися (навчатися) під впливом нового вхідного вектора таким чином, щоб стати більш схожим на даний вхідний вектор [7].

Мережа АРТ-2 складається з двох прошарків: 1 – вхідного прошарку порівняння (що має L нейронів), на який подаються образи – набори вхідних даних; 2 – вихідного прошарку розпізнавання (що має P нейронів), який визначає кількість класів – груп образів. Кожен нейрон вхідного прошарку з'єднаний з кожним нейроном вихідного прошарку висхідними синаптичними зв'язками T , а кожен нейрон вихідного прошарку з'єднаний з кожним нейроном вхідного прошарку спадними зв'язками B [8].

Нейронні мережі АРТ-2 і Fuzzy-ART мають наступні переваги: можливість працювати з інформаційними сигналами без попередньої обробки (відбору та формування простору діагностичних ознак), в якості інформаційного параметру може використовуватись форма сигналу, стабільність запам'ятованої інформації та можливість динамічно розширювати власну базу знань; високу роздільну здатність при класифікації даних; добру заводозахищеність; інваріантність відносно порядку пред'явлення вхідних векторів; можливість змінювати швидкість навчання мережі, при повторному пред'явленні навчальної вибірки нейронна мережа здатна сама виправити помилки, допущені на попередньому етапі роботи; можливість працювати з аналоговими сигналами. Також існує можливість навчати АРТ-мережу в процесі контролю, отже зникає необхідність у формуванні великої кількості еталонних зразків первинного налаштування мережі, що дозволяє використовувати її для вирішення широкого кола задач [9].

Реалізація алгоритму класифікації на основі мережі АРТ-2. За результатами аналізу існую-

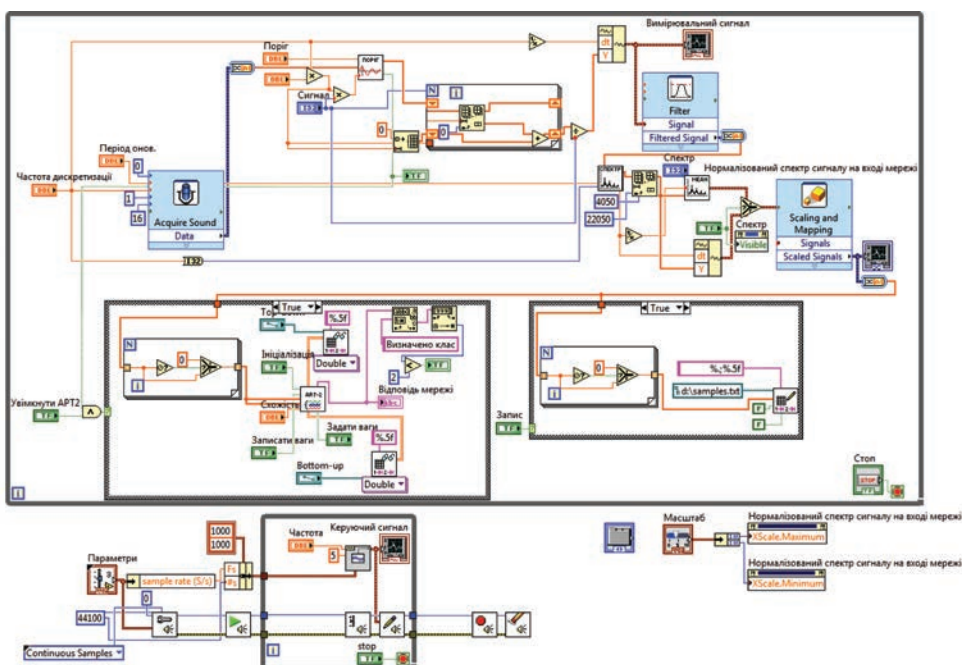


Рис. 1. Блок-діаграма віртуального приладу системи класифікації технічного стану об'єктів з використанням нейронних мереж

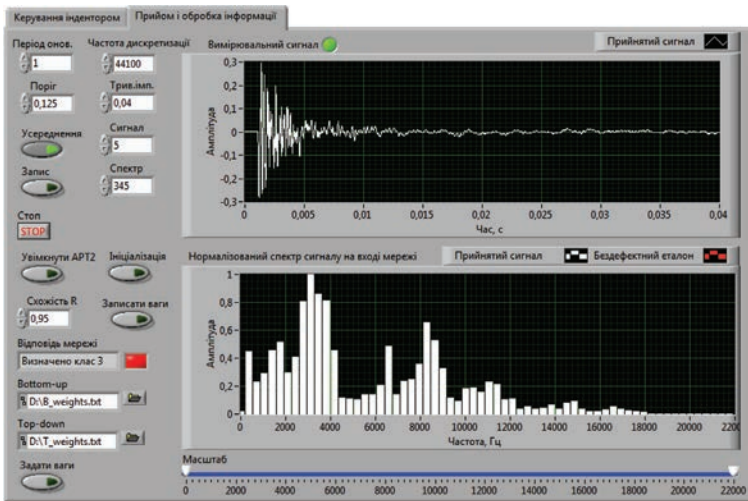


Рис. 2. Интерфейс виртуального прибора для контролю КМ методом вільних коливань

чих програмних засобів для роботи з нейронними мережами було обрано оптимальні пакети для створення виртуального приладу контролю методом вільних коливань та автоматичної класифікації дефектів. Високий рівень інтеграції мови MATLAB та програми NI LabVIEW дозволив реалізувати модель нейронної мережі АРТ-2 за допомогою саме цих програм (рис. 1). Основні формули та залежності були взяті із робіт [6, 8, 10].

Окрім програмування алгоритму роботи нейромережі був сконструйований перетворювач, який містить в корпусі індентор (на основі соленоїду фірми Sparkfun) та мікрофонний приймач сигналів (електретний мікрофон WM-62A, що має компактні розміри та рівномірну амплітудно-частотну характеристику). Мікрофон підключено до лінійного входу персонального комп'ютера (ноутбука) (ПК), що дозволяє використовувати звукову карту в якості аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та приймати і обробляти дані безпосередньо в LabVIEW. Оцифровування сигналу проходить з частотою дискретизації 44,1 кГц, розрядність АЦП звукової карти 16 біт. Використання сучасних елементів та готових рішень дозволило значно спростити конструкцію перетворювача, знизивши його габаритні розміри та вагу. Керування індентором та прийом сигналів виконується за допомогою звукової карти ПК, що значно підвищує ефективність та універсальність системи. Керування частотою ударів та напругою живлення здійснюється за допомогою інтерфейсу виртуального приладу LabVIEW. У якості формувача керуючих імпульсів використовується цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) звукової карти ПК. Оскільки соленоїд споживає струм силою в 1 А, використовується зовнішнє джерело живлення. Для комутації ударного вібратора між зовнішнім джерелом живлення використовується транзисторний ключ на базі мікросхеми ULN2003,

що представляє собою високовольтний багатоканальний транзисторний ключ, який використовується при високих рівнях струму.

Поєднання сучасних механічних елементів та комп'ютерних технологій дозволило позбутися використання окремих АЦП, ЦАП, фільтрів та інших проміжних блоків, спрощуючи структуру організації системи. Обробка даних за допомогою виртуального приладу, створеного на базі програмного пакету NI LabVIEW, підвищила зручність роботи, позбавляючи необхідності створення складних алгоритмів та допоміжних програм. Використання нейронних мереж дозволило реалізувати автоматичну класифікацію стану об'єкту контролю, підвищило адаптивність системи, зменшило роль оператора при прийнятті рішень, загалом підвищуючи ефективність та надійність системи.

Інтерфейс виртуального приладу розробленої системи зображено на рис. 2. Наявні елементи для керування періодом оновлення або довжиною реалізації (тривалістю вікна). Синхронізація відбувається за пороговим рівнем.

Система була протестована на зразках із різними дефектами. При цьому при появі нових дефектів нейронна мережа створювала нові класи. Це обумовлено тим, що кожен зразок містив дефект певного типу, тобто геометричні розміри дефектних зон відрізнялись для різних зразків. Відповідно, спектри сигналів від кожного окремого дефекту були різними, на що реагувала мережа. Таким чином, була доведена основна перевага АРТ-2, а саме вирішення дилеми пластичності-стабільності: у процесі навчання у пам'ять вносилися інформація про нові класи дефектів, тоді як дані про вже існуючі класи не були змінені чи втрачені.

В результаті експерименту було підтверджено ряд переваг системи класифікації технічного стану об'єктів із використанням нейронних мереж над традиційними системами аналогічного типу. Використання нейромережі АРТ-2 дозволило підвищити адаптивність системи контролю, а також створити можливість автоматичного навчання та додавання у пам'ять класифікатора нової інформації про типи дефектів, що раніше не зустрічалися.

Висновки

Впровадження нейромережевих технологій в галузь НК є актуальною задачею, що може вивести саму процедуру прийняття рішень за результатами контролю на новий якісний рівень. Проте говорити щодо значних переваг такого підходу ще зарано, оскільки існуючі нейромережеві технології окрім

перевага мають і недоліки, які необхідно вирішувати в кожному окремому випадку.

Застосування алгоритму АРТ-2 до аналізу отриманих в результаті контролю МВК даних виявило його працездатність та потенціальні можливості, але водночас з'ясувалось, що при певних параметрах самої мережі та налаштуваннях засобу вимірювання можлива неконтрольована поява великої кількості нових класів, проте вони ніяк не були пов'язані з наявністю дефектів. В більшості випадків ці класи правильно класифікувались як бездефектні, хоча були і винятки. Проте величезна кількість навіть правильно визначених класів не призводить до полегшення сприйняття результатів контролю дефектоскопістом. Тому дану проблему ще належить вирішити в подальших дослідженнях.

Список літератури

1. Воробей В. В., Маркин В. Б. Контроль качества изготовления и технология ремонта композиционных конструкций. – Новосибирск: Наука, 2006. – 190 с.
2. Барынин В. А., Будадин О. Н., Кульков А. А. Современные технологии неразрушающего контроля конструкций из полимерных композиционных материалов. – М.: Спектр, 2013. – 242 с.
3. Клюев В. В., Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 т. – М: Машиностроение, 2004. – 864 с.
4. Бархатов В. А. Распознавание дефектов с помощью искусственной нейронной сети специального типа // Дефектоскопия. – 2006. – № 2. – С. 28–39.
5. Технології штучних нейронних мереж. – Режим доступу: http://www.victoria.lviv.ua/html/neural_nets/zmist.htm.
6. Laurene V. Fausett Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications. Prentice-Hall, 1994. – 461 p.
7. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
8. Крючин О. В., Зенкова Н. А. Использование искусственных нейронных сетей для решения задач классификации на примере моделирования медицинского объекта // Вестник ТГУ. – 2011. – № 3. – С. 48–51.
9. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. – М.: ДМК, 2005. – 304 с.
10. Carpenter G. A., Grossberg S. ART 2: self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns. – Applied Optics. – 1987. – 26. – P. 4919–4930.

References

1. Vorobey V. V., Markin V. B. Kontrol kachestva izgotovleniya i tekhnologiya remonta kompozitnykh konstruktsiy. – Novosibirsk: Nauka, 2006. – 190 s. [in Russian].
2. Barynin V. A., Budadin O. N., Kulkov A. A. Sovremennye tekhnologii nerazrushayushchego kontrolya konstruktsiy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov. – M.: Spektr, 2013. – 242 s. [in Russian].
3. Klyuyev V. V., Yermolov I. N., Lange Yu. V. Nerazrushayushchy kontrol. Spravochnik v 7 t. – M: Mashinostroyeniye, 2004. – 864 s. [in Russian].
4. Barkhatov V. A. Recognizing Imperfections with an Artificial Neural Network of a Special Type // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2006. – #2. – P. 92–100

5. Tekhnologii shtuchnikh neironnikh merezh: http://www.victoria.lviv.ua/html/neural_nets/zmist.htm.
6. Laurene V. Fausett Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications. Prentice-Hall, 1994. – 461 p.
7. Barsky A. B. Neyronnye seti: raspoznavaniye, upravleniye, prinyatiye resheny. – M.: Finansy i statistika, 2004. – 176 s. [in Russian].
8. Kryuchin O. V., Zenkova N. A. Ispolzovaniye iskusstvennykh neyronnykh setey dlya resheniya zadach klassifikatsii na primere modelirovaniya meditsinskogo obyektu // Vestnik TGU. – 2011. – № 3. – S. 48–51. [in Russian].
9. Smolentsev N. K. Osnovy teorii veyvletov. Veyvlety v Matlab. – M.: DMK, 2005. – 304 s. [in Russian].
10. Carpenter G. A., Grossberg S. ART 2: self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns. – Applied Optics. – 1987. – 26. – P. 4919–4930.

Р. М. ГАЛАГАН, А. С. МОМОТ

НТУУ «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского».

03056, г. Киев-56, пр-т Победы, 37. E-mail: rgalagan@ukr.net

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Рассмотрена возможность применения архитектуры нейронной сети АРТ-2 для разработки алгоритмов классификации технического состояния композиционных материалов по результатам акустического контроля методом свободных колебаний. Описаны интерфейс и результаты работы программы, реализующей работу сети АРТ-2, а также разработано средство для контроля методом свободных колебаний. Библиогр. 10, рис. 2.

Ключевые слова: нейронные сети, композиционные материалы, классы дефектов, интерфейс, диагностика

R. M. GALAGAN, A. S. MOMOT

NTUU Igor Sykorsky Kiev Polytechnic Institute». 37, Peremohy Prosp. E-mail: rgalagan@ukr.net

REALIZATION OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS FOR CLASSIFICATION OF TECHNICAL STATE OF COMPOSITE MATERIAL BY ACOUSTIC TESTING RESULTS

Possibility of application of APT-2 neural network architecture for development of algorithms for classification of technical condition of composite materials by the results of acoustic testing by free oscillations method, is considered. Interface and results of operation of a program that implements the APT-2 network are described, and a device for testing by free oscillations method was developed. 10 References, 2 Figures.

Keywords: neural networks, composite materials, defect classes, interface, diagnostics

*Надійшла до редакції
20.01.2017*