

УДК 519.711.3: 663.52

RESEARCH OF BEHAVIOR OF BRAGORECTIFYING INSTALLATION BY WAVELET ANALYSIS METHODS

V. Kysenko, D. Kryschenko, A. Kycher

*National University of Food Technologies***Key words:**

wavelet analysis,
rectification of mash
installation,
time series,
situational management

Article history:

Received 17.04.2018
Received in revised form
11.05.2018
Accepted 31.05.2018

Corresponding author:

eltarlash@gmail.com

ABSTRACT

The article deals with the problem of estimating the characteristic features of the behavior of the rectification of mash installation as a complex control object based on wavelet analysis of time series of technological variables.

The analysis of wavelet coefficients allows to detect the unsteadiness of the investigated process on any frequency-time scale, and to obtain both qualitative and quantitative non-stationary characteristics.

The time series of the main technological variables of the bragorectification installation of the alcoholic beverage factory were analyzed: steam consumption, flow rates, alcohol consumption, temperature and pressure of the bottom and top of columns. In the analysis of time series that describing the behavior of the processes of bragorectification, various types of wavelets were used: Mhat (Mexican hat), Morl (Morle), Gau (Gauss).

In addition, in contrast to the Fourier transform, wavelet decomposition allows analyzing a signal as a component of its localized time elementary processes, which is convenient for locating periodicity, non-stationary, jumps, discontinuities, and variations of values with high steepness, etc.

The use of wavelet transformations allowed us to examine in detail the features of behavior manifestations in both the time and frequency domain, and will provide an automatic assessment of the state of the control object when developing strategies for situational management of alcohol production.

Wavelet analysis allows you to obtain local high-frequency and global large-scale information about the object. An important characteristic of methods based on fractal representations and wavelet transformations is their versatility. So, the relevance of the use of wavelet analysis of time series for automation tasks of the technological processes of bragorectification is not in doubt.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-23-19

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ МЕТОДАМИ ВЕЙЛЕТ-АНАЛІЗУ

В.Д. Кишенько, канд. техн. наук

Д.О. Крищенко

А.Є. Кучер

Національний університет харчових технологій

У статті розглядається проблема оцінки характерних рис поведінки брагоректифікаційної установки як складного об'єкта керування на основі вейвлет-

аналізу часових рядів технологічних змінних. Застосування вейвлет-перетворень дало змогу детально розглянути особливості проявів поведінки як в часовій, так і в частотній області, що забезпечить автоматичну оцінку стану об'єкта керування при розробці стратегій ситуаційного керування спиртовим виробництвом.

Ключові слова: вейвлет-аналіз, брагоректифікаційна установка, часовий ряд, ситуаційне керування.

Постановка проблеми. Брагоректифікаційна установка спиртового заводу є складним технологічним об'єктом керування [1]. Для нього характерний високий рівень шумів і перешкод, значна невизначеність, суттєва нелінійність зв'язків між технологічними параметрами, істотна нестационарність, стохастичність і хаотичність, проблематична ситуаційна поведінка через наявність біфуркацій, сплесків, розривів та інших кардинальних змінювань станів об'єкта [2]. Такі особливості ускладнюють процес прийняття рішень щодо керування: виникає необхідність у пошуку, обґрунтуванні та прийнятті в реальному масштабі часу оперативних стратегій керування згідно із ситуаційною обстановкою в об'єкті керування, яка визначається на основі поточної та ретроспективної інформації про його поведінку. В цьому сенсі з метою забезпечення автоматичної реалізації прикладних функцій керування важливе значення набувають методи аналізу часових рядів технологічних змінних об'єкта керування [3]. Для аналізу випадкових процесів широко використовуються традиційні методи статистичного аналізу випадкових величин і функцій та спектрального аналізу Фур'є [4]. Поряд з ними в останні роки набувають поширення способи обробки сигналів, засновані на фрактальному і вейвлет-перетвореннях [5]. Вейвлет-аналіз є одним з перспективних методів, що застосовуються нині для аналізу часових сигналів [6]. Вейвлет-перетворення добре локалізоване в часі, що дає змогу виявляти структуру досліджуваного сигналу на окремих часових інтервалах [6]. Відмінна особливість вейвлет-перетворень полягає в тому, що вони поряд з глобальними характеристиками процесів, розкривають особливості їх локальної структури. Вейвлет-аналіз забезпечує локальну високочастотну і глобальну великомасштабну інформацію про об'єкт і дає змогу визначити, в який момент часу з'явилися ті чи інші компоненти сигналу. Тому актуальність застосування вейвлет-аналізу часових рядів для задач автоматизації технологічних процесів брагоректифікації не викликає сумніву.

Мета досліджень: проаналізувати часові ряди технологічних змінних брагоректифікаційної установки за допомогою вейвлет-перетворень, встановити характерні прояви поведінки об'єкта керування, забезпечити автоматичний моніторинг технологічних ситуацій брагоректифікації для організації оперативних ефективних стратегій керування процесами виробництва спирту.

Матеріали і методи. Розглядається математичне та чисельне моделювання часових рядів за допомогою вейвлет-аналізу. Основний алгоритм обробки будується за умови існування часового ряду і полягає у визначенні показників стохастичності, хаотичності та аналізі особливих станів системи за допомогою вейвлет-перетворення. Аналіз вейвлет-коефіцієнтів дає змогу виявити нестационарності досліджуваного процесу на будь-яких частотно-часових масштабах і таким чином отримати як якісні, так і кількісні характеристики нестационарності; встановити рівень та характер шумів і збурень, діагностувати характерні прояви поведінки об'єкта керування. На відміну від перетворення Фур'є, при якому локалізуються частоти, але не дається часової ідентифікації процесу,

вейвлет-перетворення, що користується рухомим частотно-часовим вікном, що самоорганізується, однаково добре виявляє як низькочастотні, завдяки скейлінг-функції, що здійснює грубу апроксимацію сигналу за допомогою апроксимуючих коефіцієнтів, так і високочастотні характеристики сигналу, що розкривають подробиці сигналу на основі деталізуючих коефіцієнтів, на різних часових масштабах [6].

Вейвлет-аналіз полягає в поданні вихідного сигналу, функції у вигляді лінійної комбінації деяких базових функцій — вейвлетів. Вейвлет-перетворення забезпечує двовимірну розгортку досліджуваного одновимірного сигналу, що створює можливість для аналізу властивостей сигналу одночасно в часі і за частотою. Масштабно-часова локалізація вейвлет-перетворення обумовлена принципом побудови ортогонального базису розкладання [6]. На відміну від Фур'є-перетворення, де як базис використовуються гармонійні функції [4], базис вейвлет-розкладання становить локалізована в часі, тобто швидко спадна солітоноподібна вейвлет — функція [6]:

$$\Psi_{a,b} = \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (1)$$

де t — час; a — масштабний коефіцієнт, що визначає величину розтягування вейвлета; b має розмірність часу і визначає величину зсуву вейвлет-функції [6]. Нині існує цілий ряд таких функцій [6].

Обчислення вейвлет-перетворення здійснюється шляхом згортки досліджуваної часової послідовності $f(t)$ з вейвлет-функцією:

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\Psi_{a,b}(t) \cdot dt \quad (2)$$

Вейвлет-перетворення формує образ як вектор властивостей, що відтворює поточний стан технологічного процесу.

Розрізняють безперервне і дискретне перетворення. Безперервне вейвлет-перетворення будується за допомогою безперервних масштабних перетворень і переносів вейвлета з довільними значеннями масштабного коефіцієнта a і параметра зсуву b [5]:

$$W(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\Psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right)dt, \quad (3)$$

де символ $*$ позначає операцію комплексного сполучення.

Двопараметрична функція $W(a, b)$ подає інформацію про зміну відносного внеску компонент різного масштабу в часі і називається спектром коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

Маючи вейвлет-спектр, можна розрахувати повну енергію сигналу:

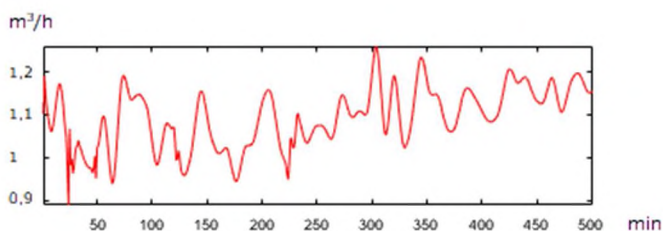
$$E_f = \int f^2(t)dt = \iint W^2(a,b) \frac{dadb}{a^2} \quad (4)$$

і глобальний спектр енергії — розподіл повної енергії по масштабах (скейлограму вейвлет-перетворення):

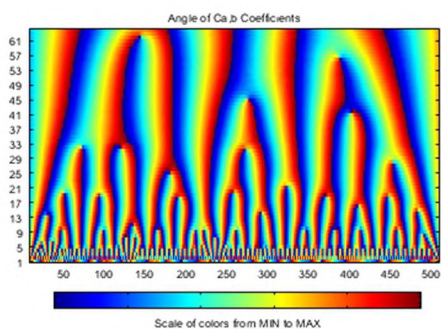
$$E_w = (a) = \int W^2(a, b) db . \quad (5)$$

Вибір того або іншого класу вейвлет-функцій здійснюється з урахуванням специфіки задач дослідження та характерними рисами сигналу, що допомагає повніше виявити і підкреслити ті чи інші особливості аналізованого часового ряду. Спектр вейвлет-перетворення одновимірного сигналу представляє поверхню в тривимірному просторі. Візуалізація спектра здійснюється шляхом проекції на площину з ізолініями, що дає змогу простежити зміни коефіцієнтів на різних масштабах в часі, із градієнтним заливанням відтінками сірого кольору між лініями, відображаючи частотно-часові характеристики сигналу. Час відкладається по осі абсцис, частота — по осі ординат.

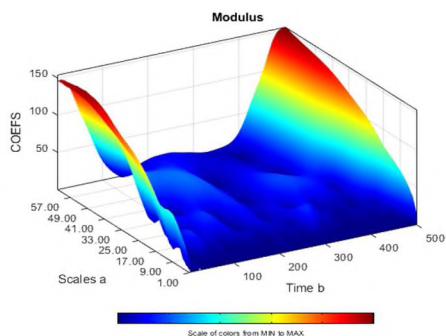
Результати досліджень. Були проаналізовані часові ряди основних технологічних змінних брагоректифікаційної установки спиртового заводу: витрати пари, витрати бражки, витрати спирту, температури на контрольних тарілках колон, температури та тиску низу та верху колон. При аналізі часових рядів, що характеризують поведінку процесів брагоректифікації, використовувалися різні типи вейвлетів: Mhat (мексиканський капелюх), Morl (Морле), Gau (Гауса) [6]. Вейвлет-перетворення сигналу здійснювалося з використанням математичного пакета Matlab [7].



а



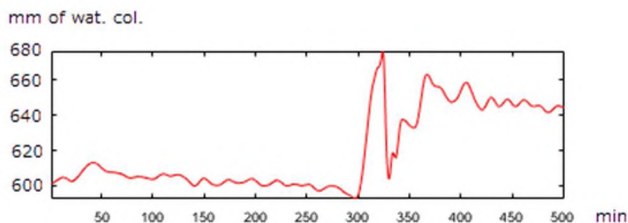
б



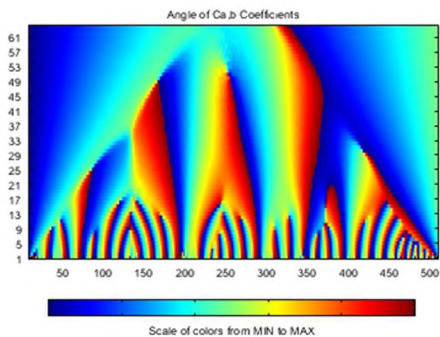
в

Рис.1. Вейвлет-перетворення Гауса часового ряду витрати спирту:

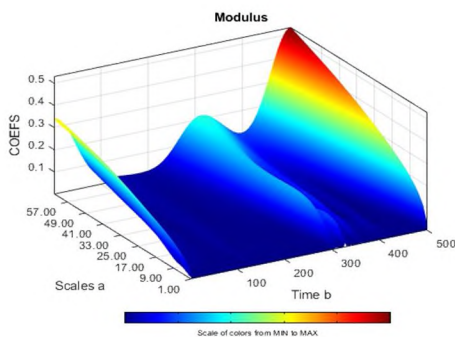
а — часовий ряд; б — вейвлет-спектограма; в — тримірний графік вейвлет-коефіцієнтів



а



б



в

Рис. 2. Вейвлет-перетворення Гауса часового ряду тиску верху бражної колони:
 а — часовий ряд; б — вейвлет-спектограма; в — тримірний графік вейвлет-коефіцієнтів

На рис. 1—2 зображені результати вейвлет-аналізу часових рядів ряду технологічних змінних процесу брагоректифікації, на яких видно чітку фіксацію характерних проявів поведінки об’єкта керування. Так, на рис. 1 у часовому ряді витрати спирту встановлені періодичності в поведінці, а вейвлет-спектограма сигналу свідчить про наявність височастотних шумів з їх локалізацією та характеристикою частотного спектра. В часовому ряді тиску верху бражної колони (рис. 2) виявлені нестационарності досліджуваного процесу на певних частотно-часових масштабах, що дає змогу за розподілом вейвлет-коефіцієнтів здійснити як якісну, так і кількісну оцінку нестационарності. Та чи інша особливість часового ряду підкреслюється рівнем вейвлет-коефіцієнтів: чим більший рівень коефіцієнтів, тим різкіше ця особливість встановлюється і сильніше виділяється її область в частотно-часовому спектрі, що практично неможливо при Фур’є-аналізі.

Висновки. Вейвлет-аналіз дає змогу на основі використання вейвлет-пакетів і кластеризації зробити тонкий і точний поділ частотно-часової площини на осередки таким чином, що можна одночасно розділити сигнали за частотними властивостями і за місцем розташування, що забезпечує автоматизацію задачі технологічного моніторингу при організації ефективних стратегій ситуаційного керування брагоректифікаційною колоною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ладанюк А.П. Системний аналіз складних систем управління: навч. пос. / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко. — К. : НУХТ, 2013. — 274 с.
2. Ладанюк А.П. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. — К. : Центр учбової літератури, —2014. — 280 с.
3. Ярушкіна Н.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: Учебн. пособие / Н.Г. Ярушкіна, Т.В. Афанасьєва, И.Г. Перфильєва. — Ульяновск. : УлГТУ, 2010. — 320 с.
4. Дьяконов В.П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / В.П. Дьяконов, А.А. Афонский. — М. : СОЛОП-Пресс, 2009. — 248 с.
5. Percival D. Wavelet methods for time series analysis / D. Percival, A. Walden. — Cambridge: Cambridge University Press, 2000. — 594 p.
6. Короновский А.А. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения / А.А. Короновский, А.Е. Храмов. — М. : Физматлит, 2003. — 176 с.
7. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB/ Н.К. Смоленцев. — М. : ДМК Пресс, 2005. —304 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ МЕТОДАМИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

В.Д. Кишенько, Д.А. Крищенко, А.Е. Кучер
Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматривается проблема оценки характерных черт поведения брагоректификационной установки как сложного объекта управления на основе вейвлет-анализа временных рядов технологических переменных. Применение вейвлет-преобразований позволило подробно рассмотреть особенности проявлений поведения как во временной, так и в частотной области, что обеспечит автоматическую оценку состояния объекта управления при разработке стратегий ситуационного управления спиртовым производством.

Ключевые слова: вейвлет-анализ, брагоректификационная установка, временной ряд, ситуационное управление.