

Контроль якості сталевих труб в реальному часі з використанням нейронної мережі, яка прогнозує сигнал помилки наявності дефектів

Андрій Павлович Гвоздак, Олександр Мубаркович Ахметшин

Дніпропетровський державний університет, Радіо-фізичний факультет, вул. Наукова 13, корпус 12, м. Дніпропетровськ 49050. тел. 056-7769092. e-mail: andrey@mail.dsu.dp.ua, akhm@mail.dsu.dp.ua.

Магнітно-індукційний метод контролю якості безшовних труб у реальному масштабі часу характеризується високим рівнем структурних шумів, що мають складний закон розподілу щільності ймовірностей які змінюються від партії до партії виробів.

Традиційний метод виявлення дефектів труб пов'язаний із використанням еталонних дефектів. Проте форма реальних дефектів є випадковою, що не дозволяє використовувати методи оптимальної фільтрації для їхнього виявлення.

Для рішення задачі була використана багатопарова Adaptive Neuro Fuzzy Interface System (ANFIS), яка навчалася шляхом подачі усіляких варіантів сигналів бездефектних ділянок труб що реєструються прийнятною системою.

У якості аналізованого сигналу розглядався сигнал помилки прогнозу ANFIS. Проведені експерименти показали, що метод дозволяє виділити сигнал випадкових протяжних дефектів навіть у ситуаціях коли відношення сигнал / шум було менше одиниця і традиційні амплітудні методи селекції сигналів дефектів не виявляли.

1. Вступ

Одним із поширених засобів контролю якості сталевих труб середнього діаметра в реальному масштабі часу є метод магнітно-індукційної дефектоскопії (МІД).

У області МІД проведений великий обсяг теоретичних досліджень пов'язаних із моделюванням взаємодії магнітного поля з дефектами, проте інформаційні аспекти МІД досліджували недостатньо, що можливо пояснюється нестационарним характером сигналів що реєструються і високим рівнем структурних і вимірювальних шумів. Традиційні підходи до задачі виявлення дефектів базуються на використанні методів смугової фільтрації сигналів що реєструються [1, 2]. Проте детальний аналіз ситуації показує що, подібний підхід не узгоджується з фізичною структурою сигналів що реєструються, що як слідство веде до зниження реальної чутливості контролю. Це вимагає необхідність пошуку нових

підходів до аналізу даних МІД на базі нових інформаційних технологій.

2. Модель сигналу що реєструється

Важливою прикладною особливістю більшості методів МІД є використання систем намагнічування які обертаються навколо труби зі зніманням вихідної інформації за допомогою безконтактних індуктивних перетворювачів. Останнє означає, що спектральна характеристика сигналів що реєструються є лінійчатою з відстанню між гармоніками

$$\Delta f = f_k - f_{k-1} = \frac{1}{T_0}, \text{ де } T_0 \text{ період обертання.}$$

Експериментальні дослідження також підтверджують той факт, що, у відмінності від ідеалізованої ситуації, реальна труба має багатогранник, причому з невідомим заздалегідь числом граней. З цього випливає два висновки:

1. Сигнал що реєструється навіть бездефектної структури має періодичну послідовність.
2. Наявність граней приводить до періодичної зміни відстані між перетворювачем і поверхнею труби.

Слідством останнього ефекту є наявність і паразитної амплітудної модуляції сигналу що реєструється. Це призводить до зниження реального порога чутливості системи контролю. На рис. 1 показаний типовий сигнал бездефектної ділянки труби, де явно визначено характер цієї модуляції і відносний рівень структурних шумів.

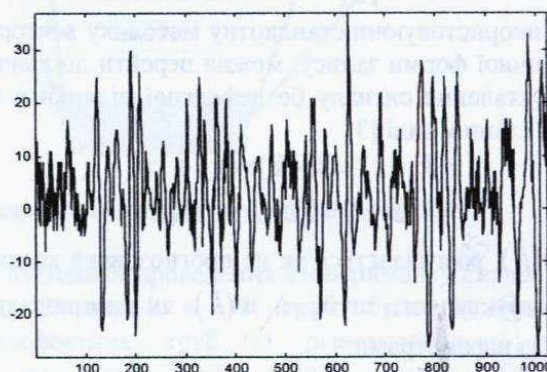


Рисунок 1. Типовий сигнал бездефектної ділянки труби $s(t)$ при магнітно-індукційному методі контролю.

Загальний аналіз характеру сигналів $s(t)$ бездефектних ділянок труб дозволяє зробити два додаткових висновки:

-використання систем відбракування (контролю) із фіксованим порогом прийняття рішення можливо лише в тому випадку, коли амплітуда сигналу дефекту перевершує максимальну амплітуду бездефектної ділянки. Проте дуже часто спостерігалася ситуація, коли поява періодичного сигналу дефекту збігалася з мінімумами сигналу $s(t)$, що не дозволяло ідентифікувати наявність сигналу дефекту при використанні фіксованого порога прийняття рішення.

-використання смугової фільтрації ефективно лише у випадках, суттєвої відмінності спектральних характеристик апіорно невідомого сигналу дефекту і сигналу окремої грані. Це можливо не завжди і в усіх випадках використання смугової фільтрації буде приводити до зниження реальної чутливості контролю оскільки як сигнал дефекту так і сигнал грані буде мати приблизно однакову ширину спектра (але різну інтенсивність спектральних компонент).

Відзначені особливості зажадали пошуку альтернативних підходів до задачі магнітно-індукційного контролю труб, по своїй сутності еквівалентних використанню ковзного порога прийняття рішення для підвищення реальної чутливості контролю.

У рамках поставленої задачі були досліджувані два підходи: метод адаптивної фільтрації Калмана і Adaptive-Network-based Fuzzy interface System (ANFIS) основана що до прийняття рішення про дефектність труби на основі аналізу помилки прогнозу сигналу дефектоскопу в часовій області.

3. Метод адаптивної фільтрації Калмана.

Ідея методу заснована на розгляді сигналу бездефектної ділянки у виді стаціонарної стохастичної динамічної послідовності, що описується в загальному випадку рівнянням авторегресії порядку p , тобто

$$s(t_k) = \sum_{i=1}^p a(i)s(t_{k-i}) + u(t_k). \quad (1)$$

Використовуючи стандартну методику векторної-матричної форми запису, можна перейти до канонічного уявлення сигналу бездефектної ділянки в просторі стани у виді [3]

$$\begin{aligned} x(k+s) &= \Phi(k)x(k) + ru(k); \\ z(k) &= Hx(k) + w(k), \end{aligned} \quad (2)$$

де $u(k)$ розглядається як не прогнозована компонента структурного шуму, а $w(k)$ як вимірювальний шум із параметрами

$$\begin{aligned} E\{w(k)\} &= 0; E\{w(i)w(j)\} = R\delta(i-j) \\ E\{u(k)\} &= 0; E\{u(i)u(j)\} = Q\delta(i-j). \end{aligned} \quad (3)$$

Поява дефекту можна характеризувати моделлю:

$$x(k+1) = [\Phi(k) + \Delta\Phi(k)]x(k) + \Gamma u(k), \quad (4)$$

де $\Delta\Phi(k)$ - випадкова фінитна функція яка характеризує дефект.

Тому що вихідний фільтр розраховується в припущенні без дефектності труби, то поява дефекту веде до невизначеності в розрахунковій моделі, що може привести до великих помилок аж до розходження оцінок фільтрації. Саме цей факт і визначає необхідність використання адаптивної фільтрації. Для локалізації випадкового дефекту необхідно зіставлення дефектограми що фільтрується з деяким еталонним сигналом. У якості якого ми розглядали відфільтрований динамічний сигнал апіорно бездефектної труби

$$s_{et}(k) = s(k) + s_N(k), \quad (5)$$

де $s(k)$ розглядається як квазидетермінована компонента, а $s_N(k)$ - як неув'язка фільтрації з параметрами

$$E\{s_N(h)\} = 0; E\{s_N^2(h)\} = P_{et}(k, h), \quad (6)$$

при цьому задача виявлення і локалізації дефекту зводиться до обчислення і порівняння з заданим порогом виразом:

$$y = \frac{[s(k) - s(k, k)]^2}{P_{et}(k, k) + P(k, k)} \rightarrow \begin{cases} < \alpha : H_0 \\ \geq \alpha : H_1 \end{cases}, \quad (7)$$

де α - поріг прийняття рішення; H_0 - відсутність дефекту; H_1 - наявність дефекту.

У процесі проведених експериментів були перевірені різноманітні варіанти адаптивних алгоритмів фільтра Калмана [5] і в багатьох ситуаціях були отримані цілком задовільні результати. Проте в цілому проявилася одна проблема пов'язана зі структурною невизначеністю характеру сигналів $s_{et}(k)$, оскільки, як було відзначено вище число граней труби заздалегідь не відомо. Адаптивний фільтр Калмана відслідковував зміни параметрів моделі, але це завжди приводило до появи сигналу розладу на фактично бездефектних ділянках у початковій стадії контролю. Ця задача може бути вирішена на основі використання сімейства паралельних фільтрів Калмана, але для їх виконання в реальному часі, буде потрібно достатньо складна багатопроцесорна система яка складається з гребінки сигнальних процесорів.

4. Контроль якості на основі аналізу помилки прогнозування вихідного сигналу навченої нейронної мережі.

Оскільки штучна нейрона мережа може бути подана як паралельно розподілена обчислювальна мережа, то використання нейронної мережі може бути розглянуто і з позиції альтернативи використання

гребінки фільтрів Калмана. Крім цього, у реальних ситуаціях часто виникає проблема представлення сигналу $s(t)$ до канонічної форми (2), оскільки теоретичні варіанти рішення задачі припускають, що як $w(t)$ так і $u(t)$ представляють гаусовські послідовності.

При виборі методу рішення задачі визначену роль зіграли результати роботи [6] по прогнозуванню Maskye-Glass часових послідовностей, оскільки зіставлення даних на рис.22 [6] і бездефектного сигналу $s(t)$ на рис. 1 показує визначення їх подібності (хоча структура сигналу $s(t)$ звісно набагато складніше).

У рамках подібного підходу сигнал $s(t)$ варто розглядати як сигнал що генерується нелінійною системою, а не як стаціонарний часовий ряд при

розрахунку фільтра Калмана. Такий погляд на природу сигналу $s(t)$ дає додатковий аргумент на користь використання нейронної мережі, тому що структура нейронної мережі може адаптуватися до сильно не лінійних послідовностей, що забезпечує її істотну перевагу в порівнянні з лінійними методами при опрацюванні нелінійних часових послідовностей.

При проведенні експериментів була обрана 5 шарова гібридна нейрона мережа з ANFIS архітектурою на основі обчислювального еквівалента Thikomato методу представлення (рис.2). Для прогнозування сигналу дефектоскопа $s^*(t)$ використовувалися 4 входи $s(t_{k-6})$, $s(t_{k-12})$, $s(t_{k-18})$ і $s(t_{k-24})$.

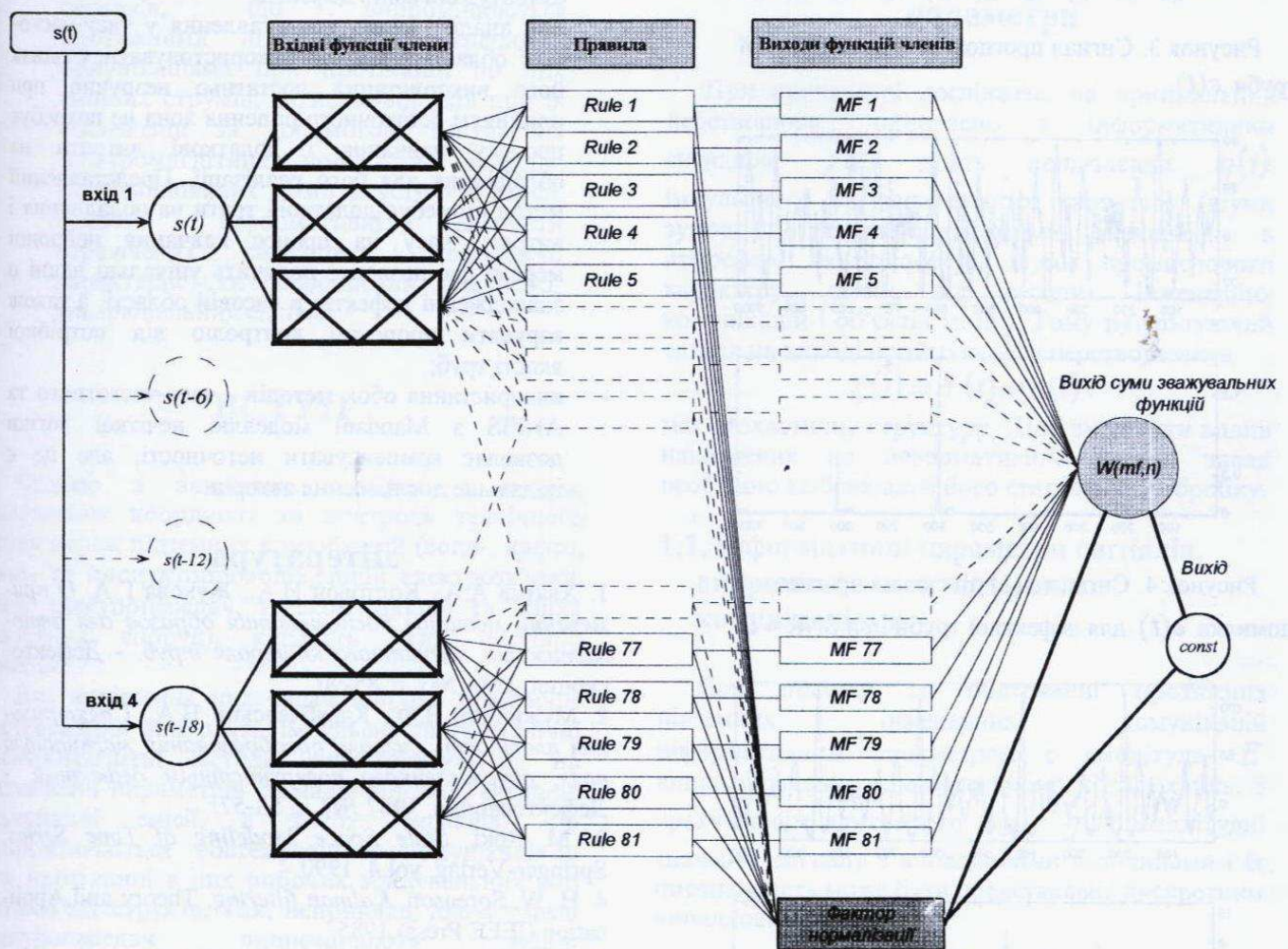


Рисунок 2. Структура ANFIS моделі використаної для процесу прогнозу сигналу дефектів.

Кожному входові ставилося у відповідність три лінгвістичні перемінні (low, med-ium, high). Кожному входові при фузіфікації ставилося у відповідність 3 трикутні функції приналежності що характеризуються трьома параметрами. Загальне число параметрів побудованої моделі ANFIS склало 429 із 81 числом правил фузіфікації відповідно.

Методика проведення експерименту складалася в так 3 партії в 50 труб були відібрані 10 бездефектних труб із різноманітними типами динаміки сигналу $s(t)$. Всі ці сигнали розглядалися в якості навчальних для ANFIS.

Типовий сигнал помилки-прогнозу $e(t)$ для бездефектної труби показаний на рис.3. Амплітуда

$e(t)$ знаходилася в межах $[-20 \div 20]$ відносних одиниць. Зіставлення сигналів $s(t)$ і $e(t)$ для дефектних труб при $SNR \approx 1$ показано на рис. 4, а для $SNR \approx 2$ на рис. 5.

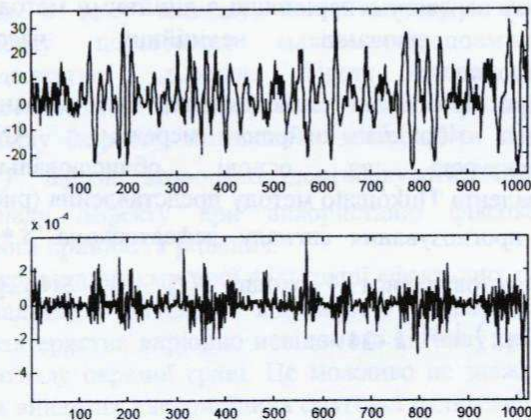


Рисунок 3. Сигнал прогнозу для бездефектної труби $e(t)$.

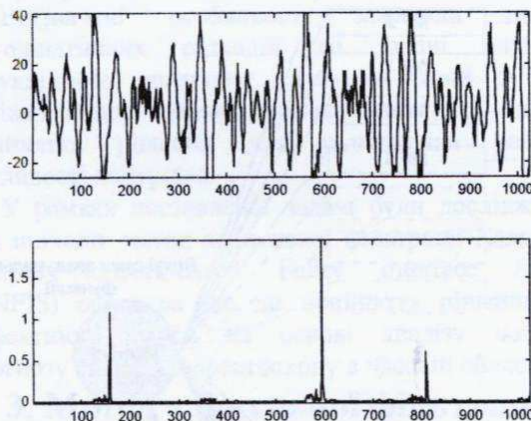


Рисунок 4. Сигнал $s(t)$ та сигнал прогнозу помилки $e(t)$ для дефектної труби при $SNR \approx 1$.

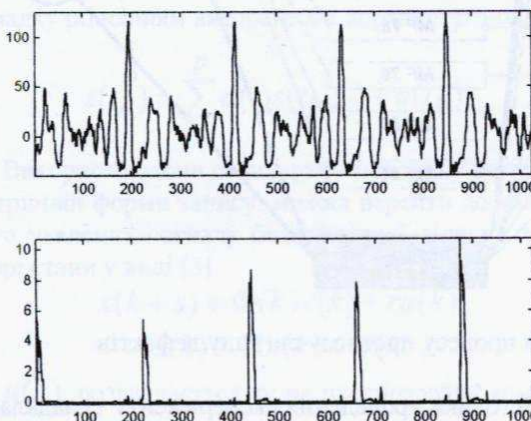


Рисунок 5. Сигнал $s(t)$ та сигнал прогнозу помилки $e(t)$ для дефектної труби при $SNR \approx 2$.

Зіставлення результатів на цих малюнках показує, що застосування ANFIS дозволило підвищити

відношення сигнал/шум у залежності $e(t)$ в 10 разів у порівнянні з вихідною залежністю $s(t)$. При $SNR < 1$ результати були більш суперечливі і часто призводили до помилкових виявлень дефектів. У таких випадках для мінімізації можливості помилкової інформації про дефект доцільно використання декількох алгоритмів обробки інформації, що засновуються на різноманітних фізичних припущеннях про природу дефектів[7].

5. Висновки.

Використання моделі ANFIS дозволило:

- Поліпшити відношення сигнал шум вихідних сигналів завдяки використанню лінійних функцій підлеглості для процесу дефузіфікації;
- дозволив обмежити присутність дефектів в часовій області при порівнянні видимих амплітуд сигналів дефектів;
- при аналізі метод представлення у часу-частотної області [7] може використовуватися однак його використання достатньо незручно при прийнятті остаточного рішення хоча не потребує процесу навчання і додаткові витрати на обладнання для його реалізації. Представлений метод потребує додаткові трати на обладнання і витрату часу на процес навчання нейронної мережі але дозволяє получить унікальні данні о знаходженні дефектів в часовій області, а також керувати процесом контролю від потрібної якості труб;
- використання обох методів - часу-частотного та ANFIS з Mandani моделлю нечіткої логіки дозволяє компенсувати неточності, але це є подальше дослідження авторів.

Література

1. Хватов А.А., Колтовой И.А., Жукова Г.А. *О применении методов распознавания образов для автоматизации магнитного контроля труб.* - Дефектоскопия, 1986 №3, с. 85-90.
2. Мужичкий В.Ф., Карабчевский В.А. *Спектральная плотность сигнала преобразования магнитного поля, обусловленного поверхностным дефектом.* - Дефектоскопия, 1987 №7, с. 53-57.
3. M. Roki, *State Space Modeling of Time Series*, Springer-Verlag, vol.4, 1990.
4. H. W. Soreuson, *Kalman filtering, Theory and Application* (IEEE Press), 1985.
5. G. C. Goodwin, K. S. Sin, *Adaptive filtering prediction and control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y., 1984.
6. Y. S. R. Yang, ANFIS: *Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System*, IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, vol. 23, N3, pp. 665-685, 1993.
7. A.P. Gvozdak, V. M. Dolgov, *Time-frequency NDT in real time mode based on DSP*, Signal/Image Processing and Pattern Recognition, Proceeding, The Fourth All-Ukrainian International Conference, 19-23 October, Kiev, pp. 113-116, 1998.