

**Висновки.** Застосуванням у схемі відеопроцесора двох комутаторів сигналів можна формувати на його виході подвійну амплітуду корисного сигналу в кожному кадрі відображення об'єкта моніторингу. Запропонована модифікована схема відеопроцесора усуває повністю вплив на корисний вихідний сигнал компоненти шуму квантування.

1. Госсорг Ж. *Инфракрасная термография. Основы, техника, применение.* – М.: Мир, 1988. – 216 с. 2. Kolobrodov V., Rybalka V. *Pyroelectric camera modulation transfer function // Optical Engineering,* – 1995. – vol.34, №4. – Pp.1044-1048. 3. Bozhenko I., Hrytskiv Z., Kondratov P. *Enhancement of thermographic images quality using pyrosignal digital frame-by-frame processing // Image processing methods in Applied mechanics.* - Warszawa: Politehnika Warszawska, 1999. – P.61–63. 4. Боженко І., Воронов С., Кондратов П., Шаблатович А. *Відеопроцесор сумарно-різничевої обробки для системи тепловізійного моніторингу енергетичних об'єктів // Електроніка і зв'язок.* – 2003. – №19. – С.87–89. 5. Klushin Y., Kondratov P. *The two-channel videoprocessor of a System of remote monitoring// Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application ACSN'2003. Proceedings.* – Lviv: NU “LP”, 2003. – P.31–32. 6. Пат.66607 А Україна, МПК Н04N 5/33. *Тепловізійна камера/ Кондратов П. (Україна).* – №2003087325: Заявл. 4.08.2003.; Опубл. 17.05.2004; Бюл. №5.

УДК 620.179.14+681.5.015.75

Л. Ващишин<sup>1</sup>, В. Нічога<sup>2</sup>, І. Сторож<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут НАН України ім. Карпенка,

<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,

## ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ ШВИДКІСНОЇ МАГНІТНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

© Ващишин Л., Нічога В., Сторож І., 2012

**Досліджено можливість застосування дискретного вейвлет-перетворення для попередньої обробки та аналізу дефектоскопічних сигналів.**

**Ключові слова:** тріщина, рейка, ДВП, вейвлет.

**This paper is intended to investigate the possibility of using discrete wavelet transform for preprocessing and analyze of flaw detection signals.**

**Key words:** crack, rail, DWT, wavelet.

**Вступ.** Діагностика технічного стану об'єктів забезпечує їх безпечну експлуатацію та вчасне виявлення дефектів. Особливо це актуально для діагностики об'єктів, дефекти яких можуть стати причиною значних матеріальних втрат або людських жертв. До таких об'єктів належать залізничні рейки. Вчасно виявивши дефектні рейки, можна запобігти їх розломам під поїздами, що підвищує безпеку та економічну ефективність залізничного транспорту загалом.

Найважливіше питання діагностики технічного стану залізничних рейок – це виділення інформації про дефекти з дефектоскопічного сигналу, який записано під час руху вагона-дефектоскопа. Актуальність задач розроблення методів та алгоритмів комп'ютерної обробки сигналів рейкової дефектоскопії обумовлюється тим, що сьогодні аналіз цих сигналів здійснюється в напівручному режимі, на основі візуальних експертних оцінок, які, без будь-яких сумнівів, не завжди бувають правильними. Для підвищення ефективності роботи оператора необхідно автоматизувати аналіз сигналів з виділенням образів тих сигналів, які з найбільшою вірогідністю

походять від небезпечних дефектів. Для реалізації цієї мети слід звернутись до сучасного інструменту цифрової обробки та аналізу сигналів – вейвлет-перетворень.

**Неперервне та дискретне вейвлет-перетворення.** За своєю суттю неперервне вейвлет-перетворення (НВП) вимірює кореляцію між вейвлетом на різних масштабах та сигналом, що піддається аналізу. Воно обчислюється шляхом зміни масштабу “вікна” аналізу, зсуву його в часі, множення на сигнал та інтегрування по всій осі часу (або по осі відліків) [1]. У результаті цього обчислення отримується велика (певною мірою і збиткова) кількість коефіцієнтів, яка в багато разів перевищує число відліків вхідного сигналу. Звичайно, враховуючи те, які можливості нам дає НВП під час аналізу дефектоскопічного сигналу [2], особливо з використанням адаптованих до виявлення певних дефектів вейвлетів, ми можемо проігнорувати затрати часу на обчислення вейвлет-коефіцієнтів НВП, тим паче, що продуктивність комп’ютерів постійно зростає. Однак спробуємо визначити можливості дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) (у напрямку його застосування до дефектоскопічних сигналів), оскільки воно також дає достатньо інформації (звичайно, залежно від конкретних завдань, які воно повинно реалізовувати) як для аналізу сигналу, так і для його синтезу, при економії обчислювальної потужності та об’єму необхідної пам’яті.

Спочатку варто ознайомимось з деякими теоретичними аспектами вейвлет-перетворень.

В основу НВП покладено використання двох неперервних та інтегрованих по всій осі часу функцій:

– вейвлет-функції  $\psi(y(t))$  з нульовим значенням інтеграла:

$$\int_{-\infty}^{\infty} y(t) dt = 0, \quad (1)$$

яка визначає деталі сигналу та утворює деталізуючі коефіцієнти;

– масштабуючої, або скейлінг-функції  $j(j(t))$  з одиничним значенням інтеграла:

$$\int_{-\infty}^{\infty} j(t) dt = 1, \quad (2)$$

яка визначає грубе наближення (апроксимацію) сигналу і утворює коефіцієнти апроксимації.

Вейвлет-функція  $\psi(y(t))$  створюється на основі базової функції  $y_0(t)$ , яка, як і  $y(t)$ , визначає тип вейвлету. Базова вейвлет-функція повинна забезпечувати виконання двох основних операцій [3]:

– зміщення по осі часу  $t - y_0(t-b)$  при  $b \in R$ ;

– масштабування -  $a^{-1/2} y_0\left(\frac{t}{a}\right)$  при  $a > 0$  та  $a \in R^+ - \{0\}$ .

Параметр  $a$  задає ширину вейвлету, а  $b$  – його розміщення. Наступний вираз задає одразу дві властивості функції  $y(t)$ :

$$y(t) = a^{-1/2} y_0\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (3)$$

З цього випливає, що для заданих  $a$  та  $b$  функція  $y(t)$  і є вейвлетом.

Phi-функції  $j(j(t))$  притаманні далеко не всім вейвлетам, а тільки тим, які належать до ортогональних.

Основними перевагами ортогональних вейвлетів є:

– можливість відновлення (реконструкції) не тільки локальних особливостей сигналу  $s(t)$ , але і сигналу загалом;

– можливість здійснення швидких вейвлет-перетворень.

ДВП передбачає наявність обох вищезгаданих функцій, на відміну від НВП, для здійснення якого необхідна лише функція  $Y(t)$ . За своєю суттю, НВП потребує великих обчислювальних затрат при його здійсненні, тому для практичного його застосування необхідна дискретизація значень  $a$  і  $b$ . В системі комп'ютерної математики MathLab, яку використано для нашого дослідження, в пакеті Wavelet Toolbox прийнято задавати дискретні значення  $a$  і  $b$  на деякій множині цілих чисел  $Z$ :  $a = 2^j$ ,  $b = k \cdot 2^j$ , де  $j, k \in Z$ . При дискретних значеннях  $a$  та  $b$  вейвлет-функції можуть бути представлені у вигляді:

$$Y_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \cdot Y(2^{-j} \cdot t - k); \quad (4)$$

$$j_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \cdot j(2^{-j} \cdot t - k). \quad (5)$$

ДВП в MathLab обчислюють за пірамідальним алгоритмом Малла, коли вейвлети задаються за допомогою відповідного набору частотних фільтрів. Коефіцієнти цих фільтрів однозначно визначено для кожного вейвлету на кожному з рівнів розкладу та реконструкції. За допомогою цих фільтрів сигнал розділяється на дві складові: грубу (апроксимуючу) і чітку (деталізуючу) – з подальшим їх “дробленням”, з метою зміни рівня декомпозиції (розкладу) сигналу. Аналізований за допомогою ДВП сигнал  $s(t)$  може бути відновлений на  $n$ -му рівні розкладу за своїм дискретним вейвлет-спектром за формулою [4]:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{j_n,k} \cdot j_{j_n,k}(t) + \sum_{j=j_n}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \cdot Y_{j,k}(t), \text{ де} \quad (6)$$

$$a_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot j_{j,k}(t) dt, \quad (7)$$

$$d_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot Y_{j,k}(t) dt, \quad (8)$$

$a_{j,k}$  та  $d_{j,k}$  – апроксимуючі та деталізуючі коефіцієнти відповідно.

Загалом кожен рівень відновлення (реконструкції) сигналу з коефіцієнтів апроксимації та деталізації визначають за правилом:

$$S = A_1 + D_1$$

$$S = A_2 + D_2 + D_1$$

$$S = A_3 + D_3 + D_2 + D_1 \dots,$$

де  $S$  – аналізований сигнал;  $A_n$  – апроксимуюча складова сигналу на  $n$ -му рівні розкладу;  $D_n$  – деталізуюча складова сигналу на  $n$ -му рівні розкладу.

**Аналіз дефектоскопічних сигналів.** Дослідження проводили над сигналом, зображеним на рис. 1. Як базовий вейвлет для ДВП використовували вейвлет Добеші 6-го порядку (рис. 2), який є простою, поширеною і перспективною в обчислювальному плані базисною функцією [5]. Крім того, форма його  $Y(t)$ - функції дещо нагадує форму сигналу від поперечної тріщини в головці рейки (загальні характеристики форми образу від цього дефекту наведено в [6]), що забезпечить достатню її корельованість з сигналом, який аналізується.

При виконанні ДВП обчислюються вейвлет-коефіцієнти (апроксимації та деталізації), за допомогою яких будується наближення до сигналу (апроксимація) та деталізуючі складові (їхня кількість залежить від рівня розкладу сигналу). Результат аналізу сигналу (рис. 1) за допомогою ДВП (рис. 3) являє собою апроксимуючу складову (4-го рівня розкладу) та чотири деталізуючі складові, сума яких і утворює аналізований сигнал.

Спектрограма (рис. 4), побудована на основі деталізуючих коефіцієнтів, вказує на наявність локальної особливості (сигналу від поперечної тріщини), якій відповідає вертикальна полоса, що виходять з точки, де знаходиться особливість (приблизно на 2200-му відліку). Значення вейвлет-коефіцієнтів визначає колір відповідної ділянки спектрограми (у нашому випадку що більша величина цих коефіцієнтів, то темніший колір їх представлення на спектрограмі). На спектрограмі також помітні вертикальні відрізки блідого сірого кольору (відповідають сигналам від шпальних підкладок, які існують впродовж усієї довжини дефектоскопічного сигналу і можуть бути розцінені як фоновий шум) та згущення темних областей по краях спектрограми (сигнали від рельсових стиків, які утворюють великі значення вейвлет-коефіцієнтів за рахунок великої амплітуди). Вищеписані фрагменти спектрограми (за винятком сигналу від поперечної тріщини в головці рейки) є регулярними елементами залізничної колії, тому їх виявлення не має жодного практичного інтересу.

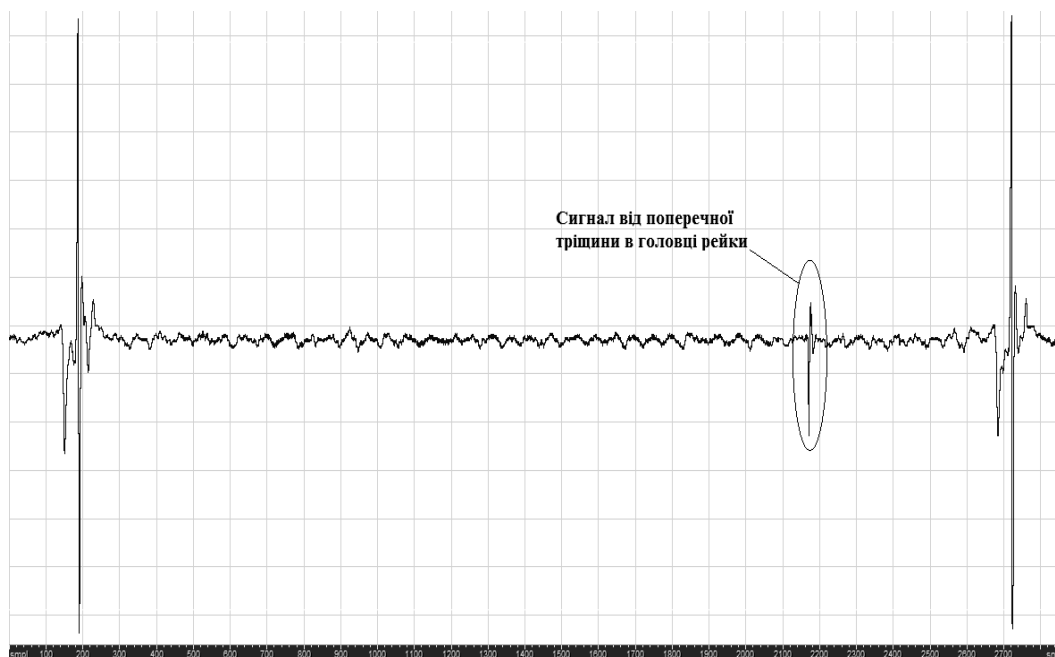


Рис. 1. Фрагмент дефектоскопічного сигналу з поперечною тріщиною рейки за кодом 21.2, отриманий під час заїзду Львів – Сянки – Чоп, 06.11.2009 р. (км:36 пікет:6 швидкість 47 км/год)

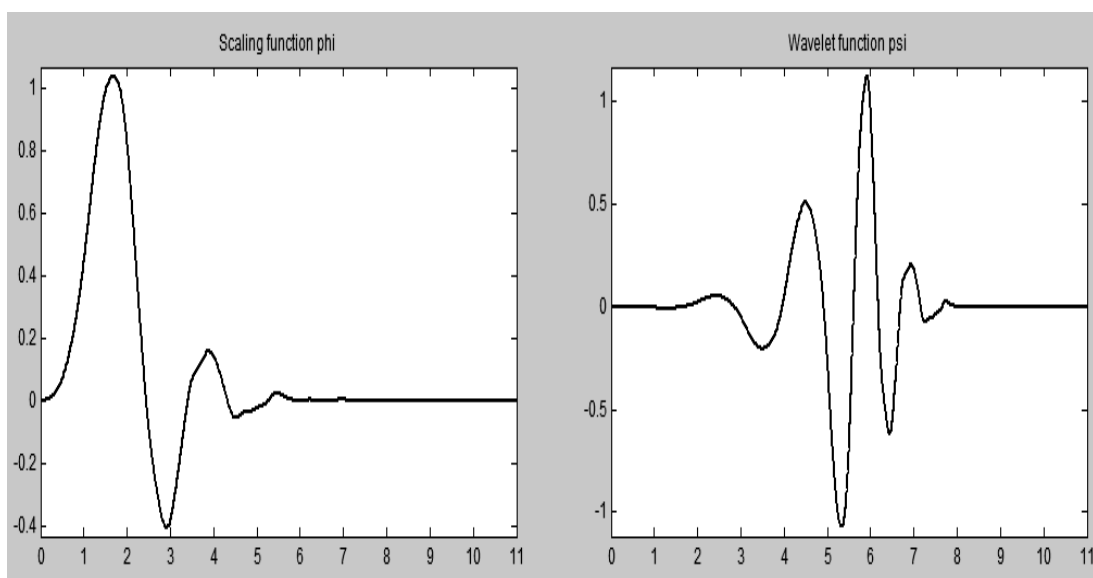


Рис. 2. Масштабуюча функція  $\hat{j}(t)$  та  $\psi(t)$ -функція вейвлету Добеші 6-го порядку (db6)

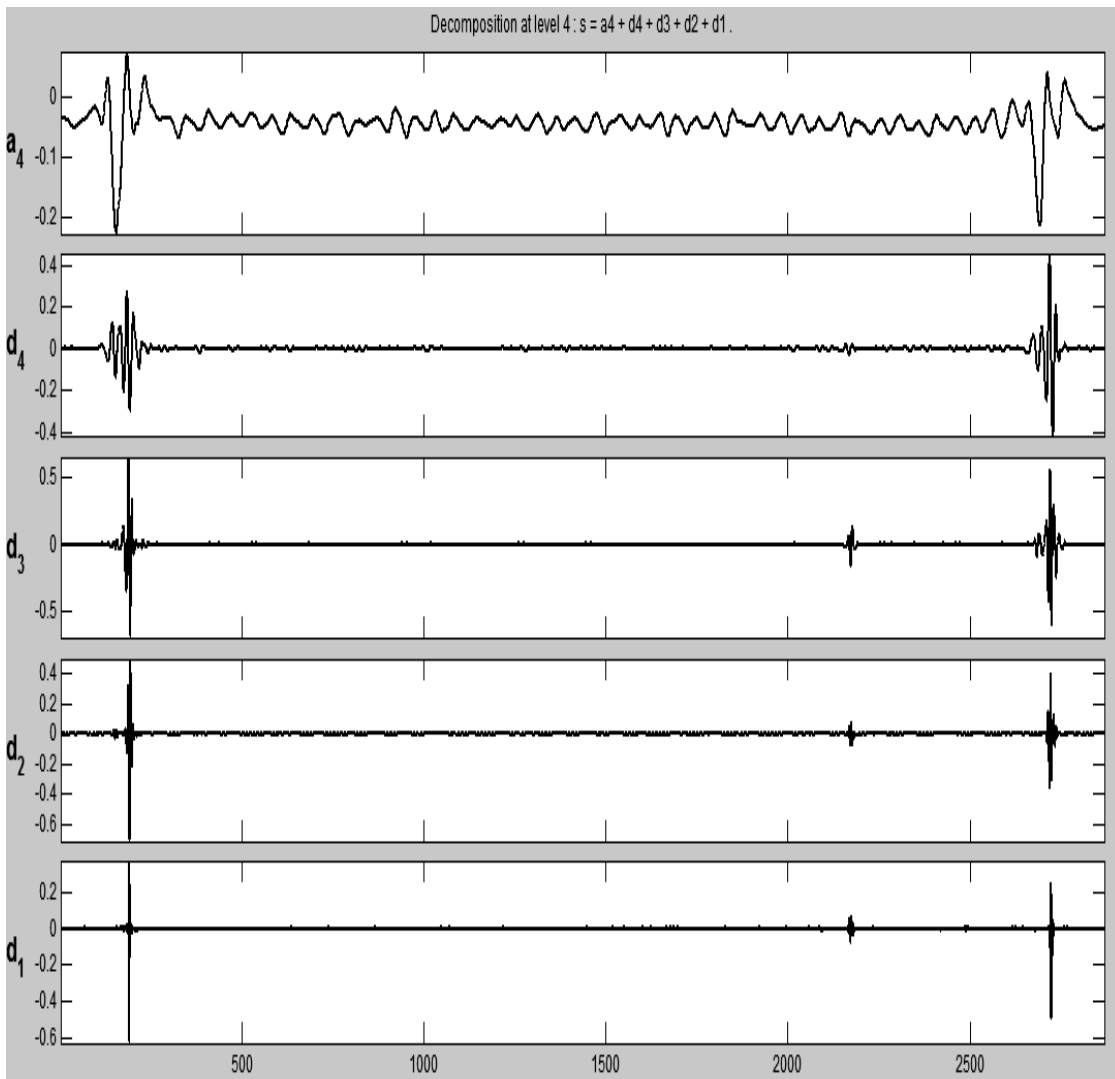


Рис. 3. Декомпозиція (4-го рівня) дефектоскопічного сигналу, зображеного на рис. 1, отримана за допомогою ДВП з використанням вейвлету Добеші 6-го порядку (db6)

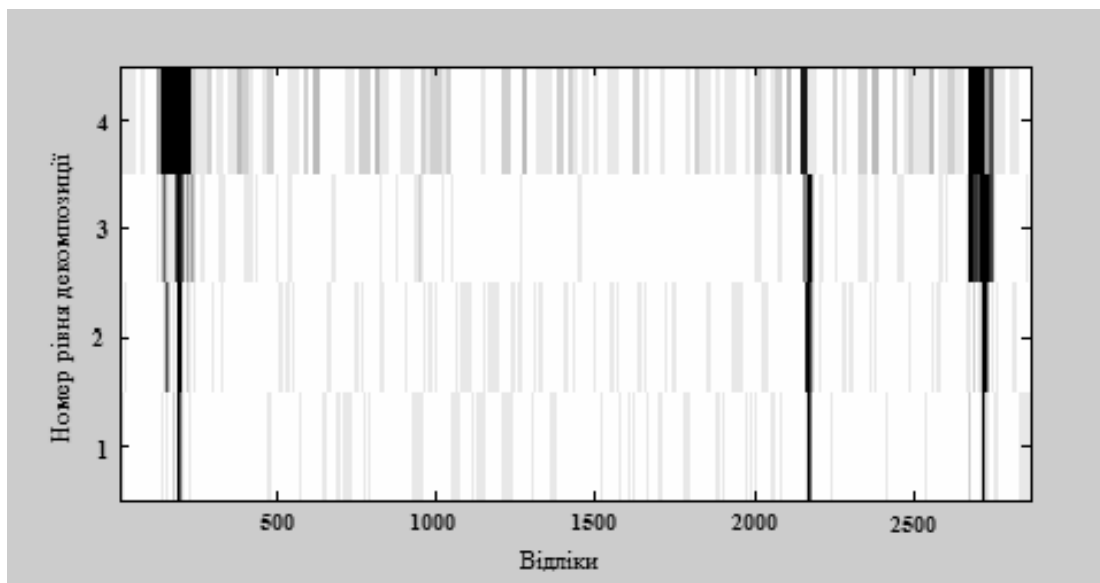


Рис. 4. Вейвлет-спектрограма отримана за допомогою ДВП з використанням вейвлету Добеші 6-го порядку (db6) і 4-го рівня декомпозиції

Оскільки сигнал від поперечної тріщини в головці рейки (рис. 1) достатньо великої амплітуди, то він сильно виділяється і на спектрограмі. Однак, якщо амплітуду цього сигналу зменшити до рівня, за яким оператор вагону-дефектоскопу приймає рішення про наявність дефекту, то спектрограма може й не виявити цієї особливості (чутливість ДВП до локальної особливості залежить від її амплітуди та насамперед схожості форми  $Y(t)$ -функції та цієї особливості). Отже, як і в НВП, для точнішого виявлення дефекту необхідно створювати адаптовану до сигналу від дефекту вейвлет-функцію, що є завданням набагато складнішим, ніж для НВП, оскільки для ДВП  $Y(t)$ -функція повинна бути ортогональною до масштабуючої  $j(t)$ -функції.

**Обробка дефектоскопічних сигналів.** ДВП можна також використовувати для компресії сигналу та очищення його від шуму (точніше, це основні напрямки його практичного застосування).

Для очищення сигналу від шуму необхідно виставити пороги на деталізуючі коефіцієнти ДВП, з яких утворюються деталізуючі складові сигналу згідно з (6), представлені на рис. 3, та вибрати модель шуму так, щоб максимально виділити сигнал від дефекту та усунути високочастотні шумові складові небажаних для виявлення сигналів (наприклад, від шпальних підкладок). На рис. 5 зображено встановлення порогу на деталізуючі коефіцієнти 1-го рівня декомпозиції. Коефіцієнти, що перевищують заданий поріг, будуть залишені, а всі інші – усунуті. Аналогічно встановлюються пороги на інших рівнях декомпозиції.

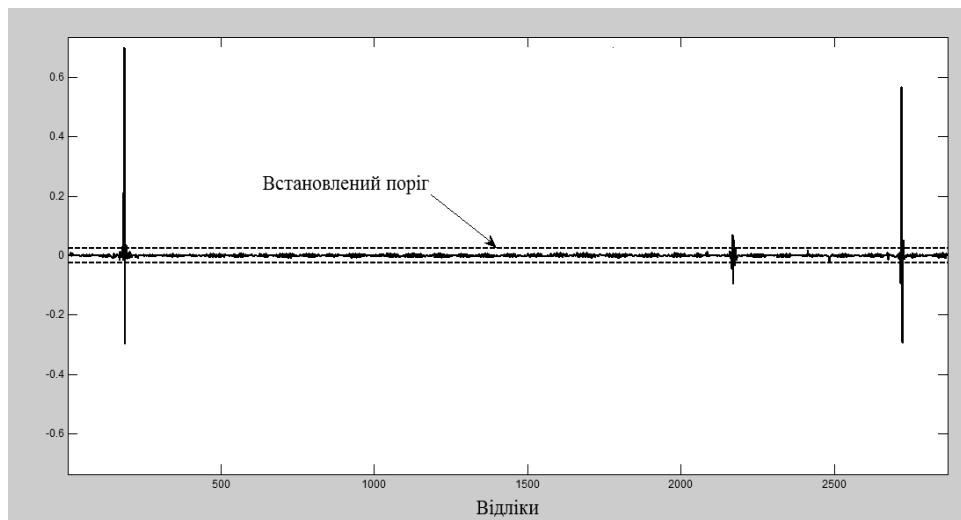


Рис. 5. Встановлення порогу на деталізуючі коефіцієнти 1-го рівня декомпозиції

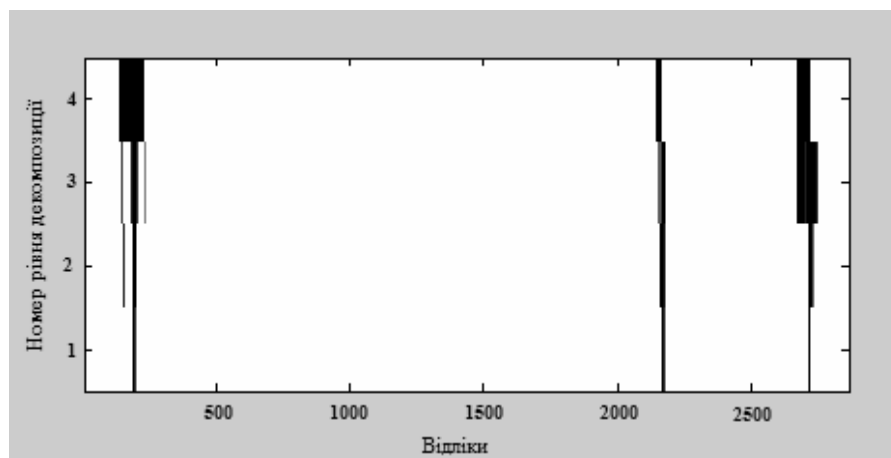


Рис. 6. Вейвлет-спектрограма отримана за допомогою ДВП з використанням вейвлету Добеші 6-го порядку (db6) і 4-го рівня декомпозиції після очищення сигналу (рис. 1) від шуму

Встановивши пороги на всіх рівнях декомпозиції та провівши очищення від шумів, ми отримаємо вейвлет-спектрограму, зображену на рис. 6.

Як видно з рис. 6, спектрограма представлена без коефіцієнтів ДВП, які відповідали сигналам від шпальних підкладок (рис. 4). Це свідчить про те, що за допомогою ДВП ми очистили сигнал (рис. 1) від високочастотних складових, що порівняно добре корелювали з материнською вейвлет-функцією ( $Y(t)$  - функцією вейвлету Добеші 6-го порядку).

Реконструйований початковий сигнал після очищення від шуму зображено на рис. 7.

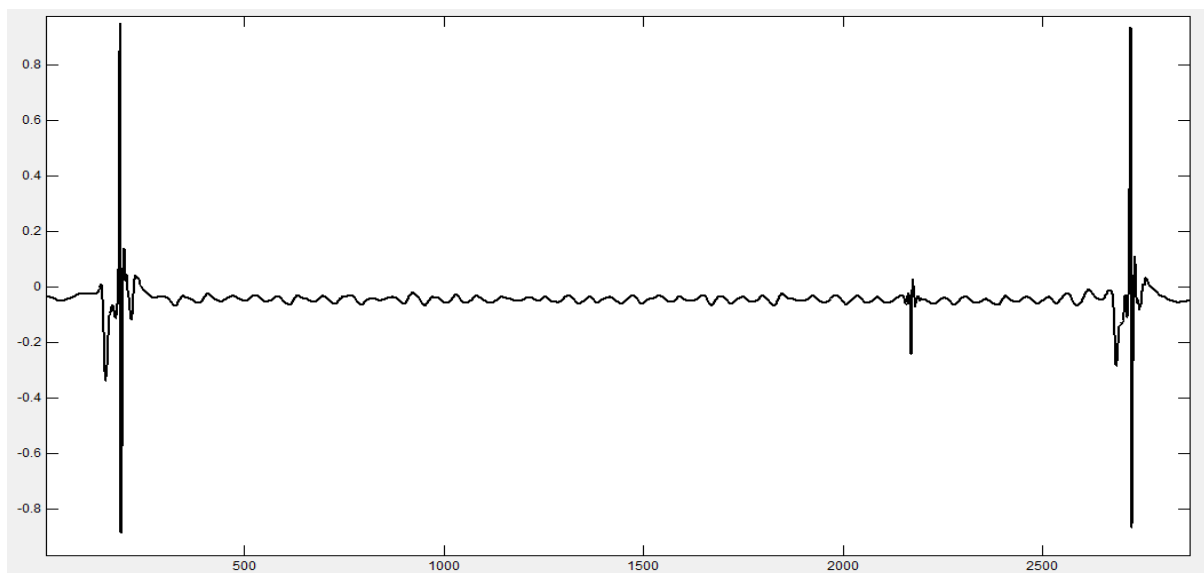


Рис. 7. Сигнал (рис.1) очищений від шуму за допомогою ДВП з використанням вейвлету Добеші 6-го порядку (db6)

З рис. 7 видно, що форма сигналу від поперечної тріщини в головці рейки спотворилась, тобто зазнала змін порівняно з формою, наведеною на рис. 1. Це негативно вплине на розпізнавання сигналів від дефектів, яке є найважливішою метою в дефектоскопії залізничних рейок.

Варто також зазначити, що компресія, яка теж успішно реалізується за допомогою ДВП, діє подібно очищенню від шуму, а тому теж вносить спотворення форми сигналів, які у випадку дефектоскопічних сигналів є недопустимими!

## Висновки

1. ДВП можна застосовувати для виявлення локальних особливостей сигналів, але лише на фоні адитивних слабкокорельованих перешкод, тобто його чутливість до виявлення цих особливостей буде недостатньою під час аналізу дефектоскопічних сигналів, де прерогативою має бути уникнення пропуску дефектів, а не швидкість опрацювання діагностичної інформації.

2. Очищення сигналів від шуму та їх компресія – найсильніші сторони ДВП, однак під час обробки дефектоскопічних даних вони спотворюють форму сигналу від небезпечних дефектів, а тому їх треба використовувати надзвичайно обережно, особливо якщо після цього ми збираємось аналізувати ці дані (наприклад, за допомогою НВП).

1 Polikar R. *The Wavelet tutorial*. Rowan University, College of Engineering Web Servers, 2001. – 79 р. 2. Вацущин Л.В., Іванчук В.М., Сторож І.В. Неперервне вейвлет-перетворення дефектоскопічного сигналу від поперечної тріщини залізничної рейки // *Матеріали ХХІІ Відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів “Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи.” (КМН-2011).* – 26–28 жовтня 2011 р., Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів. – С. 229–232. 3. Дьяконов В., Абраменкова И. *MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник.* –

Издательский дом "Питер", 2002, 608 с. 4. О.В. Лазоренко, С.В. Лазоренко, Л.Ф. Черногор. Вейвлет-анализ модельных сигналов с особенностями. 2. Аналитическое и дискретное вейвлет-преобразования. Радиофизика и радиоастрономия, 2007, т. 12, №3. – С. 278–294. 5. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН-Р. – 2002. – 448 с. 6. Гурвич А.К., Довнар Б.П., Козлов В.Б. и др. Дефектоскопия рельсов. – М.: Транспорт, 1978. – 440 с.

УДК 621.39

О.Б. Новікова

Криворізький національний університет

## ФРАКТАЛЬНИЙ СПЛАЙН – МОДЕЛЬ ШИРОКОСМУГОВОГО СИГНАЛУ

© Новікова О.Б., 2012

**Розроблено методику побудови фрактального сплайна для генерування завадостійких сигналів та проведено комп'ютерне моделювання адекватності такого сигналу.**

**Ключові слова:** фрактальний сплайн, фрактальний сигнал, завадостійкий сигнал.

**There is represented a method of spline building to generate fractal noise-immune signals and executed computer simulations of the signal adequacy compared to ordinary cubic spline.**

**Key words:** fractal spline, fractal signal, noise-immune signal.

**Постановка задачі та її зв'язок з науковими проблемами.** Сьогодні все актуальнішим стає питання надійної експлуатації ефірних засобів зв'язку, призначених для роботи у складному електромагнітному оточенні, зокрема систем бездротових комп'ютерних мереж. Це пов'язано зі зростанням електромагнітних шумів, що негативно впливають на середовище та функціональні елементи комунікаційних каналів. Такими шумами є атмосферні перешкоди, індустриальні шуми, а також міжсистемні перешкоди. Тому під час розроблення нових радіотехнічних засобів зв'язку важливою є задача забезпечення достатнього рівня завадостійкості сигналів, що передаються. Один із можливих напрямів розв'язання цієї задачі – використання у системах зв'язку сигналів фрактального типу. Серед великого різноманіття фракталів зупинимося на фрактальних сплайнах. У роботі ставиться задача синтезу фрактального сплайна з мінімальним числом параметрів, а також розроблення методу оцінювання цих параметрів за наявності завад.

**Аналіз публікацій.** Вперше питання про властивості фрактальних сигналів і способи їх генерації розглядали А.П. Кузнецов та С.П. Кузнецов. Основні напрацювання в галузі застосування фракталів для розв'язання радіофізичних та телекомунікаційних задач належать А.А. Потапову, В.Ф. Кравченко, О.І. Шелухіну, А.В. Осіну, С.М. Смольському. Відомо декілька видів фрактальних сигналів: сигнали, модульовані фрактальними послідовностями (А.А. Потапов), фрактальні вейвлети (В.М. Болотов, Ю.В. Ткач [4]), фрактальні надширокополосні радіоімпульси (О.В. Лазоренко, Л.Ф. Черногор), сигнали з адитивною фрактальною структурою (А.В. Хандурін [5]) та ін. Однак ці фрактальні сигнали важко реалізуються на практиці.

Отже, існує потреба в розробленні нового типу сигналу з фрактальною структурою, що має такі властивості: велика інформаційна місткість, простота генерування, легкість модифікації для використання у різних галузях (радіоелектроніка, економіка, комп'ютерна графіка тощо).