

## ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ ТА ЗАДАЧІ ЕНЕРГЕТИКИ: ОСОБЛИВОСТІ ПРИНЦИПІВ РОЗРАХУНКІВ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ В УМОВАХ ЇХ ЧАСТКОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

Волошко А. В., Лутчин Т. М.

*Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"*

*Запропоновано використовувати вейвлет-аналіз при вирішенні задач енергетики, пов'язаних з частковими відомостями про режими.*

**Постановка проблеми.** На всіх рівнях енергосистеми під час проектування, планування, керування та прогнозування процесів використовуються розрахунки та здійснюється оцінювання режимів, які описуються набором параметрів. При дослідженні задач на різних рівнях енергосистеми проявляється відмінність між параметрами споживання, розподілу та генерації енергосистеми. Проте у наукових публікаціях все частіше зазначається про можливість переходу до використання дійсних параметрів завдяки інформаційно-технічному розвитку, що забезпечує узгодження розрахунків на всіх рівнях енергосистеми.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** В останні роки широке поширення одержав особливий вид аналізу інформації – вейвлет-перетворення (ВП). Існує чимало його різновидів [1], зокрема: Хаара, Добеші, Гауса і так далі. Вейвлети добре застосовні у задачах статистичної обробки сигналів: кластеризації, стиснення, прогнозування, шифрування та ряді інших. На даний момент розроблено біля двадцяти видів ВП без врахування їхніх модифікацій.

**Мета статті.** Пропонується використовувати ВП для удосконалення розрахунків по вирішенню задач енергетики, у склад яких входять режимні параметри.

**Основні матеріали досліджень.** Основним режимним показником електроспоживання є графік електричного навантаження [2]. Всі інші режимні показники електроспоживання (мінімальне навантаження, кількість годин використання максимуму, коефіцієнт заповнення графіка навантаження, коефіцієнт форми графіка електричного навантаження, кількість годин максимальних втрат електричної енергії) є похідними від нього.

При дослідженні сигналів їх корисно представляти у вигляді набору послідовних наближень грубої (апроксимуючої) і уточненої (деталізуючої) складових [1]. Апроксимуючі  $c$  та деталізуючі  $d$  коефіцієнти визначаються відповідно як сума та різниця значень апроксимуючих коефіцієнтів першої та другої половини інтервалу [3] з наступним їхнім уточненням ітераційним методом:

$$c_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{2}}(C_{m-1,2n} + C_{m-1,2n+1}),$$

$$d_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{2}}(C_{m-1,2n} - C_{m-1,2n+1}),$$

де  $n \in [0; N - 1]$  – порядковий номер вейвлет-коефіцієнта (ВК) на  $m$ -ому кроці вейвлет-розкладу сигналу  $C$ ,  $N$  – кількість значень вихідної вибірки.

Кожний крок уточнення відповідає певному масштабу  $2^m$  аналізу (декомпозиції) та синтезу (реконструкції) сигналу. Представлення кожної складової сигналу вейвлетами можна розглядати як у часовій, так і у частотній областях. У цьому полягає суть кратномасштабного аналізу (КМА).

Розкладання функцій на вейвлетні ряди на певному кроці  $m$  виконується відповідно до виразу [3]:

$$S(m, t) = \sum_{n=0}^{2^m-1} c_{m,n} \cdot \varphi_{m,n}(t) + \sum_{n=0}^{2^m-1} d_{m,n} \cdot \psi_{m,n}(t),$$

де  $\varphi_{m,n}(t)$  та  $\psi_{m,n}(t)$  – ортонормовані базиси розкладання апроксимуючих і деталізуючих коефіцієнтів відповідно.

Значення коефіцієнтів більше високого рівня  $m$  відновлюються парою коефіцієнтів  $c_{m-1,n}$  та  $d_{m-1,n}$  [3]:

$$C_{m,2n} = \frac{1}{\sqrt{2}}(c_{m-1,n} + d_{m-1,n}),$$

$$C_{m,2n+1} = \frac{1}{\sqrt{2}}(c_{m-1,n} - d_{m-1,n}),$$

і, відповідно, за ними, можливе відновлення вихідні значення сигналів.

При обробці даних часто використовується алгоритм Мала, згідно якого скорочуються обсяги обчислень. Відповідно до алгоритму Мала [1] КМА при послідовному збільшенні значень рівня  $m$  приводить до швидких ітераційних обчислень:

$$c_{m+1,n} = \sum_i h_i c_{m,2n+i}, \quad (1)$$

$$d_{m+1,n} = \sum_i g_i c_{m,2n+i}, \quad (2)$$

де  $h_n$  та  $g_n$  – низькочастотний і високочастотний фільтри.

Рівняння забезпечують пірамідальний алгоритм обчислення всіх ВК на всіх рівнях розкладу  $m$ , проте для апроксимуючих  $c$  та деталізуючих  $d$  коефіцієнтів

з першим порядковим номером ( $n = 1$ ).

При застосуванні алгоритму Мала використовується лише однозначний підхід до вирішення задач (кількість рівнянь, які описують ВК, дорівнює кількості невідомих). Таким чином, у ряді задач знижується ефективність використання ВП за рахунок вибору малоінформативних або складних для подальшого аналізу коефіцієнтів.

У випадках, коли обрані ВК відповідно до алгоритму Мала не відображають повний спектр властивостей, які містилися у автоматично «відкинутих» ВК, проводяться зміни процесу розщеплення сигналу [4]. У результаті формуються бінарні збалансовані дерева, які на практиці широко застосовні для пошуку та сортування інформації (рис. 1) [1].

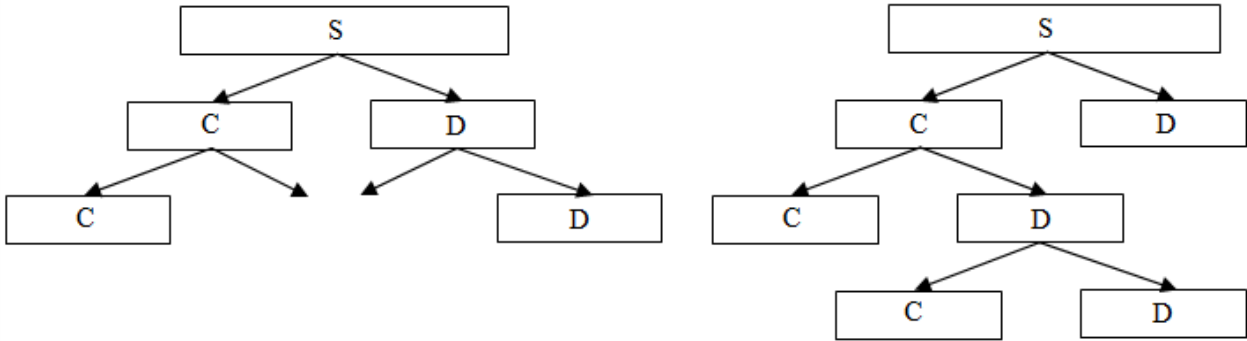


Рисунок 1 – Бінарні збалансовані дерева ВП

Множина алгоритмів ВП, подібних до алгоритму Мала, ґрунтується на особливості ВК – застосування ВП до кожного початкового значення вибірки  $2^m$  раз:

$$k_{m,n} = f(2^m \cdot n + i_1^{2^m}) \Leftrightarrow S_n.$$

Підтвердження можливості випадкового вибору ВК для відновлення вихідної інформації без втрат її точності підтверджується використанням ВК тільки останнього кроку ВП. Також можна довести, що кожний ВК містить повні або часткові відомості про зв'язок між вихідними значеннями (рис. 2) [5].

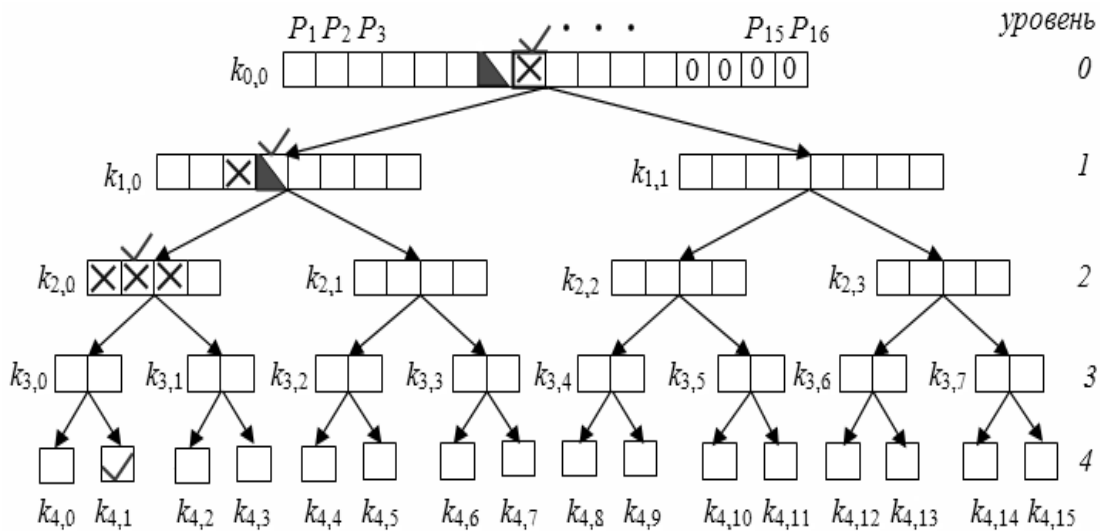


Рисунок 2 – Принцип відновлення вихідного значення за рахунок наявності відомостей про нього у ВК всіх рівнів:

- $\times$  – розрахований параметр;
- $\blacktriangle$  – параметр, що зберігається у базі даних.

Дерево КМА складається з  $2^m$  параметрів складових ВК на всіх  $m$  рівнях перетворення. Наявність такої кількості величин дозволяє розширити способи відновлення вихідного сигналу. Далі вибираємо шляхи розрахунку. Необов'язково задаватися базовими коефіцієнтами останнього рівня, що особливо важливо в умовах контролю вимірюваних сигналів. Перевірка реалізується по  $2^m$  шляхах:

$$P_i = f(k_{m,1}, k_{m,2}, k_{m,3}, (m-2)k_{m,n}),$$

де  $m$  та  $n$  – коефіцієнти, які не повторюються.

При довільному виборі значень існує ймовірність ускладнення алгоритму розрахунку. У цьому випадку схема не нагромаджується кількістю коефіцієнтів, але

збільшується чисельність підборів нових способів рішення, які, у свою чергу, полягають у необхідності аналізу коефіцієнтів для наступного групування. Попередньо зарезервувавши кілька шляхів відновлення даних, у спірних ситуаціях або при виникненні збоїв при передачі інформації, можна точно встановити етап з невідповідністю та виправити вибірку переданих даних.

Рекомендація. Для раціонального формування вибірки ВК об'ємом  $2^m$  при застосуванні додаткових нульових значень варто враховувати наступні обмеження: між ВК останнього кроку ВП можуть бути присутні взаємовиключні залежності; на поточних кроках ВП вплив нульових додаткових початкових значень виявиться у вигляді нульових і дубльованих значень ВК, які необхідно виключати з вибірки для відновлення даних.

Функціональні зв'язки вейвлет-коефіцієнтів. Розглянутий вид відбору даних у більшості випадків вносить похибки. Якщо відновлюється інформація без втрати точності за мінімальним об'ємом даних, необхідно враховувати структуру зв'язку між ВК.

Функціональні залежності між ВК на всіх рівнях розкладання простіше встановити при аналізі за вертикальною і горизонтальною структурою дерева. Горизонтальні взаємозв'язки чітко відтворюються при описі складових коефіцієнтів (рис. 1). Вертикальний аналіз дерева повного вейвлет-розкладу представлений на рис. 3.

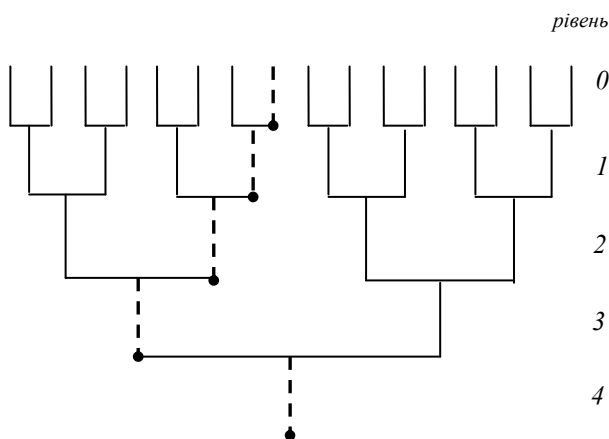


Рисунок 3 – Функціональна схема вейвлет-перетворення

Наведена схема відображає кількість вхідних даних у перетворених значеннях. Розглянемо більш детально рівні розкладання сигналу. З рис. 3 слідує, що ВК на першому рівні розраховуються за двома вихідними значеннями, другого рівня – за 4, третього рівня – за 8 і так далі. Даний принцип зберігається для перетворень із довільним об'ємом вибірки значень.

У випадку відновлення вихідних значень (рис. 2) "корисними" для розрахунку є ВК, які містять інформацію про вихідне значення. При відновленні значення вихідної вибірки, зображеного на рис. 1, раціонально застосовувати перетворені коефіцієнти, у яких є функціональна залежність із шуканою величиною (коефіцієнти, позиції яких відзначені пунктирними лініями на рис. 3).

**Висновки.** У результаті аналізу пакетного вейвлет-перетворення встановлені можливі схеми часткової декомпозиції вхідного сигналу. Обґрунтовано актуальність детального дослідження властивостей вейвлет-коефіцієнтів на всіх рівнях розкладання з метою визначення найбільш інформативних складових для рішення існуючих задач в енергосистемі. Вказана наявність різноманітних способів декомпозиції сигналу без втрати точності при його відновленні.

Наведено рекомендацію відносно усунення взаємовиключних умов неповноти вихідної вибірки. На підставі застосування кратномасштабного аналізу сформовані різні можливі шляхи визначення шуканих значень, що у свою чергу дозволяє використовувати дану властивість для підвищення якості та ефективності контролю переданої інформації.

#### Список використаних джерел

1. Яковлев А. Н. Введения у вейвлет-преобразования / А. Н. Яковлев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
2. Гордеев В. И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей / В. И. Гордеев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 182 с.
3. Волошко А. В. Методы и средства обработки сигналов и изображений / А. В. Волошко // Электроника и связь. – 2010. – Вып. 4. – С. 59–64.
4. Иванов Б. Н. Дискретная математика. Алгоритмы и программы. Расширенный курс / Б. Н. Иванов. – М.: Известия, 2011. – 512 с.
5. Волошко А. В. Локальне відновлення закодованої інформації / А. В. Волошко, Т. М. Лутчин. // Зб. наукових праць Інституту електродинаміки НАНУ, 2010. – С. 93–97.

#### Аннотация

#### ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ И ЗАДАЧИ ЭНЕРГЕТИКИ: ОСОБЕННОСТИ ПРИНЦИПОВ РАСЧЕТОВ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ В УСЛОВИЯХ ИХ ЧАСТИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Волошко А. В., Лутчин Т. Н.

*Предложено использовать вейвлет-анализ при решении задач энергетики, связанные с частичными сведениями о режимах.*

#### Abstract

#### WAVELET ANALYSIS AND ENERGY: FEATURES CALCULATION PRINCIPLE OF REGIME PARAMETERS IN TERMS OF THEIR PARTIAL USE

A. Voloshko, T. Lutchyn

*Wavelet analysis is proposed to use in solving problems of energy associated with partial information about the modes.*