

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦІЙ ДО ЗАДАЧІ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

© Іванчук В.М., 2008

Найважливіше питання при магнітному методі швидкісного контролю рейок – це виділення інформації про дефекти з дефектоскопічного сигналу, знятого під час руху вагона-дефектоскопа. Відомо, що найнебезпечніші і найпоширеніші дефекти рейок спричиняють типову форму сигналу на вагонних реєстраторах. У статті запропоновано підхід для аналітичного виявлення дефектів в рейці на основі обробки сигналів заїздів вагона-дефектоскопа, використовуючи принцип вейвлет-перетворення.

The most essential questions at the magnetic method of speed control of rails there is a selection information about defects from a fault detection signal, taken off at motion of carriage-fault detector. It is known that the most dangerous and widespread defects of rails draw the typiform of signal on carriage recorders. This clause represents the approach for analytical revealing flaws in a rail on the basis of processing signals of arrivals of the scanning system, using a principle Wavelet-transformation.

Вступ

Технічний стан залізничних рейок впливає і на швидкість транспортних потоків, і на тривалість експлуатації колісних пар, що взаємодіють з ними і на безпеку та комфортність пасажирських перевезень. З усього розмаїття задач діагностування залізничної колії як складного інженерно-технічного об'єкта діагностика рейкової пари займає чи не найважливіше місце.

Магнітний, або, точніше, магнітодинамічний метод дефектоскопії застосовується на залізничному транспорті для швидкісного контролю рейок на спеціалізованих магнітних вагонах-дефектоскопах. Відомо, що магнітний метод володіє низкою переваг, таких, як надійне виявлення найнебезпечніших дефектів у вигляді поперечних тріщин у головці рейки, контроль приповерхневих і підповерхневих дефектів, нечутливість до погодних та температурних умов, одержання чіткої топографії колії, можливість дефектоскопії на швидкостях до 70 км/год [1]. Основою інших методів дефектоскопії є дослідження фізичних властивостей матеріалів при дії на них рентгенівських, інфрачервоних, ультрафіолетових і гамма-променів, радіохвиль, ультразвукових коливань, магнітного та електростатичного полів тощо.

Фізичні явища, що відбуваються при магнітній дефектоскопії рейок – це, насамперед, явища вихрових струмів і магнітної в'язкості. При цьому введено умовний поділ первинного поля, створюваного пристроєм намагнічування, на дві складові – поле в рейці і поле поза рейкою (поле розсіяння). Це зумовлено тим, що ці поля відіграють різну роль у формуванні сигналів від різних об'єктів. Поле в рейці спричиняє зміни сигналів від об'єктів, розташованих у межах поперечного перерізу рейки – тріщин, зварних стиків тощо. Поле розсіяння є визначальним для сигналів від об'єктів, розташованих поза поперечним перерізом рейки – шпальних підкладок, накладок болтових стиків, наварок, сторонніх предметів тощо. Формування сигналу від об'єктів є результатом взаємодії первинного поля із цими об'єктами, навколо яких утвориться їхнє власне вторинне поле. Це вторинне поле сприймається давачами дефектоскопа, що створюють сигнал відповідно до своєї функції перетворення. Саме на такому поданні фізики процесів швидкісної магнітної дефектоскопії основана узагальнена поетапна схема розрахунку сигналів від об'єктів шляху й конкретні розрахункові моделі таких типових об'єктів, як дефект у вигляді поперечної тріщини (дефект типу 21.1) [1].

Постановка задачі

Основними завданнями дефектоскопії є: пошук дефекту, його класифікація, локалізація та оцінювання динаміки росту. На підставі розв'язання цих задач приймається рішення про необхідність зменшення навантаження на рейку, усунення дефекту чи заміни ділянки колії. За допомогою наявних застосовуваних методів дефектоскопії рішення часто приймаються суб'єктивно, залежно від зовнішнього вигляду дефектоскопійного сигналу.

Передусім необхідно вміти фізично правильно визначати частину сигналу (рейки), яку треба віднести до зони стику, а яку – ні. Для різних методів відбору сигналу при цьому можна отримувати різні значення для протяжності цієї зони. Для магнітодинамічного методу протяжність сигнального відображення (подання) стику може залежати від бази підмагнічування, для електромагнітних методів – від бази введення струму в рейку чи кута нахилу ультразвукового давача – при ультразвукових методах дефектоскопії тощо. Аналогічний підхід існуватиме і до виділення дефектної зони – околу дефекту.

Аналіз дефектоскопічних сигналів при магнітодинамічному методі дефектоскопії нині виконують оператори, які за зовнішнім виглядом сигналів зараховують їх до тих чи інших дефектів або завод. Розвиток математичних методів обробки сигналів дає перспективу покращання результатів обробки відібраних сигналів. Для цього необхідно створити апаратно-програмну систему, яка би уможливила відбір та класифікацію дефектів з діагностичного сигналу, записаного вагоном-дефектоскопом.

Розв'язання поставленої задачі

Останнім часом, у зв'язку з розвитком обчислювальної техніки, пропонуються нові способи вирішення питання якісного визначення дефектності рейки, наприклад, на основі теорії розпізнавання образів [2]. Ця теорія пропонує два підходи – імовірнісний і логічний. Очевидно, що перший підхід ефективний у разі, коли є практично необмежений ресурс із безлічі однорідних об'єктів, характерні ознаки яких можуть бути описані мовою статистики. Стосовно об'єктів рейкової дефектоскопії такий підхід правомірний для опису сигналів від підкладок, болтових і зварних стиків. Водночас він непридатний для опису дефектів, статистика щодо яких не може бути доволі об'ємною. Для реалізації логічного підходу необхідно вміти виділяти в досліджуваному об'єкті характерні ознаки, що відповідають різним ієрархічним рівням – основному й допоміжним. Чим детальнішим буде опис, тим менша ймовірність помилки під час приймання рішення про приналежність аналізованого сигналу до дефекту. Проблема полягає саме у віднесенні тієї або іншої ознаки до категорії головних або другорядних. Можна намагатися розібратися в цьому, залучаючи досвід операторів-дефектоскопістів (метод експертної оцінки), який саме нині і використовується в роботі вагонів-дефектоскопів. Для реалізації такого підходу враховується сукупність ознак сигналу: амплітуда, полярність, тривалість, крутість фронтів. Але ці можливості вкрай обмежені, по-перше, через суб'єктивність такого підходу, по-друге, внаслідок згаданого вище малого обсягу вибірки.

Типовий сигнал повинен мати вигляд, подібний до поданого на рис.1. На ньому видно чітку шпальну періодичність і відгуки від неоднорідностей в рейці.

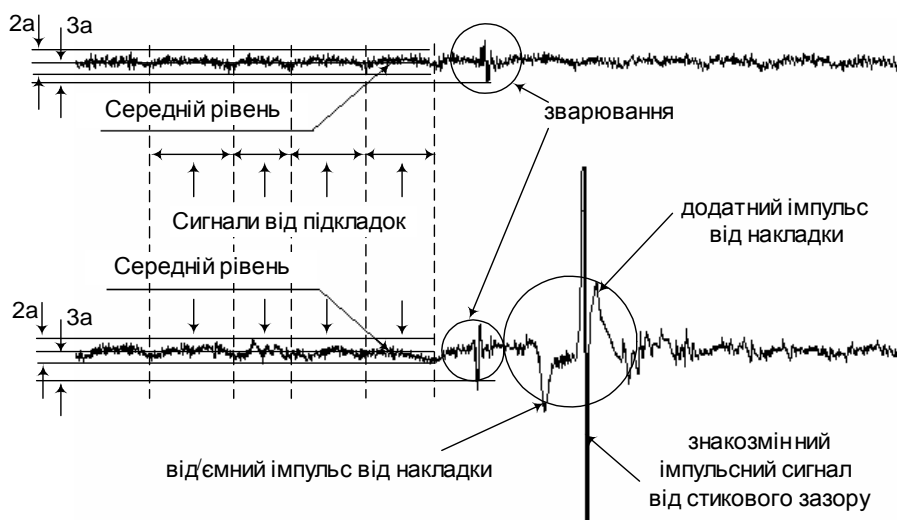


Рис. 1. Фрагмент дефектограми

Як показано на рис. 2, для внутрішніх дефектів типу 21.2 закономірністю є зростання амплітуди сигналу при збільшенні швидкості до певного значення з подальшим зменшенням амплітуди до рівня фону.

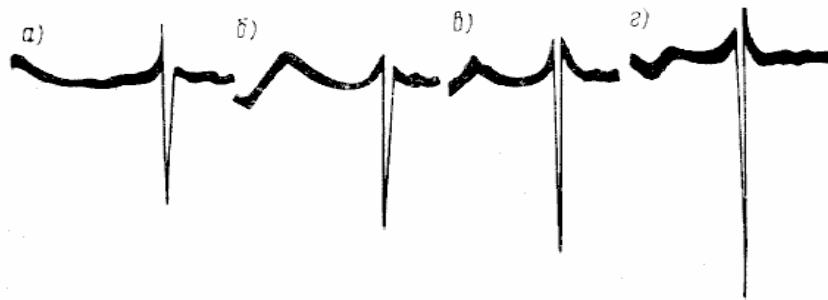


Рис. 2. Зміна форми сигналу в давачі від внутрішнього дефекту 21 залежно від швидкості руху: а – $V = 20$ км/год; б – $V = 30$ км/год; в – $V = 40$ км/год; г – $V = 50$ км/год [2]

Крім фактора швидкості, форма такого сигнального відгуку залежить від намагнічення рейки, заряду акумулятора вагона-дефектоскопа, втрат АЦП тощо. Тобто експертна оцінка діагностичних заїздів ускладнена необхідністю враховувати ряд другорядних чинників, що формують сигнал.

Оцифрований внутрішнім АЦП вагона-дефектоскопа сигнал можна належно обробити, щоб отримати алгоритми виявлення образів дефектів. Сучасна наука покладає великі надії на розвиток теорії та практики обробки сигналів з використанням апарата вейвлет-функцій та нейронних мереж. В технічній діагностиці розвивається напрям, оснований на відновленні моделі (оператора) об'єкта, що діагностується. Звичайно передбачається, що несправності змінюють тільки параметри моделі об'єкта, які при діагностуванні оцінюються методами параметричної ідентифікації. Однак часто, наприклад, при виробництві виробів електронної техніки, більшість дефектів призводять до зміни не тільки параметрів моделі об'єкта, але і її структури, що зумовлює застосування методів непараметричної ідентифікації для побудови математичної моделі об'єкта контролю на основі даних експерименту "вхід-вихід".

У модельній діагностиці процедура діагностування виконується в два етапи [3]. На першому отримують початкову (первинну) інформацію про об'єкт у вигляді сигналів відгуків на пробні впливи. На другому етапі ця інформація обробляється для виділення діагностичних ознак і рішення про приналежність об'єкта до певного класу за фізичним (технічним) станом. Для побудови діагностувального правила використовують методи статистичної класифікації (розпізнавання образів) або нейронні мережі.

Відомі методики модельної діагностики, які ґрунтуються на використанні динамічних характеристик, обмежуються тільки лінійними моделями, а методики, основані на урахуванні ефектів нелінійності, використовують інформацію тільки про властивості статичних характеристик. Реальні об'єкти, як правило, одночасно володіють і нелінійними, і динамічними властивостями. Для таких та подібних задач науковці використовують середовища MatLab, LabView тощо.

Неперервне вейвлет-перетворення являє собою багатоступеневу кореляцію короткого фрагмента сигналу і стандартизованої вейвлет-функції. Дискретне перетворення – не що інше як згортка функції та сигналу з розрахунком коефіцієнтів структури та деталей сигналу [4]. Оскільки залізничників найбільше цікавить якісне виявлення поперечних тріщин, ми вибрали для аналізу сигнальні відгуки саме дефекту 21.2. Сигнали на вагоні записуються позаїздно, середня кількість відліків становить 250 000. Апріорно вибравши відрізок заїзду з дефектом 21.2, можна задати його розпізнавання в MatLab та здійснити класифікаційний аналіз (рис. 3, рис. 4).

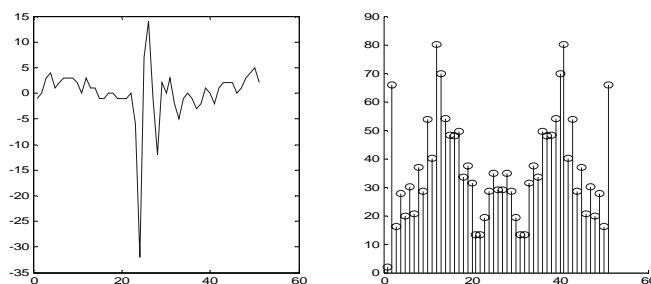


Рис. 3. Приклад синтезованого сигналу від дефекту 21.2 та його спектр після неперервного вейвлет-перетворення з функцією Мореля

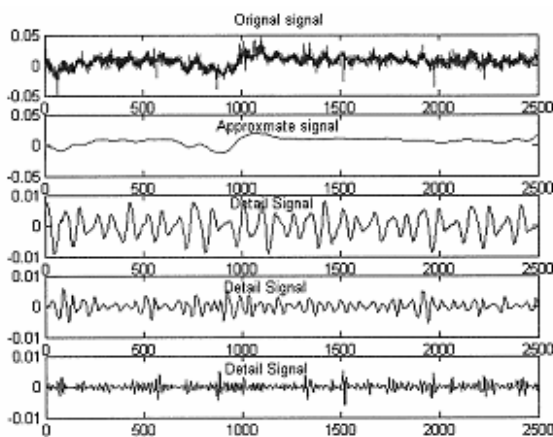


Рис.4. Коефіцієнти структури та деталей тестового масиву дефектоскопічного сигналу, отримані після дискретного вейвлет-перетворення з функцією Добеші

Аналіз літературних наукових джерел, які прогнозують подальший розвиток промислових засобів обстеження і діагностики залізничної колії, показує, що актуальним нині у багатьох країнах є створення мобільних ручних дефектоскопів, які будуть сумісні з методиками обробки сигналів, що застосовуються в спеціалізованих вагонах-дефектоскопах. Стосовно висновку про доцільність застосування і подальшого розвитку методів ультразвукового та магнітного контролю рейок, то більшість дослідників приходять до думки, що тільки поєднання цих методів з спільним алгоритмом обробки сигналів дасть змогу забезпечити найбільшу достовірність дефектоскопії залізничних рейок.

Висновки

Розглянуто спробу застосування апарату вейвлет-функцій до розв'язання задачі дефектоскопії. Виконані дослідження показали, що для якісної кореляції, а отже, і виявлення дефектів, необхідно точково синтезувати власну вейвлет-функцію. Подальшою перспективою з цієї тематики є застосування теорії нейронних мереж, де тестовою множиною буде масив відліків дефекту 21.2 (як найнебезпечнішого). Перспектива розвитку дефектоскопічного господарства України на найближчі роки полягає у повній автоматизації виявлення дефектів в реальному масштабі часу на модернізованих спеціалізованих вагонах.

1. Нічoga В.О., Дуб П.Б., Іванчук В.М. Сучасний стан методів та апаратури для швидкісної технічної діагностики залізничної колії електромагнітними методами // *Неруйнівний контроль та технічна діагностика матеріалів та конструкцій: Зб. наук. праць*. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2007. 2. Королев Ю.М. Магнитодинамический метод контроля рельсов. *Методология расчета полей и сигналов. Автореф. дис. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук.* – СПб. 2003. – 26 с. 3. Hamid A. Toliyat, Senior Member, IEEE, Karim Abbaszadeh, Mina M. Rahimian, and Leslie E. Olson "Rail Defect Diagnosis Using Wavelet Packet Decomposition" *IEEE TRANSACTIONS OF INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 39, NO. 5, SEPTEMBER/OCTOBER 2003*. 4. Zhengjia H. *Wavelet transform and multi resolution signal decomposition for machinery monitoring and diagnosis // Proc. IEEE Int. Conf. Industrial Technology, 1996, pp. 724–727.*