

НЕЙРОМЕРЕЖНЕ ОЦІНЮВАННЯ ОБСЯГУ ДЕФЕКТУ ЗА ПРИРОЩЕННЯМИ ПЛОЩІ ЗОНДУВАЛЬНОГО ІМПУЛЬСУ

Запропоновано використовувати нейромережі з асоціативною пам'яттю для оцінювання обсягу поверхневого дефекту суцільності струмопровідного матеріалу (виробу) за приращеннями площі (середньою амплітудою) імпульсу електромагнітного зондування.

Предложено использовать нейросети с ассоциативной памятью для оценивания величины поверхностного дефекта сплошности токопроводящего материала (изделия), исходя из приращений площади (средней амплитудой) импульса электромагнитного зондирования.

The neural networks with associative memory have been proposed to estimate the size of surface solidness defect of current-conducting material (article) with the help of the increases of electromagnetic probing impulse area (average amplitude).

Постановка проблеми

Оперативність і безнаслідковість проведення та точність оцінювання параметрів, властиві електромагнітному зондуванню, забезпечують його обґрунтоване застосування при неруйнівному контролі цілісності виробів [1 – 3], зокрема, з широко використовуваних волокнистих композитів: металевих, евтектичних, вуглецевих [4 – 6], котрі володіють помітною струмопровідністю. Внаслідок скін-ефекту виявляються лише поверхневі дефекти суцільності, котрі створюють найбільшу загрозу конструкційній цілісності – саме з їхнього зростання починається руйнування [7].

Шорсткість контрольованої поверхні спричиняє перекося та відводи датчика, що породжує адитивний шум змінної інтенсивності. В таких умовах ефективність цифрових систем електромагнітного зондування визначається як здатністю здійснювати складну логіко-обчислювальну обробку даних у найкоротший термін, так і високою завадостійкістю.

Адекватною мірою обсягу тріщини є площа її проекції на направляючу площину, оскільки величина цієї площі пропорційна впливу дефекту на зондувальне електромагнітне поле. З іншого боку, ступінь впливу дефекту відображається обсягом зондувального імпульсу, зокрема, тривалість взаємодії датчика з дефектом визначає протяжність бази формованого імпульсу, а його площа варіюється від мінімального значення $Q_{\min} \gg 0$ (для точкових дефектів) до максимального Q_{\max} (для дефектів, які перебільшують зону контролю) залежно від геометричних розмірів тріщини, орієнтації її направляючої площини – по відношенню до траєкторії сканування – тощо.

Внаслідок відсутності всебічної математичної теорії виявляється невідомим і, мабуть, неоднозначним вплив указаних чинників на змінення площі імпульсу зондування, а тому, з метою оцінювання обсягу поверхневого дефекту, доцільне залучення штучних нейронних мереж [8 – 12], причому таких, які швидко навчаються, використовуючи непередставницькі вибірки даних експерименту.

Метою статті є залучення штучних нейромереж із асоціативною пам'яттю, зокрема, мережі Гопфілда для оцінювання геометричних розмірів поверхневого дефекту суцільності струмопровідного матеріалу чи виробу за приращенням площі (середньою амплітудою) імпульсу електромагнітного зондування.

Основна частина

У процесі неруйнівного контролю електромагнітний датчик, зокрема, накладний вихорострумний перетворювач (ВСП) покроково сканує поверхню виробу, формуючи дискрети S_i ($i = -N, \dots, N$) імпульсу у разі взаємодії з дефектом. Внаслідок адитивного шуму змінної інтенсивності відліки викривляються: $S_i + e_i$, де $\{e_i\}$ – компоненти вектора похибки ($i = -N, \dots, N$). Отримані в такий спосіб вхідні змінні x_i ($i = -N, \dots, N$) подаються на входи запропонованої нейромережі, котра узагальнює відомі мережі з асоціативною пам'яттю, зокрема, мережу Гопфілда.

Узагальнення досягається шляхом підключення додаткового шару вхідних нейронів Маккаллоха-Пітца.

З метою виявлення присутності зондувального імпульсу в складі ковзної вибірки, оцінку

$\Delta\hat{Q} = \hat{Q} - Q_{\min}$ ($0 \leq \Delta Q \leq Q_{\max} - Q_{\min}$) глобально-го прирощення площі

$$\begin{aligned} \Delta\hat{Q} &= \sum_{i=-N}^N (S_i + e_i) - Q_{\min} = \\ &= \left(\sum_{i=-N}^N S_i - Q_{\min} \right) + \sum_{i=-N}^N e_i \end{aligned} \quad (1)$$

обчислює управляючий нейрон із біполярною пороговою функцією

$$F(Q) = \begin{cases} 1 & \text{при } Q \geq Q_{\min}; \\ -1 & \text{при } Q < Q_{\min} \end{cases}$$

і опорним сигналом Q_{\min} , причому на входи з одиночними вагами подаються змінні x_i ($i = -N, \dots, N$).

Відповідно до виразу (1), відбувається безпосереднє згладжування дискрет імпульсу в межах ковзної вибірки шляхом підсумування $(2N + 1)$ відліків.

Другий і третій управляючі нейрони вхідного шару підсумовують дискрети, відповідно, лівої і правої половин ковзної вибірки та в її межах фіксують центральне положення імпульсу в разі рівності часткових сум. Остання обумовлює необхідність подальшої обробки.

Решта нейронів вхідного шару фіксує перебільшення оціненим значенням прирощення площі імпульсу експериментально встановлених величин порогів для різних за розмірами дефектів. В результаті вхідний шар нейронів формує один із M можливих векторів, які містять N бінарних символів « ± 1 ».

Приклад. Розглянемо особливості класифікації за глибиною довгих поперечних поверхневих тріщин у композиті типу вуглець-вуглець за допомогою нейромережі Гопфілда, навчання котрої проведено із залученням результатів наступного експерименту.

Для поперечних тріщин прямокутного перетину із розкриттям 300 мкм та фіксованої глибини Δ : 1, 2, 3, 4, 5 мм – у процесі сканування із кроком 1 мм за координатою s поперек їхніх направляючих площин – експериментально встановлені модуляційні характеристики відносних (внесених контрольованою ділянкою композита) активного $R/\omega L_0 = \Psi(s)$ й індуктивно-го $L/L_0 = \Phi(s)$ опорів, де $\omega = 2\pi f$ – циклічна частота монохроматичного збудження (при $f = 10$ МГц), L_0 – власна індуктивність круглого параметричного ВСП. Останній містить феритове осердя марки М400НН діаметром – $D =$

$= 7$ мм; висота намотування котушки – $H = 4.5$ мм; кількість витків – $n = 9$; діаметр мідного дроту – $d = 0.6$ мм; величина зазору між торцем ВСП і поверхнею композиту приймала значення: 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 мм.

При перетинанні траєкторією сканування ВСП направляючої площини тріщини, формований імпульс досягає мінімуму. При цьому імпульс модуляційної характеристики $L/L_0 = \Phi(s)$ є інвертованим унімодальним за формою, причому амплітуда мінімуму зменшується зі збільшенням глибини тріщини (зменшення відносної внесеної індуктивності тим помітніше, чим більше порожнини опиняється в зоні контролю).

Модуляційна характеристика $R/\omega L_0 = \Psi(s)$ містить бімодальні імпульси, які формуються так. При входженні тріщини в зону контролю – внаслідок зменшення в ній частки струмопровідного матеріалу – збільшується внесений відносний опір. Останній, згодом, помітно зменшується, коли тріщина займає центральне положення в зоні контролю, зменшуючи перепону розповсюдженню вихорових струмів за концентричними траєкторіями. Тому центральний мінімум, що вказує тріщину, необов'язково є глобальним (менші значення амплітуди можуть реєструватись із боків обох максимумів – що відповідає моментам часу до чи після входження тріщини в зону контролю).

З метою стабілізації умов вимірювань в області локалізації тріщини шляхом усунення вторинних факторів, зокрема, віддаленості від кромки композитного виробу, запропоновано площу імпульсів оцінювати за допомогою їхніх усереднених амплітуд $\overline{R_B/\omega L_0}$ й $\overline{L_B/L_0}$. Відмітимо, що в процесі усереднення здійснюється згладжування адитивного шуму з нульовим математичним очікуванням.

Тоді відносний комплексний опір, що характеризує тріщину:

$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{R + j\omega L}{R_0 + j\omega L_0},$$

де активний власний опір R_0 ВСП, на декілька порядків менший від його індуктивного опору ωL_0 , задається формулою:

$$\overline{Z/Z_0} \approx \overline{L/L_0} - j\overline{R/\omega L_0}.$$

У разі геометричного подання відносних внесених комплексних опорів їхні модуль і аргумент обчислюється так:

$$|Z/Z_0| = \sqrt{(L/L_0)^2 + (R/\omega L_0)^2};$$

$$\varphi = -\arctg \frac{R/\omega L_0}{L/L_0},$$

виходячи з усереднених амплітуд експериментальних імпульсів.

При аналізі даних експерименту встановлено, що складові відносного комплексного опору змінюється таким чином:

- дійсна частина й модуль – у десяті частини разу;
- уявна частина – в соті долі разу;
- аргумент – у межах 10° .

Тому в якості двовимірного простору інформаційних ознак для розрізнення довгих поперечних тріщин за їхньою глибиною доцільно використовувати комплексну площину у разі геометричного подання усередненого відносно опору за допомогою модуля й аргументу.

Приклад (продовження). На рис. 1 для трьох значень зазору h : 0.2, 0.5, 1.0 мм наведені залежності – обведені штрих-пунктирними овалами – аргументу відносного (внесеного до ВСП) комплексного опору від значень його модуля для тріщин глибини Δ : 1, 2, 3, 4, 5 мм. Аналіз залежностей вказує на те, що збільшення зазору погіршує розрізнявальну спроможність глибоких тріщин.

Додатковий шар нейронів формує $M = 6$ комбінацій із $N = 5$ бінарних символів, які вказують довжину тріщини (мм):

$$\begin{aligned} (+ + + + +) &\geq 5, \\ (- + + + +) &\geq 4, \\ (- - + + +) &\geq 3, \\ (- - - + +) &\geq 2, \\ (- - - - +) &\geq 1, \\ (- - - - -) &< 1. \end{aligned}$$

Встановлено, що значення використовуваного зазору ВСП й частоти монохроматичного збудження доцільно розрізняти за допомогою такої інформаційної ознаки, як аргумент комплексного опору, тоді як величина його модуля є однозначним класифікатором глибини тріщин.

З метою нейромережного оцінювання модуля й аргументу відносних внесених комплексних опорів в умовах шуму змінної інтенсивності застосовано рекурсивний автоасоціативний варіант BSB мережі Гопфільда, реалізований засобами MATLAB [9].

У початковому стані BSB перебуває в середині одиничного гіперкуба, обмеженого вход-

ними біполярними сигналами, сформованими додатковим шаром входних нейронів. При функціонуванні мережа здійснює рекурсивну зміну своїх станів у напрямку граней гіперкуба й із залученням близько 20 ітерацій симуляції опиняється в одному із стійких станів, котрий і визначає глибину певної тріщини.

Сфера застосування, а також простота структури і функціонування використовуваних штучних нейронних мереж роблять доцільною їхню програмну реалізацію за допомогою мікропроцесорів і процесорів ЦОС.

Висновки

Таким чином, штучні нейронні мережі з асоціативною пам'яттю, зокрема, мережа Гопфільда, залучені для оцінювання геометричних розмірів поверхневого дефекту суцільності струмопровідних матеріалів чи виробів за прирощеннями площі імпульсу електромагнітного зондування (чи за його середньою амплітудою).

З метою усунення впливу адитивного шуму на результати електромагнітної дефектоскопії за допомогою параметричного накладного вихорострумового перетворювача (ВСП) запропоновано:

- у межах вибірки здійснювати згладжування дискрет модуляційного імпульсу шляхом обчислення прирощення площі імпульсу (чи його середньої амплітуди, яка не залежить від кількості дискрет), котре пропорційне розміру тріщини;
- модифікувати годографи параметричних ВСП, використовуючи значення комплексного опору, котрий відповідає не максимальній, а середній амплітуді модуляційного імпульсу дефекту;

- серед можливих видів годографів перевагу слід віддавати залежності аргументу відносного комплексного опору від його модуля, коли інформаційними ознаками для розпізнавання служать: а) значення аргументу щодо величини зазору й частоти монохроматичного збудження, б) варіації модуля – для класифікації довгих поперечних тріщин за їх глибиною.

З метою нейромережного оцінювання модуля й аргументу відносних внесених комплексних опорів застосовано рекурсивний автоасоціативний варіант BSB мережі Гопфільда.

Сфера застосування, а також простота структури і функціонування використовуваних штучних нейронних мереж роблять доцільною їхню програмну реалізацію за допомогою мікропроцесорів і процесорів ЦОС.

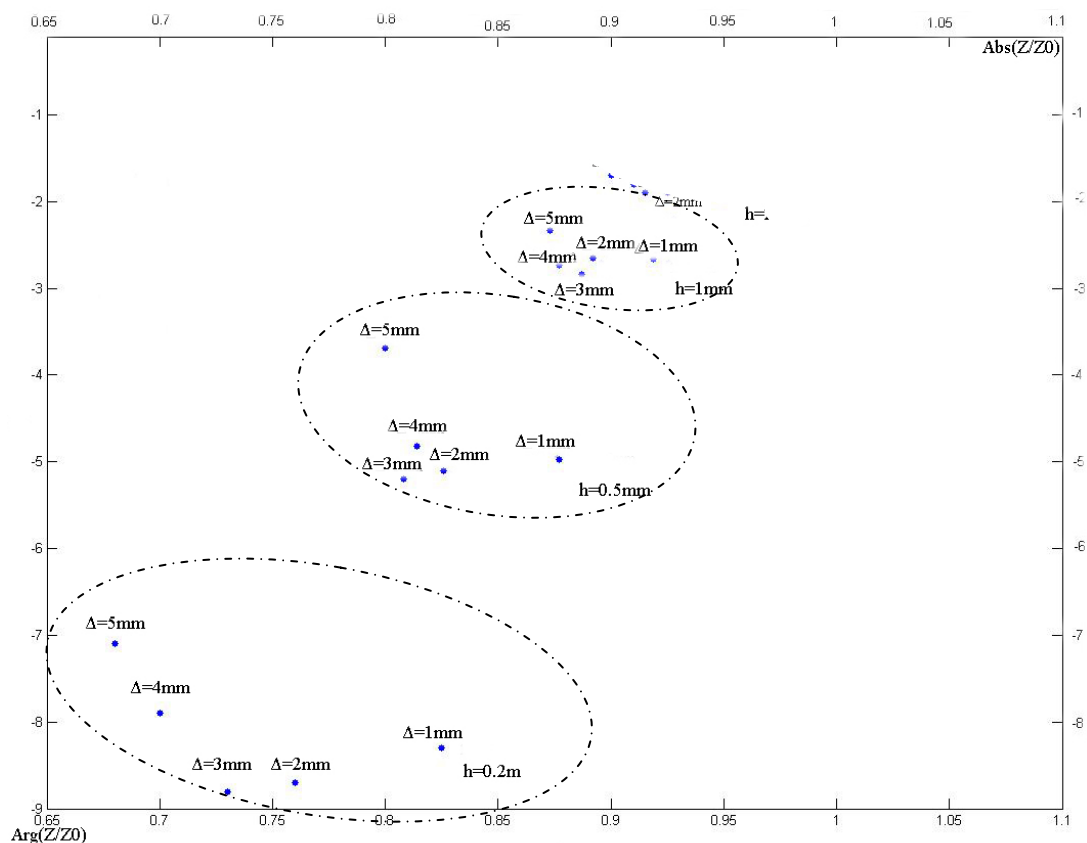


Рис. 1. Залежності величини аргументу відносного (внесеного до ВСП) комплексного опору від значень його модуля для тріщин глибини $\Delta = 1, 2, 3, 4, 5$ мм та зазорів $h = 0.2, 0.5, 1$ мм

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дорофеев, А. Л. Электромагнитная дефектоскопия [Текст] / А. Л. Дорофеев, Ю. Г. Казамапов. – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.
2. Соболев, В. С. Накладные и экранные датчики (для контроля методом вихревых токов) [Текст] / В. С. Соболев, Ю. М. Шкарлет. – Новосибирск: Наука, 1967. – 144 с.
3. Хандецкий, В. С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний [Текст] / В. С. Хандецкий, В. В. Герасимов // Вісник ДНУ: Фізика. Радіоелектроніка. – 2003. – № 10. – Д., 2003. – С. 128-132.
4. Композиционные материалы [Текст] : справочник / под ред. Д. М. Карпиноса. – К.: Наук. думка, 1985. – 591 с.
5. Композиционные материалы [Текст] : справочник / под ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
6. Джур, С. О. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці [Текст] : підручник / С. О. Джур, Л. Д. Кучма, Т. А. Манько. – К.: Вища освіта, 2003. – 399 с.
7. Фудзии, Т. Механика разрушения композиционных материалов [Текст] / Т. Фудзии, М. Дзакко; [пер. с япон. С. Л. Масленикова]. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
8. Горбаченко, В. И. Нейрокомпьютеры в решении краевых задач теории поля [Текст] / В. И. Горбаченко. – М.: Радиотехника, 2003. – 336 с.
9. Медведев, В. С. Нейронные сети. MATLAB 6 [Текст] / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
10. Аксенов, С. В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) [Текст] / С. В. Аксенов, В. Б. Новосельцев. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
11. Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений [Текст] / А. Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
12. Муха, Ю. П. Нейросетевые измерительные системы. Диагностика состояния сложных объектов [Текст] / Ю. П. Муха, М. Г. Скворцов. – М.: Радиотехника, 2007. – 336 с.

Надійшла до редколегії 30.03.2009.
Прийнята до друку 07.04.2009.