

Вейвлет аналіз температурних трендів днища скловарної печі

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.40>

Клепач М. І.

Кафедра автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та
природокористування
Рівне, Україна
m.i.klepach@nuwm.edu.ua

Клепач М. М.

Кафедра автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та
природокористування
Рівне, Україна
m.m.klepach@nuwm.edu.ua

Анотація — у статті розглянуто рішення науково-практичної задачі підвищення ефективності технологічних реакторів ванного типу для виробництва скла на підставі аналізу динаміки температурного режиму та оптимізації роботи систем повітряного охолодження вогнетривких огорожень реакторів.

Ключові слова — скловарна піч; автоматизований контроль температури днища; вейвлет аналіз; корозійні процеси.

I. ВСТУП

При довготривалій експлуатації скловарних печей та інтенсифікації тепло-технологічних процесів зростає і активність корозійних процесів. Внаслідок цього різко знижується стійкість вогнетривкої кладки плавильних реакторів у виробництвах скловиробів. У варильних басейнах скловарних печей особливо інтенсивно руйнується її нижня частина – днище скловарної печі.

Рішення науково-практичної задачі підвищення ефективності технологічних реакторів ванного типу для виробництва скла на підставі аналізу динаміки температурного режиму та оптимізації роботи систем повітряного охолодження вогнетривких огорожень реакторів є своєчасними і мають важливе значення для підвищення безпеки експлуатації плавильних реакторів промислових печей.

II. ОПИС АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

З метою оперативного контролю та діагностики температурного режиму днища скловарної печі розроблено автоматизовану систему на основі сучасних програмно-технічних засобів. В системі передбачено автоматичне вимірювання температур у дванадцяти точках днища скловарної печі, візуалізацію інформації на панелі оператора в щиті управління, автоматичну сигналізацію виходу температур за допустимі межі, побудову трендів і архівування даних, передачу інформації у дорадчу систему аналізу технологічних показників для передбачення кризових явищ та управління системою повітряного обдуву печі.

В системі первинного збору та обробки інформації [1] з температурних перетворювачів ТХА використовується програмований логічний контролер System 100V німецької фірми VIPA.

Давачі температури розміщено в отворах футеровки днища. Кожна термопара оснащена перетворювачами сигналів термодатчиків в уніфікований сигнал 4...20 мА. В системі візуалізації і первинної обробки даних використовується сенсорна панель VIPA Touch Panel із встановленими операційною системою Windows CE Core та SCADA-системою Movicon італійської компанії Progea.

Інформація про значення температури в дванадцяти точках днища скловарної печі виводиться на екран сенсорної графічної панелі оператора, встановленої в щиті управління. В залежності від величини температури в кожній точці автоматично змінюється колір відображення значень температури. Інформація про розподіл температур днища печі передається також на верхній рівень управління.

III. АНАЛІЗ ДАНИХ

Для аналізу трендів зміни температури в різних точках використано вейвлет перетворення. Це перетворення знаходить все більш широке застосування в дослідженні і прогнозі часових рядів. Фактично часовим рядом є будь-яка функція (або сигнал), представлена в окремі моменти часу. Такими дискретними сигналами можуть бути послідовності відліків температури, тиску або інших технологічних параметрів в певні моменти часу. Метод фейвлет-аналізу дає двовимірну розгортку досліджуваного сигналу, де масштаб (частота) і зсув (час) вважаються незалежними змінними. У цьому методі для аналізу даних використовуються швидко спадаючі солітоноподобні функції. Це дозволяє проводити локалізований аналіз структури сигналів, що особливо важливо при вивченні процесів з мінливими в часі характеристиками. Безперервне вейвлет перетворення (CWT – continuous wavelet transform) від функції оригіналу виражається інтегралом

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

де $\psi(t)$ – вейлетоутворююча функція (материнський вейлет), a – параметр частотного масштабування; b – параметр часового зсуву. Таким чином, вейлет перетворення можна розглядати як прототип інтегрального перетворення Фур'є по системі базисних функцій – вейлетів

$$\psi(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right).$$

Спектр $W(a,b)$ одновимірного сигналу являє собою поверхню в тривимірному просторі. Способи візуалізації цієї інформації можуть бути різними. Замість зображення поверхонь часто представляють їх проекції на площину ab , що дозволяють простежити зміну інтенсивності амплітуд вейлет-перетворення на різних масштабах і у часі. Картину ліній, що з'єднують локальні екстремуми (окремо мінімуми і максимуми) поверхні модуля $|W(a,b)|$ називають скейлотонами. Вони чітко виявляють структуру аналізованого процесу. Слід зауважити, що $W(0,b)$ характеризує часову залежність при (при $a=0$), тоді як $W(a,0)$ можна трактувати як частотну залежність при $b=0$.

Розподіл густини енергії задається співвідношенням

$$P_w = |W(a,b)|^2,$$

а залежність

$$E_w = \int_{-\infty}^{\infty} |W(a,b)|^2 db,$$

називають енергограмою.

Положення максимумів на E_w можна інтерпретувати як середній період елементарних подій, що вносять основний внесок в енергію аналізованого процесу.

При дослідженні часових рядів корисно їх подання перетворення у вигляді сукупності послідовних наближень грубої (апроксимуючої) $A_m(t)$ і уточненої (деталізуючої) $D_m(t)$ складових, яка реалізується в алгоритмах дискретного вейлет перетворення

$$S(t) = A_m(t) + \sum_{j=1}^m D_j(t).$$

Пакет Wavelet Toolbox системи MATLAB має засоби для побудови вейлет-спектрів сигналів з покращеною візуалізацією. Спектрограми представляють значення вейлет-коефіцієнтів у площині змінних масштаб-час; при цьому внизу спектрограми розташовані малі значення масштабу (малі номери коефіцієнтів), що представляють детальну картину сигналу, а вгорі – великі значення, що дають загублену картину. Значення коефіцієнтів визначають колір в спектрограмі

Результат обробки даних температурного режиму з використанням сімейства вейлетів Хаара наведено на рис. 1.

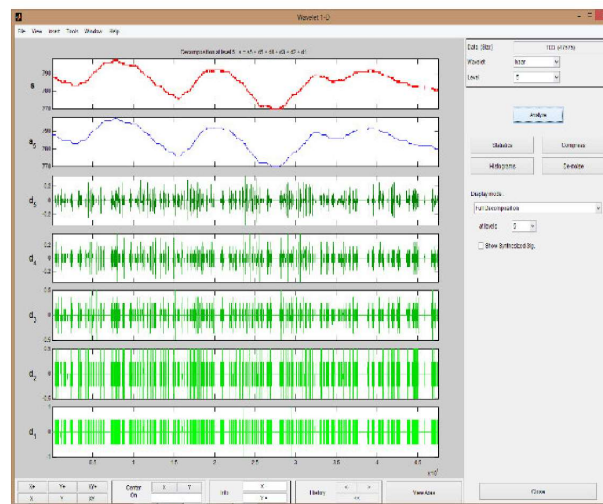


Рисунок 1. Вейлет перетворення Хаара 5 порядку температурного режиму днаща печі

Аналіз результатів підтверджує стабільність температурного режиму печі за даний період часу, так як ознак кризових явищ у вигляді логоперіодичних коливань коефіцієнтів розкладу не спостерігається..

Міжремонтний період експлуатації скловарних печей визначається великою кількістю факторів до яких відносяться технологічні параметри варіння скла та режими і способи обдування огороження басейнів скловарних печей. При підвищенні інтенсивності обдуву підвищується охолоджувальний ефект за рахунок зростання коефіцієнтів теплопередачі, однак зростають експлуатаційні затрати і порушуються технологічні режими [2]. Контроль температур в різних точках днаща печі дає цінну інформацію про інтенсивність корозійних процесів та оптимальність швидкості і тривалості обдуву.

Застосування вейлет-аналізу до даних спостереження за змінами температури на протязі тривалого періоду дозволило виявити тенденцію до підвищення середнього значення температур днаща і приймалося до уваги при ухваленні рішення про виведення скловарної печі на реконструкцію.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Клепач М. І., Полохович О. О. Автоматизована система контролю температурного режиму днаща скловарної печі *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси* : тези сьомої міжнародної науково-практичної конференції. Київ НАУ 2014. С. 82–83.
- [2] Semenov B. A., Ozerov N. A. Minimization of Specific Air Flows in Jet-Cooling Systems for Melting Tank Refractory Barriers in Glass Furnaces. *Glass and Ceramics*. 2016. Вып. № 9. Vol. 72. №№ 9. С. 370–375.