

# ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ВІБРОСИГНАЛУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Вінницький національний аграрний університет

## Анотація

У роботі запропоновано спосіб виявлення типових дефекту обертових електричних машин за допомогою дискретного вейвлет перетворення їх вібросигналу. Запропоновано числовий критерій оцінки впливу зазначених дефектів на коефіцієнти вейвлет-перетворення.

**Ключові слова:** електрична машина, дефект, діагностування, сплеск, вейвлет-перетворення

## Abstract

The paper proposes a method for detecting typical defects of rotating electric machines using a discrete wavelet conversion of their vibration signal. A numerical criterion for estimating the influence of these defects on wavelet transform coefficients is proposed.

**Keywords:** electric machine, defect, diagnosis, burst, wavelet transform

## Вступ

На сьогоднішній день склалася стійка тенденція до побудови систем технічного контролю та діагностування силових електричних машин на основі аналізу їх вібро-акустичних характеристик [1]. Про те здійснення такого аналізу пов'язане з необхідністю розв'язання ряду науково-прикладних задач, які впливають з особливостей вібро-акустичного сигналу, що виникає при роботі електричних машин. Зокрема у складі такого сигналу містяться як періодичні складові різної частоти так і аперіодичні (пікові) складові, обумовлені як наявністю дефектів різної природи так і іншими періодичними та аперіодичними збурюючими силами [2].

Серед існуючих достатньо описаних та вивчених підходів, придатних для аналізу часової реалізації вібросигналу, що може бути отриманий під час роботи реальної електричної машини, можна виділити перетворення Фур'є та дискретне вейвлет перетворення (ДВП). Про те варто відзначити, що перетворення Фур'є математично більш складне за дискретне вейвлет перетворення, а отже потребуватиме більшої кількості операцій для свого здійснення та не передбачає можливості дослідження локалізованих збурень взагалі [3], що робить його мало ефективним для використання у сучасних системах аналізу вібро-акустичних сигналів електричних машин. Тоді як ДВП, будучи у першу чергу адаптованим на виявлення саме локалізованих пікових збурень, не передбачає наявності готових інструментів, призначених для сепарації періодичної та аперіодичної складових. Тож, враховуючи сказане, є очевидним, що розробка нових підходів до виявлення періодичних складових вібросигналу на основі ДВП, які можуть викликатися певними дефектами обертових електричних машин, є актуальною науково-прикладною задачею, вирішення якої дозволить суттєво підвищити ефективність роботи систем технічного моніторингу та діагностування.

## Результати досліджень

Одна з головних ідей вейвлетного представлення сигналів на різних рівнях декомпозиції (розкладання) сигналу полягає в розділенні функцій наближення до сигналу на дві групи: що апроксимує – грубу, з достатньо повільною часовою динамікою змін, і що деталізує – з локальною і швидкою динамікою змін на тлі плавної динаміки, з подальшим їх дробленням і деталізацією на інших рівнях декомпозиції сигналів. Враховуючи те, що обчислення при вейвлет перетворенні здійснюються шляхом зміни масштабу "вікна" аналізу, зсуву його в часі, множення на сигнал та інтегрування по всій осі часу [4], то фізичний зміст такого перетворення можна представити як пошук ділянок вібро-акустичного сигналу у часовій та частотній областях, що викликаються різними типами дефектів електричних машин і за своєю формою будуть корельованими з обраною материнською вейвлет-функцією.

При здійсненні дискретного вейвлет перетворення коефіцієнти деталізації можуть бути розраховані наступним чином [4]:

$$d_k^j = \sum_{n \in Z} g_{n-2k} \cdot c_n^{j+1}, \quad (1)$$

де  $d_k^j$  –  $k$ -й коефіцієнт деталізації  $j$ -ї частотної смуги;  $g$  – коефіцієнт материнської вейвлет функції;  $c^{j+1}$  – апроксимуючий коефіцієнт попередньої частотної смуги, розраховуються наступним чином:

$$c_k^j = \sum_{n \in Z} h_{n-2k} \cdot c_n^{j+1}, \quad (2)$$

де  $h$  – коефіцієнт масштабуючої функції;

Основною задачею, що була сформульована у межах пошуку критерію виявлення дефектів обертової електричної машини, є розробка числового критерію аналізу коефіцієнтів вейвлет перетворення. Враховуючи періодичність вібро-акустичного сигналу, обумовленого наявністю зазначеного дефекту, а також ту обставину, що кожне із періодичних коливань доцільно представляти як окремих сплеск, варто очікувати періодичну зміну значень вейвлет коефіцієнтів у часовій області в межах смуг частот, що включають у себе частоту дефекту. При чому амплітуди таких періодичних змін будуть напряму пов'язані з ступенем розвитку дефекту. Тож, при виконанні наступної нерівності:

$$t_{cn} \gg T_d, \quad (3)$$

де  $t_{cn}$  – тривалість часової реалізації досліджуваного сигналу;  $T_d$  – період віброколиваний, обумовлених наявністю відповідного дефекту.

доцільним є застосування інтегрального підходу до аналізу коефіцієнтів вейвлет перетворення. Відтак, у якості шуканого критерію може бути використано середньо-квадратичне значення вейвлет коефіцієнтів досліджуваних частотних смуг у межах часового інтервалу, тривалість якого значно більша за період напруги живлення. Такий підхід дозволить врахувати наявність як додатних так і від'ємних максимумів вейвлет коефіцієнтів у межах досліджуваного часового інтервалу, а також характеризуватиметься пониженою чутливістю до неінформативних збурень, обумовлених аперіодичними збурюючими діями, що можуть виникати в процесі експлуатації електричної машини. Виходячи з сказаного, математично числовий критерій оцінки впливу дефекту на коефіцієнти вейвлет-перетворення зазначених частотних смуг може бути представлений наступним чином:

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \text{ при умові } t_{cn} \gg T_d, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість коефіцієнтів вейвлет перетворення досліджуваної частотної смуги;  $d_i$  –  $i$ -й коефіцієнт вейвлет перетворення досліджуваної частотної смуги.

З метою підтвердження неведених вище теоретичних міркувань було проведено експериментальне дослідження з використанням асинхронної електричної машини АИМ90ЛаВУ2.5, номінальною потужністю 0,75кВт. З метою зниження амплітуди електромагнітної складової вібрації зазначене експериментальне дослідження проводилося для режиму холостого ходу. Ємнісний мікромеханічний акселерометр було закріплено на корпусі електричної машини таким чином, щоб вимірювальна вісь сенсора були строго перпендикулярними до осі ротора та напрямлена строго вертикально. Частота дискретизації сигналу становила 232 Гц, довжина часової реалізації досліджуваного сигналу –  $2^{14}$  значень.

При перетворенні отриманого сигналу віброприскорення за допомогою вейвлета Хаара та подальшого розрахунку середньо-квадратичного вейвлет коефіцієнтів для кожної із частотних при роботі електричної машини у штатному режимі та обриві фази А було отримано наступні результати, наведені на рис. 1 та рис. 2.

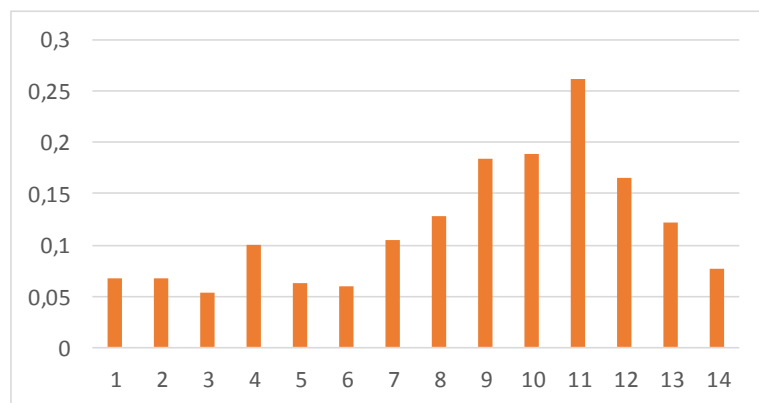


Рис. 1 – Залежність середньоквадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X при роботі електродвигуна у штатному режимі

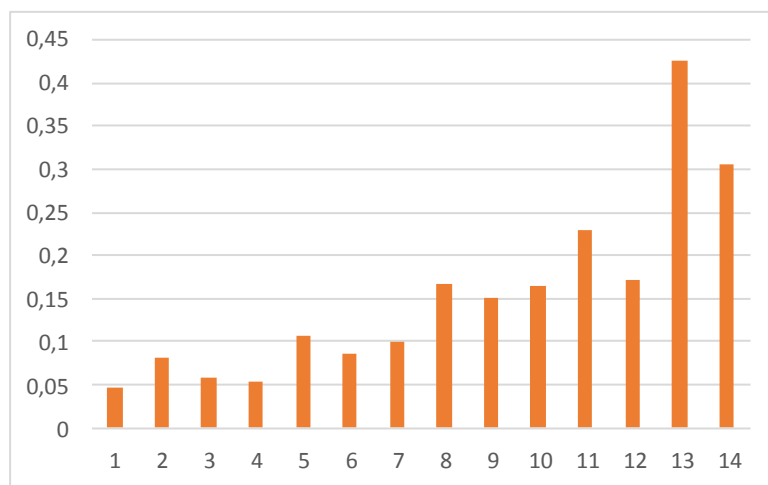


Рис. 2 – Залежність середньоквадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X при обриві фази А

### Висновки

1. Запропоновано числовий критерій оцінки впливу дефектів обертових електричних машин на коефіцієнти вейвлет-перетворення у вигляді середньо квадратичного значення вейвлет коефіцієнтів інформативної частотної смуги при дослідженні часового інтервалу, що значно перевищує період прояву досліджуваного дефекту. Показано, що зазначений критерій має понижено чутливість до впливу неінформативних одиничних збурень, які можуть виникати в процесі роботи електричної машини.

2. Експериментально доведено високу інформативність запропонованого числового критерію оцінки впливу дефектів на коефіцієнти вейвлет-перетворення на прикладі дефекту роботи асинхронного двигуна в однофазному режимі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Левицький А. С. Підвищення ефективності діагностування потужних гідроагрегатів за рахунок застосування ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів / А. С. Левицький // Гідроенергетика України – 2010 – № 4 – С. 10-13.

[2] Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Москва: Машиностроение. 1996 – 276 с.

[3] Polikar R. The Wavelet tutorial. Roma: Rowan University, College of Engineering Web Servers, 2001. – 79 p.

[4] Кухарчук В. В., Кацив С. Ш., Граняк В. Ф. та ін. Дискретні вейвлет-перетворення в діагностуванні гідроагрегатів/ Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2018. – 112 с.

**Граняк Валерій** — к.т.н., доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Вінницького національного аграрного університету, м. Вінниця e-mail: [titanxp2000@ukr.net](mailto:titanxp2000@ukr.net)

**Granyak Valeriy** - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia e-mail: [titanxp2000@ukr.net](mailto:titanxp2000@ukr.net)