

## ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА-ХУАНГА ТА ФІЛЬТРАЦІЯ ЧАСОВОГО РЯДУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ

Лисенко В. П., Штепа В. М., Дудник А. О.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

*Проаналізовано передумови використання перетворення Гільберта-Хуанга для очищення сигналу інтенсивності сонячної радіації від шумів, створено відповідний фільтр та підтверджено ефективність такого підходу.*

**Постановка проблеми.** У контексті розробки інтелектуальних систем управління біотехнічними об'єктами (продукції рослинництва у спорудах закритого ґрунту) особливої ваги набуває здатність прогнозування природних збурень у вигляді сонячної радіації, оскільки її значення вагомо впливають на продуктивність рослин [1–3].

На ПАТ «Агрокомбінат «Тепличний» (Київська область, Броварський район) для вивчення характеру впливу природних збурень у вигляді сонячної радіації встановлено інформаційно-вимірювальну систему (ІВС) (рис. 1).

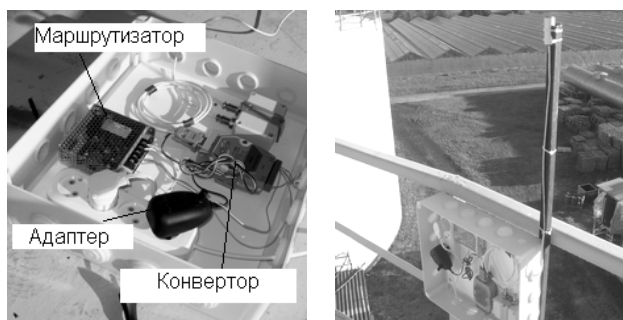


Рисунок 1 – Інформаційно-вимірювальна система інтенсивності сонячної радіації

У якості прогностичного математичного апарату застосували нейронні мережі (НМ), однак, необхідної ефективності предикту стосовно сонячної радіації отримано не було.

Зазначене пояснюється зашумленістю інформаційного сигналу, пов'язану із можливим впливом значного переліку природних чинників (зменшенням інтенсивності дії сонячних променів на сенсор ІВС) [4]: географічної широти і довготи місцевості; відстані від Сонця до Землі; висоти хмар; типу хмар; абсолютної вологості; горизонтальної і вертикальної складових швидкості вітру; концентрації і розміру аерозолу; ядра конденсації; хмарних ядер конденсації і розмір хмарних крапель; розміру кристалів; водності; висоти верхньої та нижньої меж хмар; випромінювальної спроможності хмар; водозпасу хмар; інтенсивності опадів тощо.

Саме тому для подальших досліджень, з можливістю реалізації прогностичного блоку, вбачається необхідним застосування математичних фільтрів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційні методи аналізу даних, призначені, як правило, для лінійних і стаціонарних сигналів та систем [5].

Разом із тим очевидно, що часовий ряд сонячної радіації є нелінійним та нестационарним [2].

Отже, необхідна умова адекватного представлення даних полягатиме у можливості формування адаптивного базису, який функціонально залежатиме від змістової складової самого сигналу, а не буде попередньо вибраним та незмінним, як у класичних підходах.

Таким вимогам відповідає перетворення Гільберта-Хуанга (ННТ), під яким розуміють метод частотно-часового аналізу на основі емпіричної модової декомпозиції (EMD) нелінійних та нестационарних процесів і Гільбертів спектральний аналіз (HSA) [6, 7].

**Мета досліджень.** Синтезувати ефективний математичний фільтр часового ряду інтенсивності сонячної радіації.

**Основні матеріали досліджень.** Загалом метод EMD базується на припущенні, що будь-який набір даних вміщує різні режими коливальних процесів [7]. Кожен із таких коливальних режимів може бути представлений функцією внутрішньої моди (IMF) з відповідними обмеженнями: кількість екстремумів і кількість нульових перетинів функції повинні бути рівними або відрізнятись не більше ніж на одиницю; у будь-якій точці функції середнє значення огинаючих кривих, які визначені локальними екстремумами, має дорівнювати 0.

Тобто IMF являють собою коливальні режими, які замість постійних амплітуди та частоти можуть мати змінні амплітуду та частоту, як функції часу.

Суть EMD полягає в послідовному (ітераційному) встановленні функцій емпіричних мод  $c_j(t)$  і залишків  $r_j(t) = r_{j-1}(t) - c_j(t)$ , де  $j = 1, 2, \dots, n$  при  $r_0 = y(t)$ . Результатом розкладання буде представлення сигналу в вигляді суми модових функцій і кінцевого залишку [7]:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (1)$$

де  $n$  – кількість емпіричних мод, яка встановлюється під час розрахунків.

Дослідження [6–8] продемонстрували, що відповідний адаптивний базис хоча і не визначений аналітично, але задовольняє вимогам традиційних базисів: завершеністю, сходимістю, ортогональністю та єдиністю (твердження спірне).

При цьому EMD має чіткий алгоритм ітераційного розрахунку, що створює передумови для його про-

грамної реалізації в інтелектуальних системах управління [6, 7]:

1) ідентифікація локальних екстремумів сигналу і групування їх у масиви векторів координат та відповідних амплітудних значень;

2) обчислення верхньої і нижньої огинаючих сигналу  $y(k)$  за виділеними максимумами і мінімумами;

3) розрахунок функції середніх значень  $m_1(k)$  і знаходження першого наближення до першої функції моди IMF:

$$h_1(k) = y(k) - m_1(k), \quad (2)$$

4) повторення кроків 1-3, приймаючи замість  $y(k)$  функцію  $h_1(k)$ , і знаходження другого наближення до першої функції моди IMF – функцію  $h_2(k)$ :

$$h_2(k) = h_1(k) - m_2(k). \quad (3)$$

Аналогічно розраховуються і наступні наближення до першої функції моди IMF. Критерієм зупинки ітерацій, наприклад, може бути нормалізована квадратична різниця між двома послідовними операціями наближення:

$$\delta = \frac{\sum_k (h_{i-1}(k) - h_i(k))^2}{\sum_k (h_i(k))^2} \quad (4)$$

Останнє значення  $h_i(k)$  ітерацій приймається за високочастотну функцію моди  $c_1(k) = h_i(k)$  сімейства IMF, яка входить до складу вихідного сигналу. Це дозволяє вилучити  $c_1(k)$  зі складу сигналу і залишити в ньому більш низькочастотні складові:

$$r_1(k) = y(k) - c_1(k), \quad (5)$$

Функція  $r_1(k)$  опрацьовується як нові дані за аналогічною із знаходженням другої модової функції IMF методикою –  $c_2(k)$ :

$$r_2(k) = r_1(k) - c_2(k) \quad (6)$$

Тим самим досягається декомпозиція сигналу в  $n$ -модовому емпіричному наближенні в сумі із залишком  $r_n(k)$  (1).

Зупинка декомпозиції сигналу повинна відбуватися при максимальному «випрямленні» залишку, тобто перетворення його в тренд сигналу згідно інтервалу завдання. Практично ж процес може припинятися за такими критеріями: залишок  $r_n(k)$  стає монотонною функцією без екстремумів; залишки  $r_n(k)$  стають несуттєвими за своїми значеннями або потужністю в порівнянні із сигналом; досягається попередньо задана відносна середньоквадратична похибка реконструкції сигналу (4) без врахування залишку  $r_n(k)$ .

У випадку очищення часового ряду інтенсивності сонячної радіації для відділення шумів використаємо метод, який базується на формуванні в частотній об-

ласті функції  $H(\omega)$  низькочастотного фільтра із верхньою граничною частотою зрізу згідно початку високочастотних шумів, множенні спектра сигналу на  $H(\omega)$ , переведенні результату фільтрації в тимчасову область і використання його в якості початкової (стартової) функції  $m_1(k)$  у (2) [7].

Спосіб відрізняється тим, що дозволяє задавати перехідну зону між кордонами пропускання і придушення частотних складових сигналу, що підвищує стійкість EMD, регулюванням ширини якої можна певною мірою управляти перерозподілом відбору гармонік між функціями IMF. Зазначене представляє такий метод гнучким та сталим, стосовного експертного управління в діалоговому режимі, математичним засобом аналізу зашумленості інформаційних сигналів.

Використаємо для досліджень часовий відрізок у 6 годин (дані отримані ІВС), що технологічно обґрунтовано з точки зору ширини часового вікна для подальших предиктів, та програмне забезпечення В.А. Давидова та А.В. Давидова [9], внісши у нього ряд об'єктно-орієнтованих змін.

Для усунення помилок перетворення на кінцевих інтервалах оброблюваного масиву даних досліджуваного часовий відрізок продовжено на кінцевих ділянках на 1% (43 точки) Також здійснено його центрування стосовно середньоарифметичного значення – 133,807 Вт/м<sup>2</sup> (рис. 2).

Сонячна радіація, Вт/м.кв.

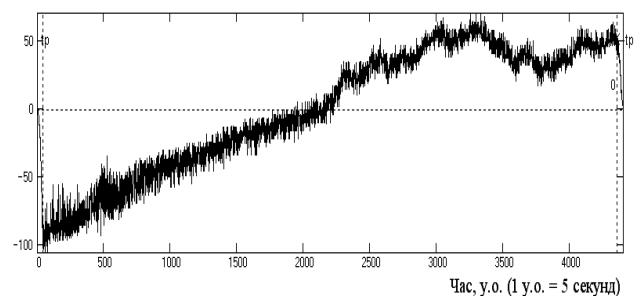


Рисунок 2 – Нормований та продовжений часовий ряд сонячної радіації

Таким чином, нами була встановлена межа зрізування – 65 у.о. (рис.3); верхня межа повного придушення високочастотних складових для всіх фільтрів – однакова.

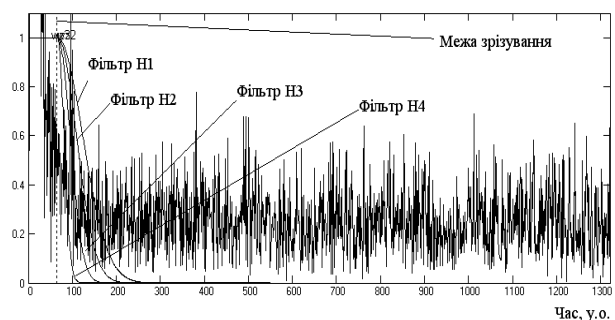


Рисунок 3 – Модуль спектра часового ряду сонячної радіації з відповідними налаштуваннями фільтрів

Також прийняли, що очищення від шумів часового ряду сонячної радіації потребуватиме проведення чотириразового відсіву шумів, тобто формування  $IMF-1 = IMF-1a + IMF-1b + IMF-1c + IMF-1d$  (рис. 4).

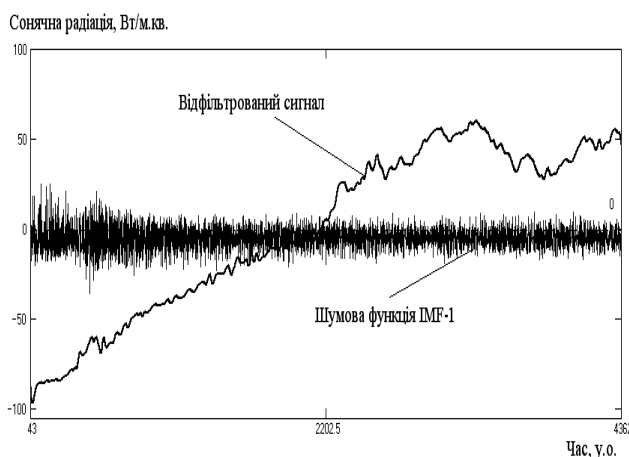


Рисунок 4 – Результати фільтрації часового ряду сонячної радіації

Денормувавши відфільтрований сигнал, візуально проаналізували результати використання перетворення Гільберта-Хуанга та встановили кількість виявлених шумових складових у вхідному сигналі – 23,762% (рис. 5).

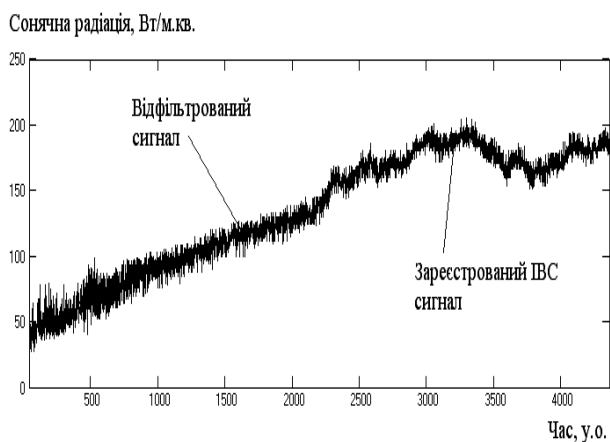


Рисунок 5 – Накладання вхідного та відфільтрованого сигналів часового ряду сонячної радіації

### Висновки

1. Математичний фільтр на основі перетворення Гільберта-Хуанга доцільно використовувати для аналізу часового ряду сонячної радіації.
2. Очищений за результатами реалізації EMD сигнал характеризується технологічно достатньою роздільною здатністю.
3. Отримані на основі перетворення Гільберта-Хуанга відфільтровані сигнали можуть бути застосованими для побудови відповідних прогностичних моделей.

### Список використаних джерел

1. Schrader D. H., Mc Nelis D. D. Microwave Irradiation of Plant Roots in soil. -J. of Microwave Power. 1975. - vol. -10, № 1. - p. 77 - 91.
2. Thornley J. H. M., Hurd R. G. An Analysis of the Growth of Young Tomato Plants in Water Culture at Different Light Integrals and CO<sub>2</sub> Concentrations \ \ Annals of Botany \ - Vol.38, Issue 2 – pp. 389-400 - 1979.
3. Лисенко В. П. Ймовірнісна (Байєсівська) нейронна мережа класифікації температурних образів / В. П. Лисенко, В. М. Штепа, А. О. Дудник // Вісник аграрної науки. – К.: НААН. – 2011. – № 4. – С. 53-56.
4. Кондратьев К. Я., Атмосферный аэрозоль / К. Я. Кондратьев, Н. И. Москаленко, Д. И. Поздняков. – М.: Гидрометеиздат, 1965. – 692 с.
5. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов / Р. Отнес, Л. Энноксон. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
6. Huang N. E. Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. N., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C. C., and Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proceedings of R. Soc. London, Ser. A, 454, pp. 903-995, 1998.
7. The Hilbert-Huang transform and its applications / editors, Norden E. Huang, Samuel S. P. Shen. - World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck Link, Singapore 596224.
8. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis / Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. L. [and others]. — Proc. R. Soc. London, 1998. — Vol. 454. — P. 903—995.

### Анотация

#### ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА-ХУАНГА И ФИЛЬТРАЦИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Лысенко В. П., Штепа В. Н., Дудник А. А

*Проанализированы предпосылки использования преобразования Гильберта-Хуанга для очистки сигнала интенсивности солнечной радиации от шумов, создан соответствующий фильтр и подтверждена эффективность такого подхода.*

### Abstract

#### THE HILBERT-HUANG TRANSFORM AND THE FILTRATION THE TIME SERIES OF SOLAR RADIATION

V. Lysenko, V. Shtepa, A. Dudnik

*Conditions are analyzed using Hilbert-Huang transform to clean the signal intensity of solar radiation on the noise created by a filter and the effectiveness of this approach was confirmed.*