

ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ЛОПАТОК ТУРБИНИ ГПА МЕТОДОМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ЇЇ ВІБРОСИГНАЛУ

М.М.Дранчук, Р.Б.Форкуца, С.М.Дранчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067
e-mail: atp@ifdtung.if.ua

Стаття присвячена використанню методу wavelet-transform (вейвлет-перетворення) сигналів для виявлення дефектів лопаток робочого колеса турбіни газоперекачувального агрегату під час його роботи в умовах високих механічних навантажень і температур.

Статья посвящена использованию метода wavelet-transform (вейвлет-преобразования) сигналов для обнаружения дефектов лопаток рабочего колеса турбины газоперекачивающего агрегата при его работе в условиях высоких механических нагрузок и температур

Article dedicated to the using of the method of wavelet-transform, wich helps to detect defects of blade turbine wheel gas unit. The are associated with the fact, that the weel works in conditions of high mechanical loads and temperatures.

I. Вступ

Газоперекачувальний агрегат є основним елементом компресорної станції, а, отже, його технічний стан є визначальним чинником у надійності її роботи і газотранспортної системи загалом. Одним з суттєвих параметрів, що забезпечують надійність його експлуатації, є вібростан ГПА. Тому для забезпечення довготривалої безвідмовної роботи агрегату потрібно проводити постійний віброконтроль і вібродіагностику, адже його вузли працюють в умовах високих тисків, температур та високих механічних навантажень. Одною з основних відмов ГПА є втомна деформація лопаток робочого колеса турбіни або їх злам. Отже, головною метою цієї статті буде показати методологію передбачення дефекту в стадії його зародження, що дасть можливість уникнути відмови агрегату. Вирішення цієї проблеми є дуже важливим, оскільки робота із заміни робочого колеса ГПА є досить витратною і призводить до довготривалого виведення агрегату з експлуатації.

II. Постановка завдання

У цій статті буде розкрито метод діагностування вібраційних дефектів робочого колеса ГПА на основі використання вейвлет-перетворення вібросигналу турбіни агрегату. Це перетворення використовуватиметься для фільтрування вхідного сигналу з вібродавачів від завад та розбиття його на високочастотну та низькочастотну складові. Існування таких завад, в першу чергу, зумовлюється конструктивними особливостями агрегату, які не дозволяють чітко розділити джерела вібрацій, якими є його віброактивні елементи. Це розкладання дасть можливість передбачити дефекти лопатки, про які свідчитиме поява періодичних піків.

III. Результати

Вейвлет-перетворення сигналів [2,3] є узгальненням спектрального аналізу, типовим

представником якого є класичне перетворення Фур'є. Використані для цієї мети базисні названі вейвлетами – солітоноподібними функціями двох аргументів – масштабу і зсуву. На відміну від традиційного перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення забезпечує двовимірне представлення досліджуваного сигналу в площині частота-положення. Аналогом частоти при цьому є масштаб аргументу базисної функції (найчастіше – часу), а положення характеризується її зміщенням. Це дає змогу розділяти значні та дрібні деталі сигналів, одночасно локалізуючи їх на часовій шкалі. Іншими словами, вейвлет-аналіз можна охарактеризувати як локалізований спектральний аналіз. Таким чином базисна функція вейвлет є коротким солітоноподібним коливанням, яке можна представити функцією

типу $\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$, де b – зміщення, a – масштаб.

Вейвлет можна розуміти як ортогональний базис розкладання функції у функціональному гільбертовому просторі. Його елементами визначаються параметрами a , b і задаються виразом:

$$\Psi_{a,b} = \pi^{-1/4} |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right);$$

Для створення функції вейвлета можна використати її основний варіант, відомий як функція Марле, яку можна записати у вигляді:

$$\Psi = e^{t^2 2\pi f_0 |t| e^{-\frac{|t|^2}{2}}}, \quad (1)$$

де $f_0 = 1/2\sqrt{\ln 2} \Gamma \approx 0.6 \Gamma$, t – час, с.

Аналіз функції (1) свідчить, що вона є гар-

монікою з частотою f_0 під вікном $e^{-\frac{|t|^2}{2}}$. Її форма є близькою до форми вікна Габора – гауссівського дзвоника. Співвідношення між ефективною шириною і періодом гармоніки

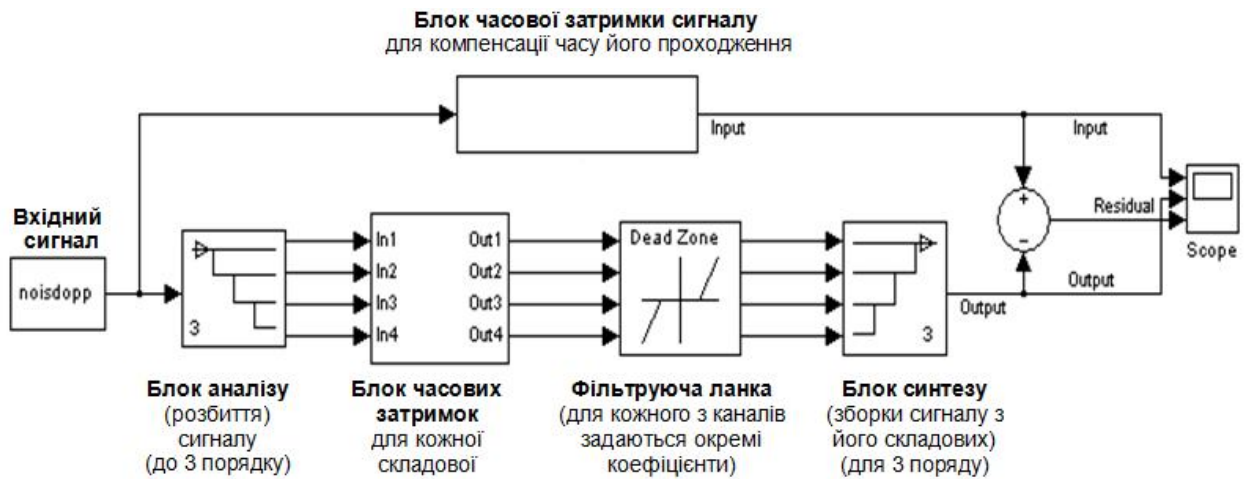


Рисунок 1 – Структурна схема реалізації алгоритму Малла в програмному продукті MatLab

задає значення f_0 . Для максимальної роздільної здатності аналізу за часом це співвідношення вибирають рівним одиниці, тобто ефективна ширина вікна в часовій області буде рівною періоду гармоніки, що аналізується.

Прийmemo значення параметра шкали $a=2^{-j/B}$ і параметра часової локалізації $b=2^{j/B}k$, де: j, k – натуральні числа, B – кількість смуг, які аналізуються на октаву [1]. Тоді вираз для коефіцієнтів декомпозиції сигналу $x(t)$ в базисі $\Psi_{a,b}(\Psi_{j,k})$ набуде вигляду

$$W_{jk} = \int dt x(t) \Psi_{jk}^*(t),$$

$$\Psi_{jk}(t) = \pi^{-1/4} 2^{j/2B} \exp(-h^2 (2^{j/B} n - k)^2 / 2) \times \exp(i2\pi f_0 |2^{j/B} n - k|),$$

або

$$W_{jb} = \int dt x(t) \Psi_{jb}^*(t), \quad (2)$$

$$\Psi_{jh}(t) = \pi^{-1/4} 2^{j/2B} \exp(-2^{j/B} h^2 (n - b)^2 / 2) \times \exp(i2\pi f_0 2^{j/B} h |n - b|), \quad (3)$$

де: B – кількість смуг на одну октаву, n – поточний номер відліку на реалізації, b – номер відліку, що відповідає максимуму вікна короткої хвилі на реалізації, $*$ – позначає процедуру комплексного спряження.

Проаналізувавши вирази (2), (3) можна зробити висновок, що вейвлет-декомпозиція для вибраних значень $j = B \log_2(f / f_0)$ стає схожою на перетворення Фур'є на коротких реалізаціях (Short Time FFT), але з специфічним усереднюючим вейвлет-вікном

$$\pi^{-1/4} 2^{j/2B} \exp(-2^{j/B} h^2 (n - b)^2 / 2).$$

Це і є головною відмінністю вейвлет-перетворення від удосконаленого, швидкого перетворення Фур'є на коротких реалізаціях.

Практична реалізація вейвлет-перетворень має декілька основних алгоритмів, з яких найбільш популярним є алгоритм Малла (Mallat algorithm) швидкого вейвлет перетворення. Він дає змогу в реальному часі проводити аналіз сигналу, його розділення на складові та відтво-

рення за коефіцієнтами. Цей алгоритм є реалізованим в програмному пакеті MatLab і дає можливість провести фільтрацію сигналу від випадкових шумів. На рис. 1 зображено структурну схему моделі цього перетворення.

На виході цієї системи ми отримуємо три сигнали: зміщений у часі вхідний сигнал Input, відфільтрований сигнал Output та сигнал розузгодження Residual, що, по суті, є відфільтрованими шумами.

Для розбиття отриманого відфільтрованого сигналу використаємо програму, створену на вбудованій мові програмування середовища MatLab, блок схема якої наведена на рис. 2.

Розглянемо детальніше цю блок-схему. Після того, як було завантажено вхідний сигнал, визначаємо коефіцієнти апроксимації та деталізації. Для цього використовується процедура однорівневого дискретного розкладання даних, заданих вектором, за базисом вейвлет-функції. У нашому випадку вектор s – це вектор вхідного сигналу, $db1$ – базисний вектор. Далі проводимо однокрокове відтворення сигналу за цими коефіцієнтами і отримуємо два сигнали $a1$ та $d1$. Для цього використовується функція *ircoef*, яка обчислює коефіцієнти апроксимації та деталізації вхідного вектора в базисі вейвлет-функції з використанням n -крокової ітерації. Також дана функція включає додатковий параметр, що записується в одиничних лапках і вказує, який коефіцієнт розраховується – апроксимуючий чи деталізації ('a', 'd' відповідно), а параметр ls вказує на розмірність вхідного вектора s . Перетворення Добеші являє собою багаторівневе дискретне розкладання даних за базисом вейвлет-функції *db1*. На вбудованій в MatLab мові програмування для такого перетворення використовується функція *wavedec*, вихідними параметрами якої є вектор c , що містить коефіцієнти даного розкладання, та вектор l , кожний з елементів якого визначає відповідну йому кількість коефіцієнтів розкладання на три рівні.

Далі знаходимо наближуючі коефіцієнти для третього рівня і детальні коефіцієнти для першого-третього рівнів з використанням фун-

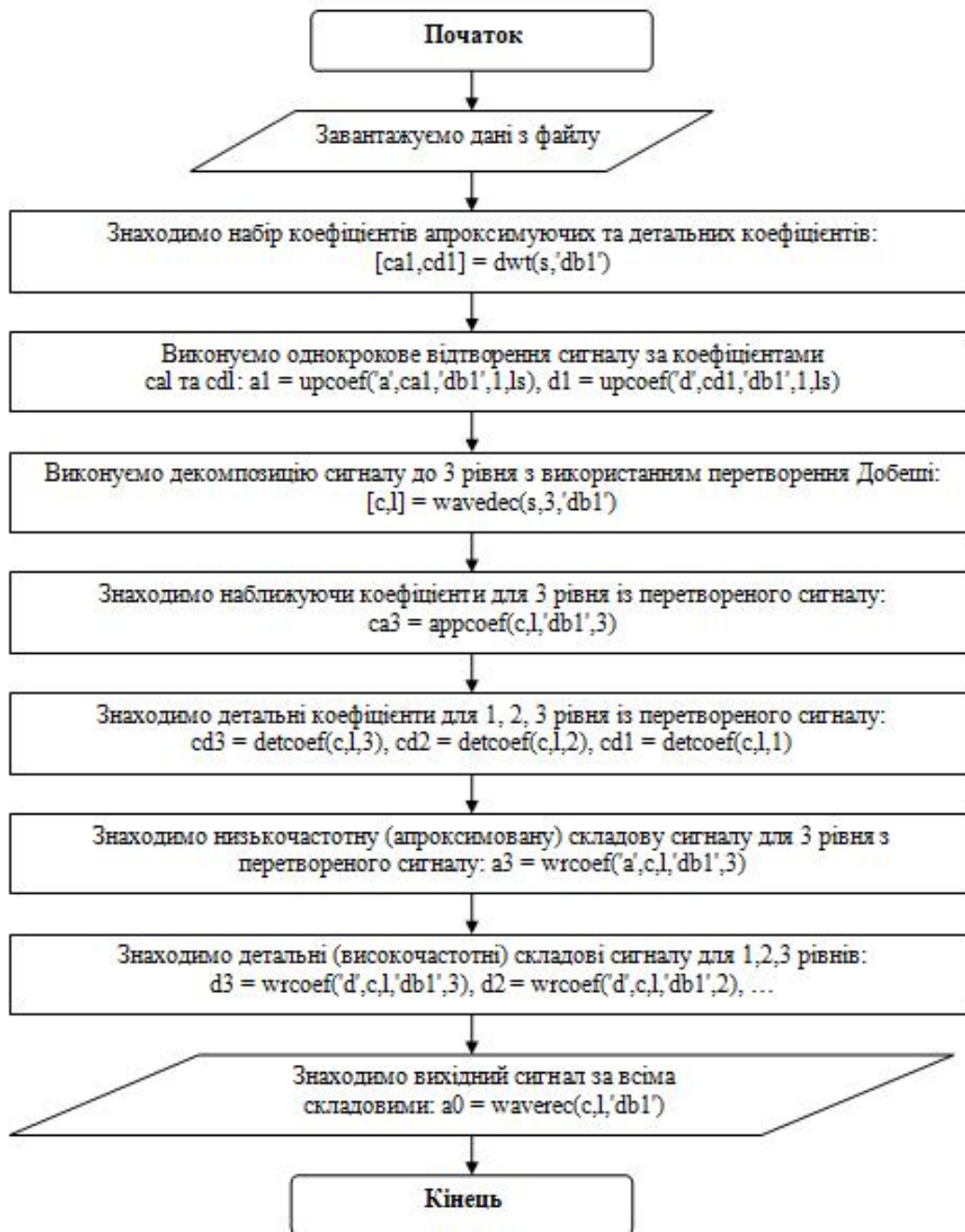


Рисунок 2 – Блок-схема виконання програми розбиття вібросигналу на низькочастотну та високочастотні складові

кцій *appcoef* і *detcoef* відповідно. Основними параметрами цих функцій є вектори, отримані за допомогою функції *wavedec*, та число, що вказує на рівень. На відміну від *detcoef* *appcoef* володіє ще й параметром, що вказує на базисну вейвлет-функцію. Для отримання низькочастотної та високочастотних складових за трьома рівнями використовується функція *wrcoef*, а для отримання вихідного сигналу за всіма складовими *waverec*.

За допомогою цієї програми здійснюється розділення вібросигналу на низькочастотну та три високочастотні складові 3-х рівнів. Провівши швидке перетворення Фур'є (ШПФ) високочастотних складових, можна легко візуально

виділити гармоніки вищих порядків, які свідчать про лопаткову вібрацію ГПА. Залежно від рівня цих гармонік можна зробити висновок про стадію розвитку лопаткових дефектів.

Застосувавши даний алгоритм до вібросигналу, отриманого з корпусу турбіни ГПА, було отримано результати, зображені на рис. 3.

На рис. 4 зображені перетворені сигнали.

Отже, провівши вейвлет-перетворення вихідного сигналу давача (рис. 3), який відображає високочастотні деталі, можна помітити появу чітких періодичних піків, що можуть свідчити про наявність дефектів лопаток турбіни ГПА. Слід зазначити, що на вихідному сигналі давача цю тенденцію помітити не можна.

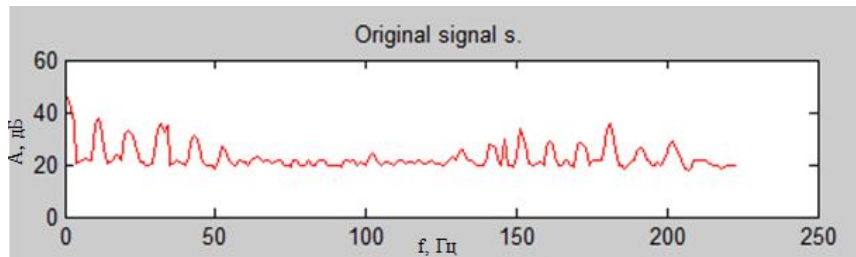
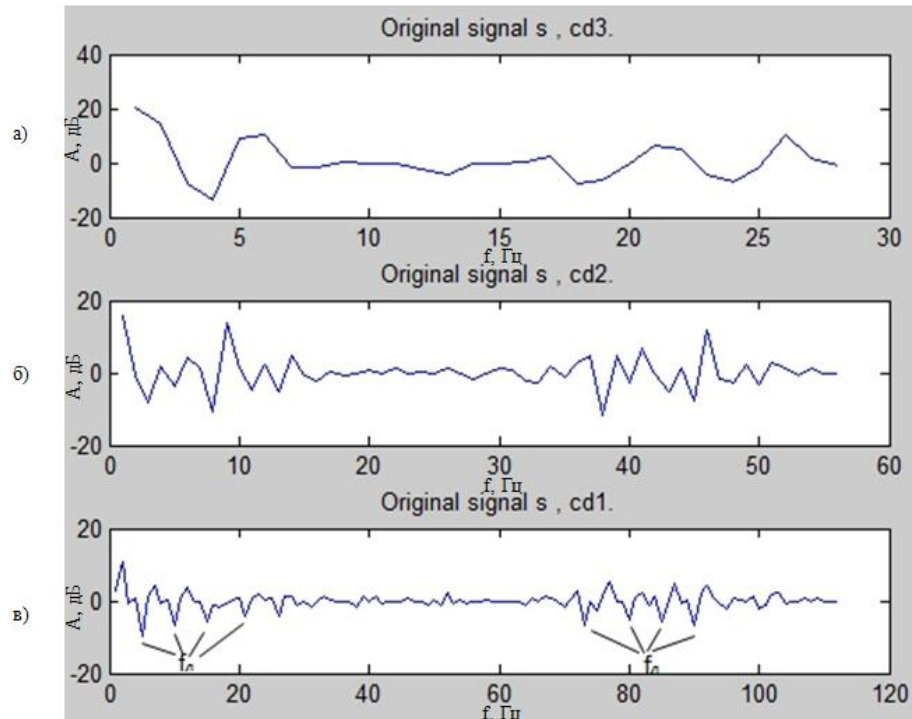


Рисунок 3 – Вхідний вібросигнал



а – сигнал, який відображає загальні риси вхідного сигналу, б – усереднений сигнал, в – деталізований сигнал

Рисунок 4 – Високочастотні складові сигналу за 1-3 рівнями

Висновки

Представлений метод вейвлет-перетворення вібросигналу, реалізований за допомогою алгоритму Малла в програмному пакеті MatLab, дає можливість отримувати відділений від шумів сигнал Output, аналіз якого в реальному часі дає змогу оцінити зародження, рівень та розвиток дефектів вузлів ГПА (наприклад, лопаток робочого колеса турбіни). Це, в свою чергу, дасть можливість запобігти аварії та вивести агрегат з експлуатації для проведення капітальних ремонтних робіт.

Використання результатів цих досліджень можуть бути використані для синтезу системи автоматичного виявлення і контролю таких дефектів.

Література

1 Заміховський Л.М. Розробка систем автоматичного діагностування газоперекачувального агрегату / Іванишин В.П. // Методи і засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ, 1999.

2 Смоленцев Н.В. Основи теорії вейвлетів. Вейвлети в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 403с.

3 Інтернет ресурси: <http://www.wavelet.org/>, <http://www.nsu.ru>.

4 Іванишин В.П. Контроль вібраційного стану газоперекачувальних агрегатів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.13 – “Прилади і методи контролю та визначення складу речовин” / В.П. Іванишин. – Івано-Франківськ, 2005. – 20 с.

Стаття постуила в редакційну колегію
13.05.09

Рекомендована до друку професором
Семенцовим Г.Н.