

В.О. Нічога<sup>2</sup>, В.М. Іванчук<sup>1</sup>, І.В. Сторож<sup>1</sup><sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут НАН України

## ПЕРЕДИСКРЕТИЗОВАНІ ЗРАЗКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ЯК БАЗИС ДЛЯ АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ ДЕФЕКТОСКОПІІ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

© Нічога В.О., Іванчук В.М., Сторож І.В., 2010

**Викладено спосіб аналізу сигналів магнітодинамічної дефектоскопії залізничних рейок на основі кореляції сигналу з еталонними сигналами.**

**The method of analysis of signals of magnetic-dynamical crack detection in railway rails based on correlation with standard samples is proposed.**

**Вступ.** Найважливішим елементом безаварійної експлуатації залізничної колії є завчасне виявлення дефектів рейок з застосуванням методів неруйнівного контролю.

Одним з таких методів є швидкісний магнітодинамічний метод. Незважаючи на численні спроби автоматизувати процес виявлення дефектів та їх класифікацію, основна робота все-таки лягає на плечі досвідчених працівників вагона дефектоскопа [1, 2] При цьому достовірність результатів контролю мобільними засобами є недостатньою. За даними статистики, 20 % переломів рейок спричинені дефектами, які були пропущені під час перевірки.

Зокрема, в Російській Федерації, за даними 2000 року більш ніж 63 % замін рейок здійснювалось через дефекти в головці рейок. При цьому понад 50 % замін рейок здійснювалось через найнебезпечніші дефекти типу поперечної тріщини за кодом 20.(1-2), 21.(1-2) і 26.3 [3].

Вказані дефекти спричинені виявленням технологічного (заводського) браку, недостатньою контактено-втомлювальною міцністю металу, порушенням технології зварювання рейок [2].

**Мета роботи і аналіз задачі.** Метою роботи є дослідження можливих способів автоматизації процесу обробки сигналу з апаратури магнітодинамічного вагона дефектоскопа [4, 5].

Перетворення Фур'є у його класичному вигляді непридатне для аналізу дефектоскопічних сигналів, оскільки вони не є періодичними. Спектр Гільберта дає можливість проаналізувати сигнал у часо-частотній області з урахуванням фаз кожної спектральної складової відносно початку аналізу. Оскільки імпульси, що відповідають дефектам, виникають у випадковий момент часу, нам не потрібно мати абсолютні фази спектральних складових. За допомогою перетворення Фур'є можна здійснювати придушення періодичних завод. Побудувавши спектрограму сигналу, який не містить дефектів, можна вибрати пороги для шумопридушення для кожної спектральної складової. Встановивши пороги на спектральні складові, можна здійснити придушення шумів без втрати характерних імпульсів від дефектів, що за амплітудою є меншими від постійно наявних сигналів, спричинених шпальними підкладками і неоднорідністю поверхні рейки.

У зв'язку з тим, що сигнали мають імпульсний характер, для побудови спектрограм можна застосовувати короткочасове (віконне) перетворення Фур'є. Практично це реалізується за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (FFT), оскільки воно потребує менших обчислювальних затрат (рис. 1). Кореляцію за допомогою перетворення Фур'є обчислюють за формулою  $(f * g)(t) = F^{-1}(F(g) \cdot F^*(f))$ , де  $F$  – пряме, а  $F^{-1}$  – зворотне перетворення Фур'є. У разі застосування швидкого перетворення Фур'є для розрахунку кореляції у середовищі Matlab ця формула записується так:  $K = \text{ifft}(\text{fft}(g) \cdot \text{conj}(\text{fft}(f)))$ .

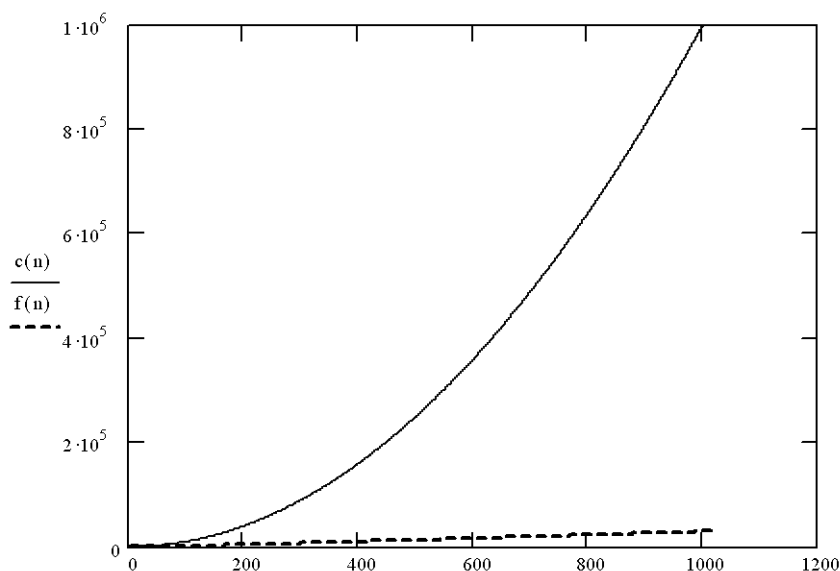


Рис.1. Залежність кількості операцій (по вертикалі) множення від кількості відліків (по горизонталі), що обробляються для класичної кореляції  $c(n)$  і кореляції за допомогою швидкого перетворення Фур'є

У експерименті було використано сигнали від дефекту типу поперечної тріщини з виходом на поверхню головки рейки, які були записані вагоном-дефектоскопом Львівської залізниці (рис. 2).

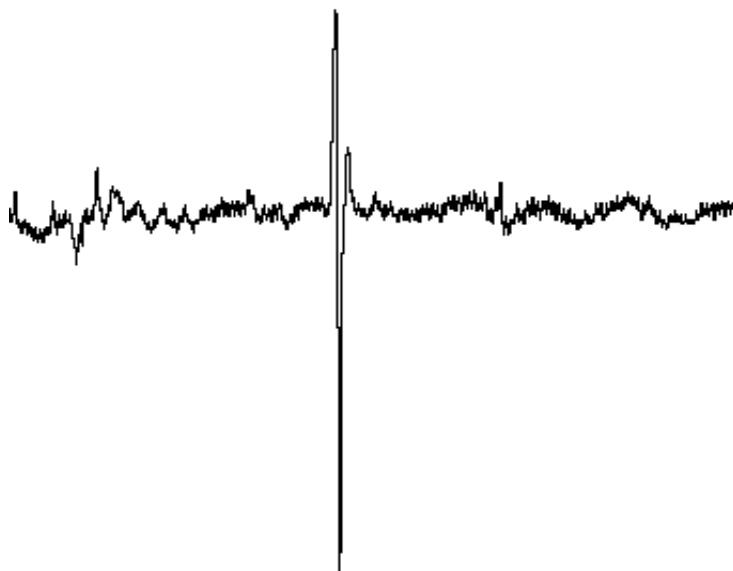


Рис.2. Вигляд сигналу від поперечної тріщини з виходом на поверхню

Було виконано вейвлет-аналіз дефектоскопічних сигналів із застосуванням класичних базисних функцій, таких як “мексиканський капелюх” та інші, а також було створено вейвлет на основі практично записаного сигналу від дефекту “поперечна тріщина” з виходом на поверхню (рис. 3).

**Результати дослідження.** На основі сигналу від реального дефекту (див. рис. 2) за допомогою передискретизації було створено материнський вейвлет (рис. 3) та виконано вейвлет-аналіз дефектоскопічного сигналу у його базисі. Це дало змогу виконати кореляцію дефектоскопічного сигналу з сигналом дефекту з урахуванням того, що дефект може бути розтягнений або стиснений у часі.

Здійснено вейвлет-аналіз у базисі сигналу від поперечної тріщини на вузькому діапазоні масштабів. Під масштабом розуміють відношення тривалості сигналу, взятого за базис, до його оригінальної тривалості. Масштаб 0,5 означає, що зразок сигналу стиснутий удвічі. Масштаб 2 означає, що він удвічі розтягнений. Такий аналіз уможливорює кореляційну обробку сигналу з

урахуванням можливої зміни частоти дискретизації і швидкості проходження процесу, що аналізується.

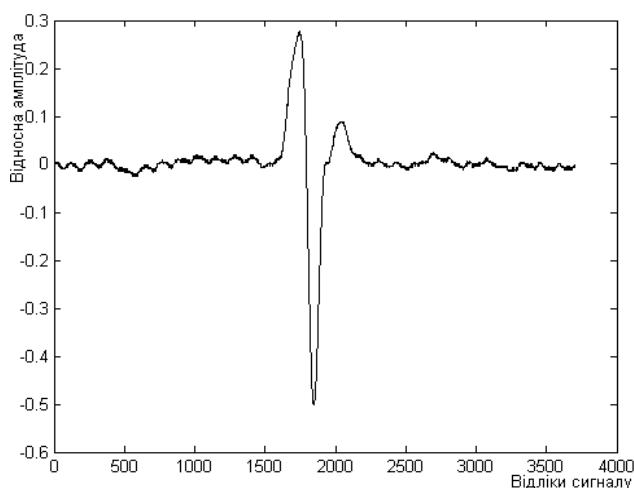


Рис. 3. Зразок сигналу, взятий за базис для аналізу

У реальних записах дефектоскопа відліки сигналу прив'язані до координати, а тому розтягненням або стисненням записів за рахунок зміни частоти або фази тактової частоти АЦП можна знехтувати. Прив'язка до координати здійснюється за допомогою давача обертів колеса вагона. Тактова частота АЦП задається кварцовим генератором і є незмінною. З кожним обертотом колеса записана інформація передискретизовується так, щоб кількість відліків дорівнювала відстані, яку проходить вагон за один оберт колеса, в сантиметрах.

На основі вейвлет-декомпозиції у базисі сигналу від дефекту запропоновано спосіб розрізнення кореляційних функцій від різних дефектів та інших елементів колії. Залежність кореляційної функції від масштабу сигналу зображено на рис. 4.

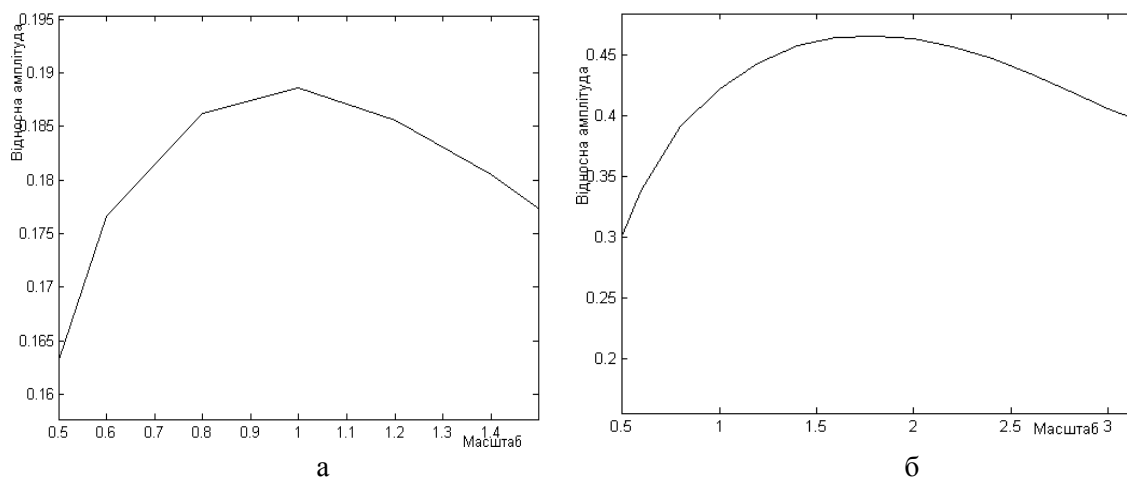


Рис. 4. а – кореляція зразка сигналу дефекту самого з собою за різних масштабів;  
б – кореляція зразка сигналу дефекту з сигналом від стику колії

На рис. 4, а зображено кореляцію зразка сигналу дефекту самого з собою при різних масштабів одного сигналу та незмінного масштабу іншого.

На рис. 4, б показано кореляцію зразка сигналу від дефекту з виходом на поверхню головки рейки з сигналом від стику колії, який зображений на рис. 5.

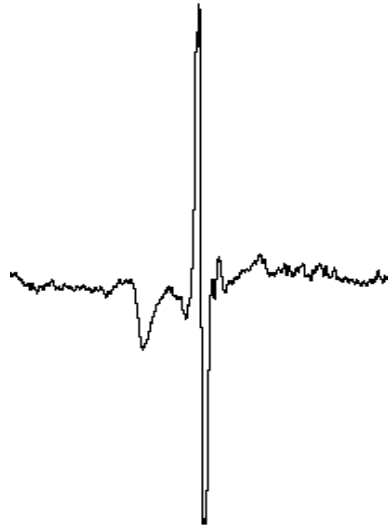


Рис. 5. Сигнал від стику колії

Амплітуда кореляції зразка сигналу цього дефекту зі зразком сигналу від стику колії має значно більшу відносну амплітуду, за того самого масштабу, ніж автокореляційна функція сигналу від дефекту (рис. 4). Це пов'язано зі значною енергією сигналу від стику, що обмежує можливість застосування кореляції для виявлення дефектів.

**Висновки.** Особливістю кореляції сигналів з різним масштабом є те, що автокореляційна функція завжди має максимум за масштабом 1:1 (рис. 4, а), а кореляція з іншими сигналами дає максимум за іншого масштабу (рис. 4, б). Для розрізнення таких сигналів необхідно застосувати алгоритм пошуку максимуму і аналізу відхилення функції від нього. Цей спосіб може бути легко реалізований з використанням нейронної мережі. На відміну від вейвлет-базисів, отриманих за допомогою математичного моделювання розподілу електромагнітного поля над рейкою, експериментальні зразки сигналу від дефекту враховують всі особливості просторово-частотних характеристик конкретної системи.

1. Нічога В.О., Дуб П.Б., Іванчук В.М. Сучасний стан методів та апаратури для швидкісної технічної діагностики залізничної колії електромагнітними методами // *Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Випуск 12. Неруйнівний контроль та технічна діагностика матеріалів та конструкцій: Зб. наук. праць.* – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2007. – С.3–15. 2. *Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А.К. Гурвич, Б.П. Довнар, В.Б. Козлов и др. / Под ред. канд. техн. наук А.К. Гурвича.* – М.: Транспорт. 1983. – 318 с. 3. Тарабрин В.Ф. Развитие концепции НК, технической диагностики и мониторинга рельсового пути // *В мире неразрушающего контроля.* – № 3. – 2006. – С.57–58. 4. Нічога В.О., Іванчук В.М., Романишин Ю.М. Попередня обробка експериментальних сигналів при діагностиці стану рейок // *Відбір і обробка інформації.* 2009. – Вип.30 (106). – С.119–124. 5. Nichoga V., Pavlysh V., Romanushyn Yu. Features of Use Wavelet Transforms for Processing and Analysis of Rail Fault Detection Signals // *Proceedings of the Xth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2010).* – February 23–27, 2010. – Lviv-Slavske, Ukraine. – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2010. – P. 295.