

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РИТМІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РЕЙОК

Ігор Ісаєв, Георгій Трохим, Ігор Яворський

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Нан України

79601, Україна, Львів, МСП вул. Наукова, 5

телефон: 8 (0322) 63-33-55

факс: 8 (0322) 64-94-27

електронна пошта: isayev@ipm.lviv.ua, george@ipm.lviv.ua, iavor@ipm.lviv.ua

Представлено новий підхід до проблеми діагностики технічного стану рейок, що базується на дослідженні сигналу від електромагнітного збурення рейок під час проходження вагона-дефектоскопа методами нестационарної статистичної обробки. Основуючись на моделі сигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу проведено обробку корисного сигналу від ідеальної бездефектної рейки та рейки з дефектом. Результати обробки порівняно з результатами стаціонарної обробки.

ВСТУП

При аналізі технічного стану залізничної колії основну увагу приділяють стану рейок, від якого залежить допустима швидкість та безпека руху потягів. Технічний стан рейок оцінюють за наявністю в них дефектів, тобто структурних неоднорідностей, що не передбачені конструкторсько-технологічною документацією і незалежні по впливу на рейку від інших неоднорідностей [1].

Основними постачальниками засобів дефектоскопії рейок залізницям Північної Америки є компанії Herzog Services, Pandrol Jackson і Sperry Rail Service, Європи - Speno International. Вони постійно вдосконалюють вимірювальні системи, обладнують дефектоскопи комп'ютерами, що підвищує їх продуктивність та дозволяє обробляти більший об'єм інформації. Програмні засоби можуть визначати рисунок дефекта і за ним проводити класифікацію.

Європейська компанія Speno International в своїх останніх розробках використовує комп'ютерні технології для прискорення процесу дефектоскопії, приділяючи особливу увагу покращенню давачів та підвищенню ефективності інтерфейсу з оператором. Одним з напрямів комп'ютеризації є створення бази даних, що дозволить визначати тенденції виникнення, розвитку дефектів та прогнозувати зміну

стану рейок для оптимального планування їхньої заміни. На Львівській залізниці, для порівняння, комп'ютеризація звелась до заміни фотозапису діагностичних сигналів в магнітному вагоні-дефектоскопі розробки початку 50-тих років на комп'ютерне протоколювання та архівацію даних з низкою сервісних можливостей відображення на екрані монітора та видруку на принтер. Весь тягар виявлення та класифікації дефекту лежить і надалі на операторі [2].

1. Принцип роботи магнітного дефектоскопа

1.1. На рис.1. висвітлено принцип роботи магнітного дефектоскопа, а на рис.2. приведено ідеалізоване представлення розподілу магнітного

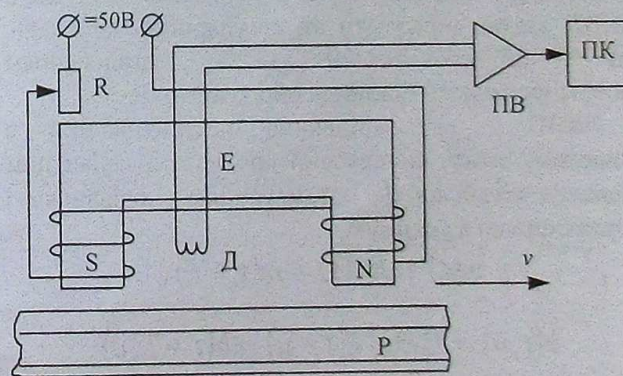


Рис.1. Блок -схема вагона дефектоскопа: EM - електромагніт з живленням від джерела постійного струму напругою 50 В; R - реостат регулювання струму підмагнічування; Д - давач, утворений індукційною котушкою, розміщеною на немагнітній лизі, що притискається до поверхні котіння та переміщується вздовж рейки P з швидкістю v; ПВ-пристрій вводу інформації в персональний комп'ютер ПК

потoku та напруги в котушці при поздовжньому скануванні рейки. З рисунка видно, що дослідження вихідної напруги котушки давача при відомій

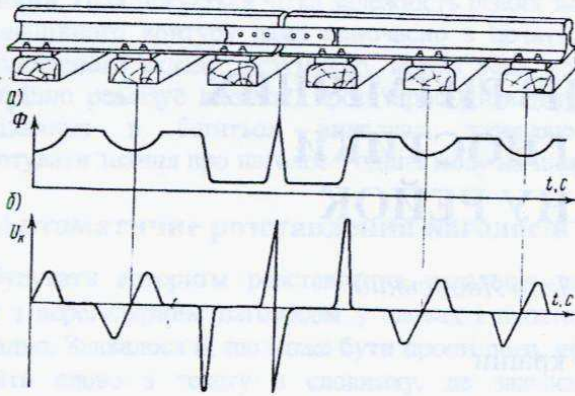


Рис.2. Розподіл магнітного потоку вздовж рейки (а) та напруга на виході індукційної котушки (б).

швидкості сканування (руху) може виявити структурні періодичності (характерні відхилення магнітного потоку від постійного значення) накладені дискретною довжиною стандартних рейок та міжшпальними інтервалами, а також електромагнітними властивостями елементів шпальних та рейкових скріплень.

2. ПКВП, як модель сигналу-відгуку від електромагнітного збурення рейки

2.1 Сигнал, отриманий електромагнітним збуренням бездефектної рейки, поданий на рис. 3. Він має чітку коливну структуру, яка дещо спотворюється випадковими завадами. Найбільш адекватною моделлю сигналу в цьому випадку буде модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП). Модель у вигляді ПКВП здатна описувати як регулярність коливань, так і їх стохастичність і є узагальненням детерміністичного і стаціонарного підходів.

ПКВП - це періодично нестационарний в широкому змісті випадковий процес з інваріантним відносно зсувів на T математичним сподіванням і кореляційною функцією

$$m(t) = E\xi(t) = m(t + T),$$

$$b(t, u) = E \overset{\circ}{\xi}(t) \overset{\circ}{\xi}(t + u) = b(t + T, u),$$

$\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m(t)$. T - період корельованості процесу [3].

При виконанні умов

$$\int_0^T m(t) < \infty, \quad \int_0^T b(t, u) < \infty, \quad \int_0^T f(\omega, t) < \infty,$$

математичне сподівання, кореляційна функція і спектральна густина можуть бути представлені у вигляді рядів Фур'є

$$m(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} m_k e^{ik \frac{2\pi}{T} t}, \quad b(t, u) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} B_k(u) e^{ik \frac{2\pi}{T} t},$$

$$f(\omega, t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} f_k(\omega) e^{ik \frac{2\pi}{T} t},$$

де

$$m_k = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) e^{-ik \frac{2\pi}{T} t} dt,$$

$$B_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T b(t, u) e^{-ik \frac{2\pi}{T} t} dt,$$

$$f_k(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega, t) e^{-ik \frac{2\pi}{T} t} dt,$$

$m_k \rightarrow \infty, B_k(u) \rightarrow \infty, f_k(\omega) \rightarrow \infty$ при $k \rightarrow \infty$. Функції $B_k(u)$ і $f_k(\omega)$ мають назву кореляційних і спектральних компонентів. Коефіцієнти Фур'є m_k і $B_k(u)$ є кількісними характеристиками форми періодичних кривих відповідно математичного сподівання і кореляційної функції.

3. Результати обробки

Видасться цікавим дослідити статистичні відмінності двох ПКВП: сигналу від завідомо бездефектної рейки та сигналу від рейки з характерним дефектом методами стаціонарної і нестационарної обробки на рівні математичного сподівання та дисперсії.

При цьому модель ідеальної рейки будемо в межах максимальної довжини такої рейки (не більше 25 м), а наявність дефекта оцінюємо в межах міжшпального інтервалу (зрозуміло, що при додатковому вимірюванні відстані точність локалізації дефекта можна піднімати відповідно).

3.1. Дослідимо методами стаціонарної обробки сигнал-відгук від бездефектної рейки (рис. 3).

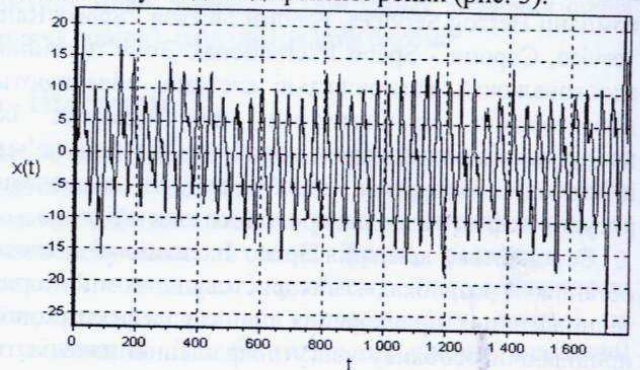


Рис. 3. Сигнал від бездефектної рейки

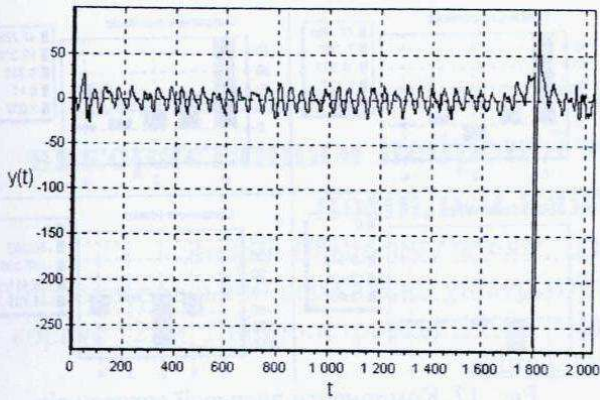


Рис. 4. Сигнал від рейки з дефектом

На рис. 5, 6 подані кореляційна функція і спектральна густина сигналу в стаціонарному наближенні. Кореляційна функція є зникаючою і має коливний характер з одним переважаючим періодом, що відповідає відстані між шпалами (~49.7 см). Рівень шуму в сигналі складає близько 15% по амплітуді. На графіку спектральної густини окрім несучої частоти, що відповідає відстані між шпалами, присутня також бокова пелюстка на частоті, кратній несучій, що можна пояснити технічними характеристиками приймача, що приймає сигнал від двох шпал.

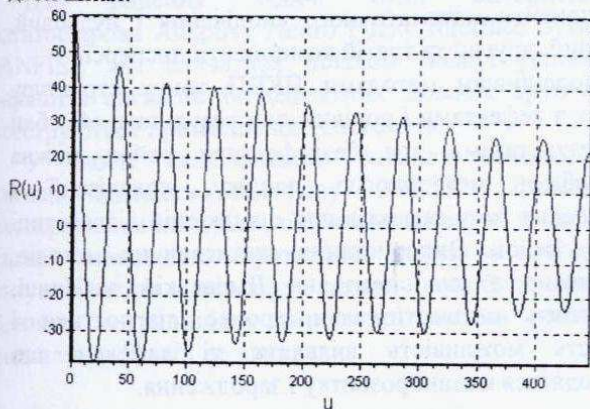


Рис. 5. Кореляційна функція сигналу від бездефектної рейки

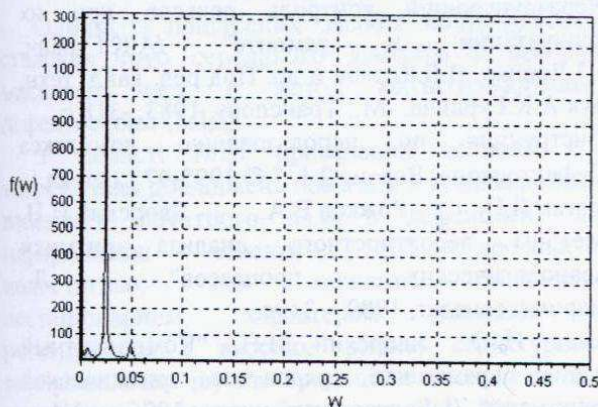


Рис. 6. Спектральна густина сигналу від бездефектної рейки

3.2. Розглянемо статистичні властивості сигналу від рейки з дефектом. Кореляційна функція (рис. 7) має вже значний рівень шуму і не таку правильну коливну форму, як у випадку бездефектної рейки.

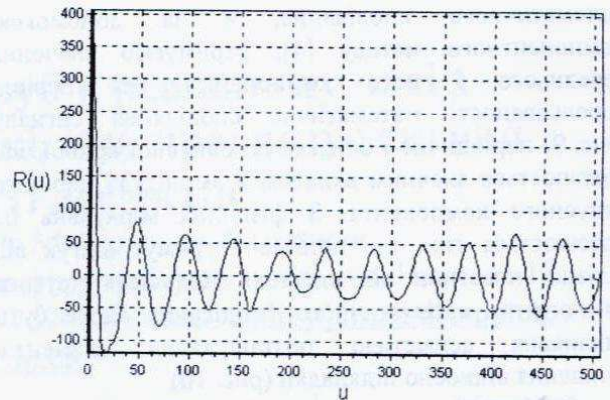


Рис. 7. Кореляційна функція сигналу від рейки з дефектом

На графіку спектральної густини (рис. 8) присутній переважаючий пік, що відповідає міжшпальному проміжку, але з'явилися нові частоти, які забезпечують підняття цього піку на «плато», а також підняття високочастотних областей. Для визначення більш тонких відмінностей і вибору інформативних параметрів сигналів від залізничних рейок дослідимо статистичні характеристики даних тестових сигналів з точки зору нестационарності в часі.

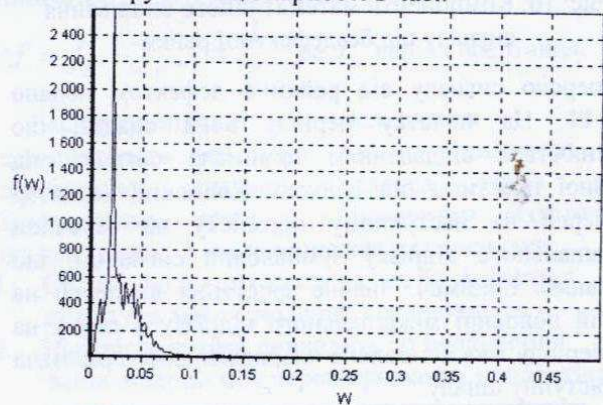


Рис. 8. Спектральна густина сигналу від рейки з дефектом

3.3. Розглянемо методами ПКВП математичне сподівання і дисперсію сигналу від бездефектної рейки.

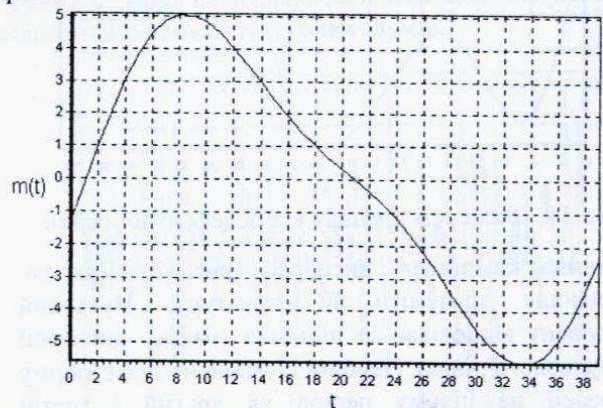


Рис. 9. Математичне сподівання сигналу від бездефектної рейки

Використовуючи когерентний метод оцінювання ПКВП, уточнюємо кількість компонентів

математичного сподівання, а за допомогою компонентного методу [4], отримуємо значення середнього і його компонентів. На періоді корельованості математичне сподівання сигналу (рис. 9) періодичне і близьке до синусної кривої, що пояснюється значним вкладом в амплітуду першого синусного компонента. З фізичних міркувань це пояснюється тим, що приймач отримує відгук від залізної пластини під шпалою. Наявність другого компонента математичного сподівання може бути викликана асиметією розташування елементів кріплення відносно підкладки (рис. 10).

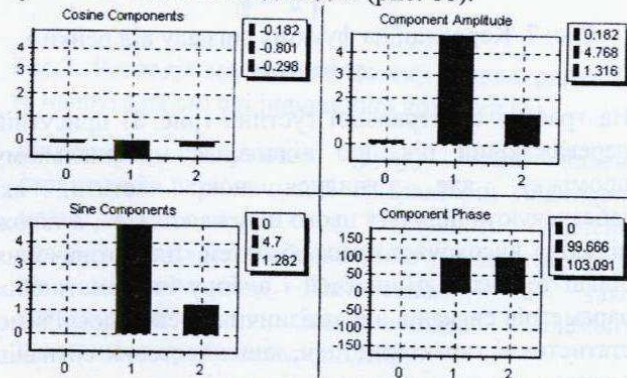


Рис. 10. Компоненти математичного сподівання сигналу від бездефектної рейки

Дисперсію сигналу від рейки з дефектом подано рис. 11. На початку періоду вона спадає, що пояснюється віддаленням приймача сигналу від залізної пластини під рейкою. Коливний характер дисперсії на наступному проміжку до середини міжшпального відрізка зумовлений сигналом, що «доганяє» приймач. Значне зростання дисперсії на другій половині міжшпального відрізка з піком на 3/4 періоду вже зумовлене «наїжданням» приймача на наступну шпалу.

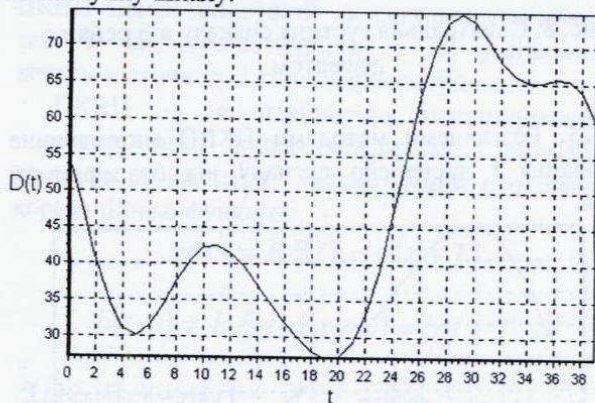


Рис. 11. Дисперсія сигналу від бedefектної рейки

Величина компонент дисперсії (рис. 12) дозволяє детальніше зрозуміти її структуру. Нульовий компонент відповідає за підняття графіку дисперсії від нульового рівню. Перший компонент задає форму дисперсії на цілому періоді, а другий і третій компоненти відповідають за зміни на пів- і чверть-періоді. Зважаючи на незначний рівень четвертого компоненту дисперсії, його можна не брати до уваги.

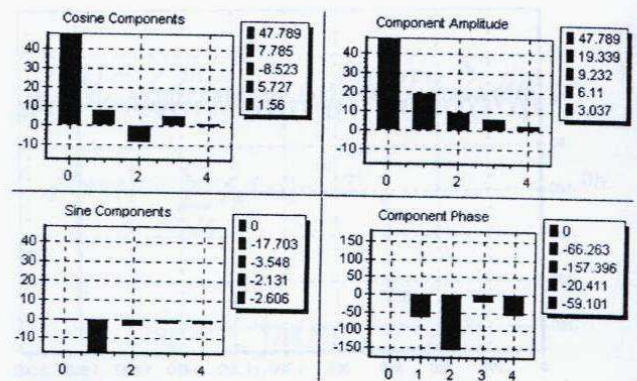


Рис. 12. Компоненти дисперсії сигналу від бездефектної рейки

ВИСНОВКИ

Статистичний аналіз сигналів, отриманих від електромагнітного збурення залізничних рейок, дозволяє проводити швидкісну діагностику стану рейок під час руху вагона-дефектоскопа. З використанням методів теорії періодично корельованих випадкових процесів, можна вибрати інформативними параметрами діагностики кількість компонентів математичного сподівання і дисперсії. Для бездефектної рейки присутні перший і другий компоненти математичного сподівання і нульовий, перший, другий та третій компоненти дисперсії.

Дослідивши методами ПКВП тонку структуру рейок з дефектами і порівнюючи результати обробки з результатами для бездефектних рейок можна розробити методологію пошуку, локалізації і виявлення типу дефектів при швидкісній діагностиці стану рейок. Використання статистичних методів, порівняно з існуючими на Львівській залізниці, дозволить автоматизувати процес діагностики і надасть можливість виявляти ті дефекти, що знаходяться в стані розвитку і зародження.

ЛІТЕРАТУРА

1. "Незрушающий 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.
2. "Инструкция по использованию комплекса «Дефектоскоп». Версия 2.1." © 1995-97 Logi+ka.
3. Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. "Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов".- Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 319с.
4. Исаев И.Ю., Яворский И.Н. "Компонентный анализ временных рядов с ритмической структурой" // Радиотехника.- 1995. - N1. - с.34-45