

*О.Д. Близнюк, Р.М. Марчук
(Національний авіаційний університет, Україна)*

*О.Г. Бондаренко
(Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Україна)*

Діагностування та моніторинг технічного стану протяжних трубопроводів низькочастотними ультразвуковими спрямованими хвилями

У статті розглянуто застосування методу низькочастотного ультразвукового діагностування для контролю протяжних трубопроводів у нафтогазовій промисловості. Проаналізовано процедуру ідентифікації втрат металу у трубах під час експлуатації. Обговорено використання порогової логіки для визначення дефектів у стінках трубопроводу та необхідність переходу від неруйнівного контролю до технічного діагностування.

Початок XXI ст. у різних країнах світу ознаменувався розвитком нових методів і технічних засобів для діагностування та моніторингу технічного стану відповідальних промислових об'єктів, до яких, в першу чергу, слід віднести метод та технологію неруйнівного контролю протяжних інженерних систем на основі застосування далеко діючих низькочастотних ультразвукових спрямованих хвиль. До таких відповідальних протяжних об'єктів, які потребували вирішення задачі оцінки їхнього технічного стану в процесі довготривалої експлуатації у різних країнах світу, відносяться протяжні нафто- і газопроводи, технологічні трубопроводи промислових підприємств, залізничні рейки, канатні висячі мости тощо.

Вважається, що вперше далеко діючий низькочастотний ультразвук (LRUT) був представлений у 1998 році фірмою Plant Integrity Ltd (Англія) у вигляді методики Teletest для контролю протяжних трубопровідних систем (трубопроводів) у нафтогазовій промисловості для виявлення корозії та інших втрат металу у стінці труби, наприклад, ерозійного зносу стінки в процесі довготривалої експлуатації трубопроводу [1, 2]. Таку увагу до технічного стану трубопроводів в усіх країнах світу можна пояснити тим, що ці протяжні об'єкти належать до об'єктів підвищеної небезпеки, які обумовлені високими тисками транспортованих речовин, складними-кліматичними умовами їхньої експлуатації тощо.

Тому проблема визначення технічного стану різноманітних трубопровідних систем, забезпечення їхньої надійності та безпечної експлуатації поступово стала предметом геополітики. В цій ситуації важливо значення для забезпечення працездатності трубопроводів має постійний моніторинг їхнього технічного стану. В зв'язку з цим адаптація адекватної технології для діагностування та моніторингу технічного стану протяжних трубопроводів, якої є метод низькочастотного ультразвукового діагностування спрямованими хвилями, має велике значення для зниження втрат потенційно небезпечних продуктів, що транспортуються зазначеними трубопроводами.

Великою перевагою НЧ УЗД спрямованими хвилями є можливість 100% охоплення при контролі стінки труби за всією довжиною контрольованої ділянки трубопроводу, основні характеристики та особливості низькочастотного хвильового процесу в протяжних трубопроводах розглянуто в роботі [3].

Визначення контрольних та діагностичних ознак при діагностуванні технічного стану протяжних трубопроводів. Перехід від процесу неруйнівного контролю до технічного діагностування протяжних трубопроводів вимагає визначення контрольних та діагностичних ознак які відображають геометричні параметри дефектів трубопроводу, та їх класифікацію, що дозволить оцінити рівень його технічного стану. Тому дані процесу неруйнівного контролю любого об'єкта, які надають можливість отримати інформацію про його технічний стан для оцінки можливості продовження ресурсу його експлуатації, відносяться до технічного діагностування та є його головною задачею [4].

Основою процесу технічного діагностування прийнято вважати загальну теорію розпізнавання, яка складає важливий розділ технічної кібернетики й займається розпізнаванням образів любой природи і характеру. Щодо процесу технічного діагностування при визначенні технічного стану протяжних трубопроводів, що основні стани його проведення включають необхідність виконання операції класифікації дефектів з точки зору їхньої безпеки, визначення основних діагностичних ознак дефектів відносно розпізнавання дефектів при прийнятті рішень тощо. Це дозволить отримати кількісну інформацію щодо належності дефектів до кожного класу, виконати оцінку технічного стану протяжного трубопроводу та проводити періодичний моніторинг щодо можливого ресурсу його експлуатації.

Щодо інформації, яка вкладає в поняття «образ» з самого початку його застосування у неруйнівному контролі, то в найбільш загальному розумінні образ є деякою множиною одночленних спостережень, якій можна поставити у відповідність вектора

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (1)$$

компонентами якого є окремі спостереження, взяті в сукупності [5].

Загалом вектор X за виразом (1), що носить назву вектору ознак, можна розглядати як вектор ознак у просторі множини ознак Ω_x . Математична задача класифікації ознак образу за допомогою відокремлюючих функцій формуються таким чином [6].

Хай $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ позначають m можливих класів ознак, що підлягають розпізнаванню за виразом (1), де x_i уявляє собою i -у ознаку.

Тоді відокремлююча функція $D_j(X)$, яка відноситься до класу ознак ω_j , $j = 1, 2, \dots, m$, така, що якщо вхідна множина ознак, що являє собою вектор X , належить класу ω_i , то величина $D_i(X)$ повинна бути

найбільшою. Хай X значить, що вектор ознак X належить класу ω_i . Тоді можна записати, що для всіх X критерій сортування ознак буде визначатися набором відокремлюючої функції

$$D_i X > D_j(X), \text{ для всіх } i, j = 1, \dots, m, i \neq j. \quad (2)$$

Таким чином, у просторі ознак Ω_x межа розбиття, що носить назву розв'язуючої межі, між областями, які відносяться відповідно до класу ω_i та класу ω_j , буде виражатися рівнянням:

$$D_i(X) - D_j(X) = 0. \quad (3)$$

Відомо, що дослідження будь-якого явища, як правило, починається з класифікації. Будь-які факти та явища повинні бути упорядковані, перш ніж ми зможемо їх зрозуміти та розробити загальні принципи, які пояснюють їх появу та очевидний порядок. З цієї точки зору стверджується, що саме класифікація є одним із фундаментальних процесів у наукових дослідженнях і тому вважається інтелектуальною діяльністю високого рівня, необхідного нам для розуміння природи любого факту та явища. Але оскільки класифікація – це упорядкування об'єктів за їх подібністю, а об'єктом можна назвати все що завгодно, включаючи процеси, дії та характеристики, то можна прийти до висновку, що класифікація не обмежується рамками людського інтелекту і в дійсності є фундаментальними властивостями всіх живих організмів.

Для застосування теорії розпізнавання у процедурі діагностування технічного стану технологічних трубопроводів визначимо основні поняття контрольних та діагностичних образів, які будуть використовуватися у процедурі діагностування.

Контрольний образ – підмножина відбитих сигналів від експлуатаційних несущільностей труби, що відображають у відсотках втрати металу стінки труби внаслідок корозійного пошкодження або ерозійного її зношення.

Ознака контрольного образу – підмножина амплітуд відбитих сигналів від експлуатаційних несущільностей стінки труби. Саме підмножина амплітуд відбитих сигналів у відсотках втрати металу буде характеризувати технічний стан трубопроводу й дозволяє розділити контрольні образи на класи. У закордонних системах низькочастотного УЗК підмножину відбитих сигналів стосовно відсотків втрати металу стінкою труби розділено на три класи: незначні, помірні, серйозні.

Діагностичний образ – підмножина відбитих сигналів від штучних несущільностей стінки труби, що відображають у відсотках втрати металу стінки та визначають відповідні розв'язуючі межі між обґрунтованими класами дефектів стінки труби.

Ознака діагностичного образу – підмножина амплітуд відбитих сигналів від штучних несучільностей стінки труби, які визначають пороги ідентифікації дефектів між класами на відповідній розв'язуючій межі.

Інформативний параметр процесу діагностування технічного стану трубопроводу – значення залишкової частини амплітуди відбитого сигналу контрольного образу від експлуатаційної несучільності, яке виникає після автоматичного порівняння (розпізнавання) амплітуди контрольного образу з амплітудою (порогом) діагностичного образу на визначеній розв'язуючій меті та буде віднесене до відповідного класу дефектів стінки труби.

У процесі розробки технології Teletest далекодуючого низькочастотного ультразвукового діагностування протяжних трубопроводів методом ультразвукової локації з використанням не дисперсійних спрямованих хвиль дефекти класу ω_1 менше 9 % втрати металу стінки труби отримали назву «незначних». Дефекти стінки труби класу ω_2 , відбиті від яких сигнали перевищують 9 %, але менше 12 %, одержали назву «помірних».

Нарешті дефекти класу ω_3 , сигнали від яких перевищують 12 % втрати металу стінки труби, називаються «серйозними» [7].

Контрольно-діагностичний процес при визначенні технічного стану протяжного трубопроводу. Структурна схема процедури контрольно-діагностичного процесу при визначенні технічного стану протяжного трубопроводу наведено на рисунку.

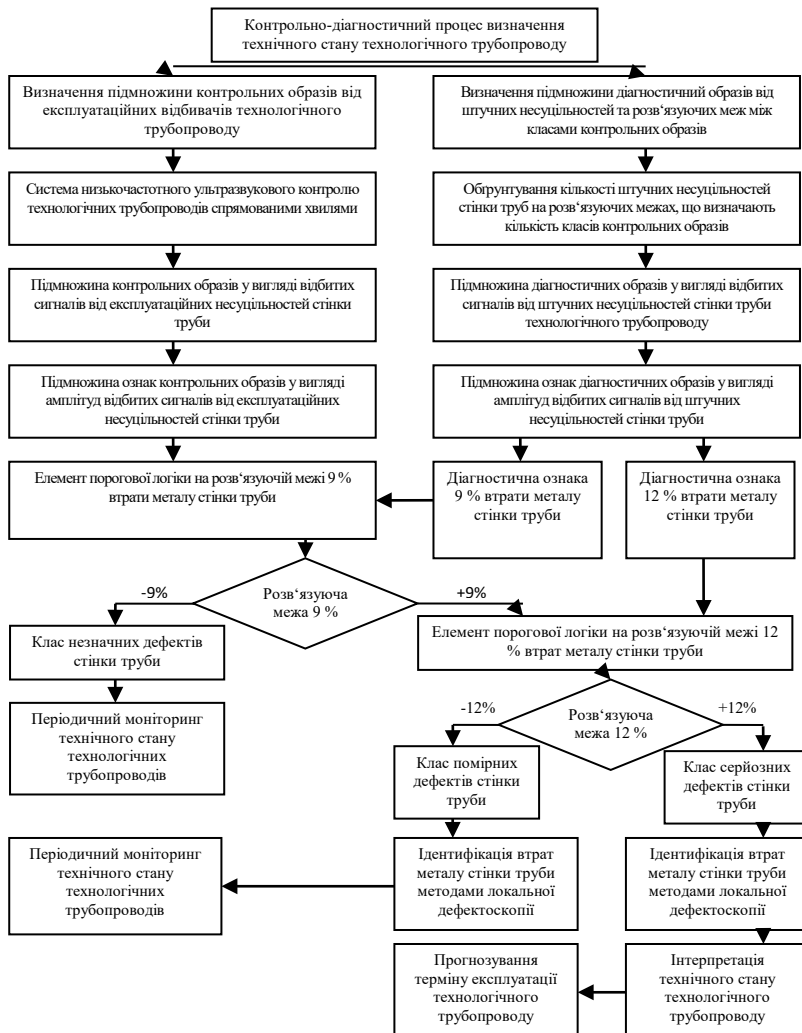


Рисунок 1. Структурна схема процедури контрольно-діагностичного процесу протяжного трубопроводу

Проведення процедури контрольно-діагностичного процесу згідно рисунку ґрунтується на виконанні операції ідентифікації втрат металу стінки труби технологічного трубопроводу протягом часу його експлуатації, яка здійснюється за допомогою двох методів:

1. Розділення підмножини ознак контрольних образів технологічного трубопроводу на розв'язуючих межах здійснюється з застосуванням так званого «правила порогової ідентифікації дефектів» на основі використання елементів порогової логіки.

2. Визначення розмірів втрат металу стінки труби здійснюється з використанням методів і засобів локальної дефектоскопії, зокрема, ультразвукової та магнітної товщинометрії.

Відомо, що практично кожний метод неруйнівного контролю при визначенні виявленої несуцільності в якості дефекту ґрунтується на використанні найбільш розповсюдженого способу, який носить назву «правила порогової ідентифікації дефектів», для реалізації котрого в неруйнівному контролі застосовуються елементи порогової логіки. В основі правила порогової ідентифікації у методах НК лежить порогове значення інформативних сигналів від виявлених несуцільностей, що розділяє виміряні значення інформативних сигналів від виявлених несуцільностей на відповідність бездефектним і дефектним ділянкам об'єкта контролю. Застосування правила порогової ідентифікації в НК полягає в порівнянні інформаційного сигналу від несуцільності з деяким сигналом від несуцільності, прийнятим в якості порогового, котрий однозначно дозволяє визначити характер несуцільності: дефект чи не дефект.

Принцип дії правила порогової ідентифікації дефектів в неруйнівному контролі реалізується за допомогою порогових елементів, що базуються на основі двійкових сигналів, тобто двійковій системі числення, яка використовується в різних системах автоматизованого неруйнівного контролю.

Список літератури

1. Report (2001) Long Range Ultrasonic Testing Technique – Performance Details./Document Reference: TTP (01). May. 21p.

2. Long Range Ultrasonic Test System (2004). Section 1. System Overview and Principles of Operation – September. 6p.

3. Бондаренко О. (2019) Основні характеристики та особливості низькочастотного хвильового процесу в протяжних трубопроводах. Методи та прилади контролю якості. 1.5-23.

4. Неруйнівний контроль і технічна діагностика. (2001). Під редакцією З т. Назарчука. Львів : ФМІ ім. Г.В. Карпенка. 1134 с.

5. Research Techniques in Nondestructive Testing (1970). Edited by R.S. SHARPE. London. 490p.

6. Fuk. (1968). Sequential Methods in Pattern Recognition and Machine Learning. London. 265 p.

7. Бондаренко О. (2022) особливості діагностування технічного стану технологічного трубопроводів низькочастотними спрямованими хвилями на основі теорії розпізнавання обрізів. Методи та прилади контролю якості. 2.5-26.