ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛУ ВІД ШПАЛЬНИХ ПІДКЛАДОК ПРИ ШВИДКІСНІЙ МАГНІТНІЙ ДЕФЕКТОСКОПІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

Трохим Г.Р.[1], *Ісаєв І.Ю.*[1], *Яворський І.М.*[1, 2]

[1] Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, Львів
вул. Наукова 5, м. Львів, 79601
Тел.: +380 936 843 565, факс: +380 322 633 355
Електронна пошта: george@ipm.lviv.ua, isayev@ipm.lviv.ua, iavor@ipm.lviv.ua

[2] Інститут телекомунікації Технологічно-природничого університету, Бидгощ, Польща
Алея проф. С. Каліського, 7, Бидгощ, Польща, 85796
Тел.: +48 523 408 378, факс: +48 523 408 808
Електронна пошта: javor@atr.bydgoszcz.pl

Анотація

Проведено аналіз та порівняння методів параметричного моделювання дефектоскопічного сигналу від шпальних підкладок при швидкісній дефектоскопії залізничних рейок.

Ключові слова: періодично корельовані випадкові процеси (ПКВП), оцінка математичного сподівання, компоненти дисперсії.

PARAMETRICAL MODELING OF THE SIGNAL FROM THE TIE PLATES IN HIGH-SPEED MAGNETIC RAIL INSPECTION

Trokhym G.R.[1], *Isayev I.Y.*[1], *Javorskyj I.M.*[1, 2]

[1] Karpenko Physico-mechanical institute NAS Ukraine, Lviv
Naukova str., 5, Lviv, 79601
Tel.: +380 936 843 565, fax: +380 322 633 355
E-mail: george@ipm.lviv.ua, isayev@ipm.lviv.ua, iavor@ipm.lviv.ua

[2] Telecommunication Institute of University of Technology and Life Science, Poland
Al. Prof. S.Kaliskiego, 7, Bydgoszcz, Poland, 85796
Tel.: +48 523 408 378, fax: +48 523 408 808
E-mail: javor@atr.bydgoszcz.pl

Abstract

The analysis and comparison of the methods for the parametrical modeling of the flaw inspection signal from the tie plates in high-speed magnetic rail inspection is carried out.

Keywords: Periodically Correlated Random Processes (PCRP), mean value estimation, variance components.

ВСТУП

Одним з перших рівнів абстрагування від пізнавальної глибини явища є рівень сигнальний, коли дослідник, примітивізуючи фізичну багатогранність об'єкта, оперує обмеженою кількістю його фізичних якостей. Поведінку відповідних фізичних параметрів він перетворює на кількісну характеристику процесу за допомогою вимірювальних перетворювачів, отримуючи впорядковану сукупнусть чисел, яку прийнято називати сигналом. При наступному дослідженні сигналові ставиться у відповідність певна математична модель, яка теж буде тільки певним наближенням до реального виміряного сигналу. Такою моделлю може бути модель періодично корельованих випадкових

процесів ПКВП застосована, наприклад, до сигналу отриманого при магнітній швидкісній дефектоскопії залізничних рейок.

Вибраний до аналізу сигнал являє собою часовий ряд, де послідовність відліків відповідає значенням квантованої напруги на виході індукційного перетворювача магнітного вимірювального каналу вагона-дефектоскопа виміряним з постійною частотою дискретизації (рис. 1).

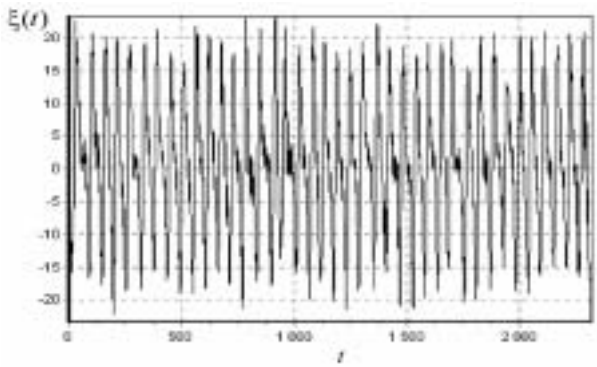

Рис.1. Сигнал, отриманий від бездефектної рейки.

Вже часова розгортка даного сигналу вказує на наявність певної періодичності, яка апріорі відповідає періодичності проходження вимірювального перетворювача над залізничними шпалами при поздовжньому скануванні рейки. Нерівномірність розкладки шпал та коливання швидкості вагона призводять до заникаючої автокореляційної функції сигналу як на рис. 2. Вона повільно заникає зі збільшенням зсуву і має періодичний хвіст.

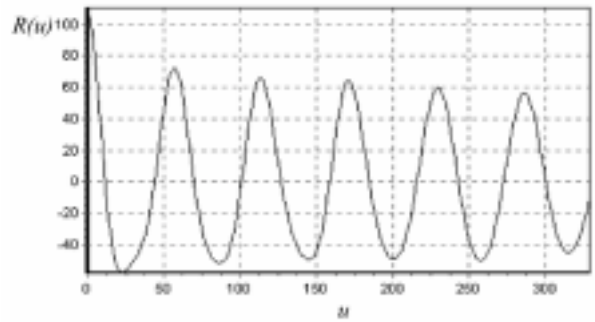

Рис.2. Оцінка кореляційної функції стаціонарного наближення сигналу бездефектної рейки.

Дещо асиметричну форму періодичних коливань зумовлює наявність другої гармоніки процесу на умовній частоті 0.0175, яку видно на графіку (рис. 3) оцінки спектральної густини стаціонарного наближення сигналу бездефектної рейки (випадковий процес, характеристики якого знаходяться за допомогою усереднення в часі характеристик нестаціонарності [1]).

У роботі [2] показано, що ПКВП можна представити у вигляді:

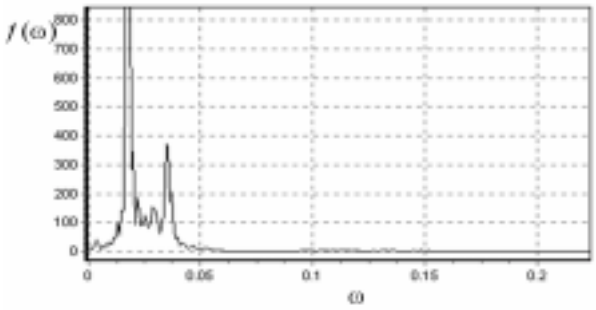

Рис. 3. Оцінка спектральної густини стаціонарного наближення сигналу бездефектної рейки.

$$\xi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \eta_k(t) e^{ik\omega_0 t}, \qquad (1)$$

де $\eta_k(t)$ – низькочастотні стаціонарні стаціонарно зв'язані процеси визначаються за формулою:

$$\eta_k(t) = \lim_{\theta\to\infty} \int_{-\theta}^{\theta} \frac{\sin\left(0.5\omega_0(t-\tau)\right)\xi(\tau)e^{-ik\omega_0\tau}}{\pi(t-\tau)} d\tau, \qquad (2)$$

де θ – довжина реалізації.

Оцінюючи точність моделювання бездефектної рейки за дисперсією отриманого сигналу, ми можемо використати відповідну величину як поріг, при перевищенні якого в реальному сигналі можна сподіватися наявності не врахованої моделлю бездефектної рейки неоднорідності. Така неоднорідність може розглядатися як можливий дефект. Від точності моделювання можна сподіватися задання відповідної величини порогу для виявлення дефектів. І в такому світлі задача вже стає зрозумілою для цілей дефектоскопії.

ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛУ ВІД ШПАЛЬНИХ ПІДКЛАДОК

Побудуємо параметричну модель складової сигналу від шпальних підкладок. Для цього змоделюємо векторні стаціонарні стаціонарно зв'язані процеси $\eta_1(t)$ та $\eta_2(t)$ на основі моделі векторної авторегресії ВАР [3]:

$$\eta_k(t) = \sum_{l=1}^{M}\left(\sum_{p=1}^{P} a_{kl}(p)\eta_l(t-ph) + b_{kl}\varepsilon_l(t)\right),$$

де $M = 2$ – кількість стаціонарних складових, $a_{kl}(p)$, b_{kl} – параметри моделі, ε_n^l – багатомірний білий шум з одиничною дисперсією, P – порядок авторегресії.

Методика параметричного моделювання завади від шпальних підкладок виглядатиме наступним чином [4]:

- використовуючи метод переносу частот, розкладаємо стохастичний сигнал на випадкові стаціонарні складові за формулою (2);
- обчислюємо ВАР параметри отриманого багатоканального стаціонарного процесу на основі

обрахунку багатоканальною версією рівнянь Юла-Уокера [3]:

$$D_{km}^{P} = R_{km}(0) - \sum_{l=1}^{M}\sum_{p=1}^{P} a_{kl}(p) R_{lm}(ph),$$

$$R_{km}(jh) = \sum_{l=1}^{M}\sum_{p=1}^{P} a_{kl}(p) R_{lm}(jh+ph); \quad j = \overline{-P..-1},$$

$D_{kl}^{p} = \sum_{m=1,2} b_{km}\overline{b_{ml}}$ – коваріаційна матриця білого шуму;

- ВАР параметри, залишкові дисперсії похибок оцінювання назад та вперед і період корельованості будуть параметрами моделі завади.

Порядок моделі визначається на основі багатоканальної версії інформаційного критерію Акаіке:

$$IKA[p] = N \ln\left(\det D_{kl}^{p}\right) + 2M^{2} p,$$

де $N = \theta / h$. Шуканий порядок – той, при якому величина $IKA[p]$, має мінімум.

Порівняємо результати параметричного моделювання завади від шпальних підкладок з початковим сигналом від бездефектної рейки та модельним представленням бездефектної рейки. На рис. 4. наведено графіки оцінок математичного сподівання та компонентів математичного сподівання відповідних сигналів.

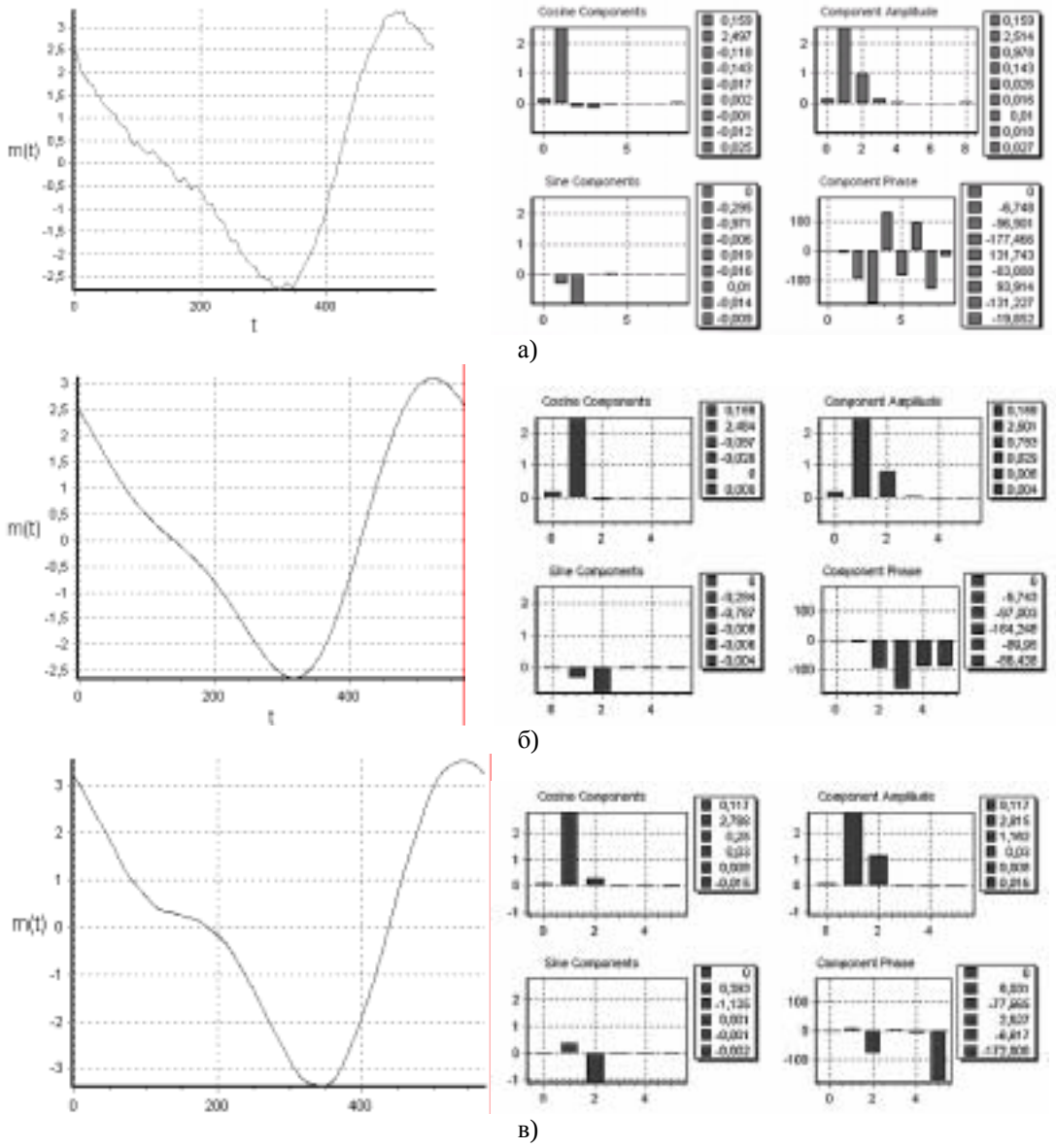

Рис. 4. Графіки оцінок математичного сподівання та компонентів математичного сподівання *а)* початкового сигналу від бездефектної рейки, *б)* модельного представленням бездефектної рейки, *в*) параметричної моделі завади від шпальних підкладок.

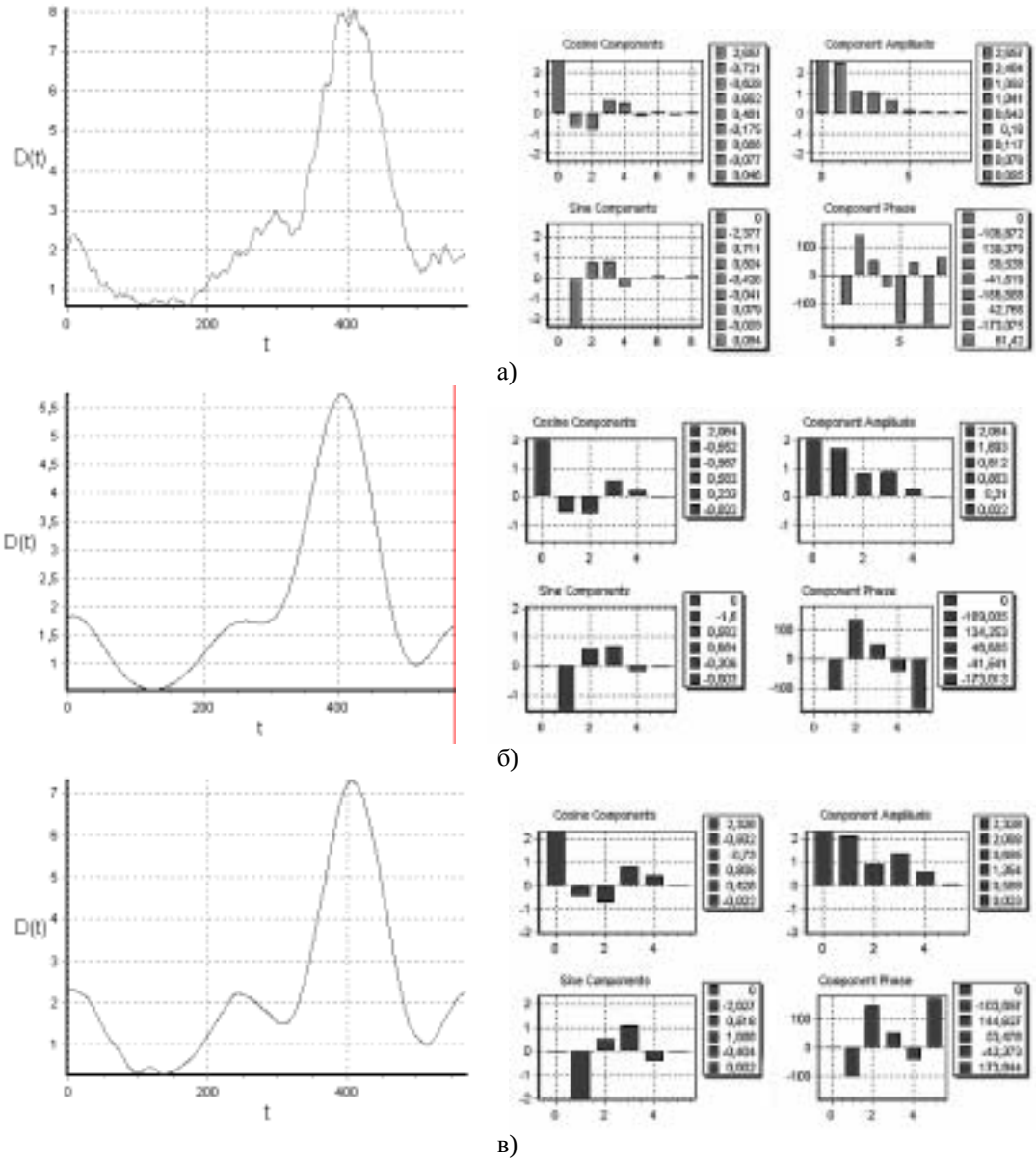

Рис. 5. Графіки оцінок дисперсії та компонентів дисперсії *а)* початкового сигналу від бездефектної рейки, *б)* модельного представленням бездефектної рейки, *в*) параметричної моделі завади від шпальних підкладок.

На рис. 5 наведено графіки дисперсії та компонентів дисперсії відповідних сигналів.

ВИСНОВКИ

За результатами статистичного аналізу початкового сигналу від бездефектної рейки, сигналу модельного представлення бездефектної рейки та параметричної моделі завади від шпальних підкладок можна зробити висновок, що модельне представлення та параметрична модель адекватно описують статистичні властивості завади від шпальних підкладок.

Результати параметричного моделювання дозволяють передбачувати поведінку електромагнітного сигналу у випадку відсутності структурних неоднорідностей рейки.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Драган Я.П., Рожков В.А., Яворський И.Н.* Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 319 с.
2. *Яворский И.Н., Исаев И.Ю., Кравец И.Б.* Параметрическое моделирование периодически коррелированных случайных процессов на основе их представления через стационарные случайные процессы // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. – 2006. – Т. 49, № 11. – С. 33-42.
3. *Марпл С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
4. *Pagano M.* On Periodic and Multiple Autoregressions. – The Annals of Statistics. – 1978. – Vol. 6. – P. 1310-1317.