

УДК 681.518.54

С.В.МИХАЛКІВ

Українська державна академія залізничного транспорту, м.Харків

**УДОСКОНАЛЕННЯ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ПІДШИПНИКОВИХ
ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ
ВЕЙВЛЕТНОГО АНАЛІЗУ**

Розглядається використання нового методу вейвлетного аналізу для вдосконалення проведення вібродіагностики підшипникових вузлів електричних машин транспортних засобів. Пропонується використовувати як діагностичні ознаки середньоквадратичне відхилення та ентропію вейвлетних коефіцієнтів.

Одним з розповсюджених елементів будь-якої механічної системи є підшипникові вузли, від технічного стану яких безпосередньо залежить надійність транспортного засобу. Враховуючи важкі умови праці останніх, виникає необхідність систематичного контролю їх технічного стану. Однак періодичні відкривання вузлів для огляду і викачування блоків і машин для ревізії викликають зростання трудомісткості та вартості ремонту. Отже, періодичний контроль за станом усіх елементів підшипникового вузла необхідно виконувати без їхнього демонтажу та відкривання шляхом комплексної, нерозбірної діагностики.

Віброакустичній діагностиці вузлів транспортних засобів присвячена робота [1] з описанням практичних реалізацій діагностуючих комплексів. Деякі моменти, пов'язані з теоретичним обґрунтуванням та експериментальним підтвердженням діагностичних ознак, які використовуються при вібродіагностиці підшипників кочення, висвітлені в роботі [2]. Відносно новий вейвлетний метод висвітлений в оглядовій роботі [3]. В [4] наводиться теоретичне і практичне описання вейвлетів. Однак у цих дослідженнях недостатньо розкриті питання, пов'язані з використанням вейвлетного перетворення для обробки діагностичних сигналів. Лише в роботі [5] зроблена спроба використання даного методу з метою фільтрації сигналу, генерованого підшипниковими вузлами для отримання корисної складової вібрації. Отже, питання застосування вейвлет аналізу в цілях вібродіагностики підшипникових вузлів є актуальними.

При аналізі стаціонарних сигналів застосовується алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [1]. У реальних процесах преvalюють нестационарні сигнали. Традиційний спектральний аналіз, незважаючи на прийняту низку заходів, є неефективним щодо аналізу даного типу сигналів. Застосування алгоритмів аналізу з ковзними вікнами (вейвлетами) дозволяє істотно збільшити роздільну здатність аналізу в часовій області із збереженням досить високої роздільної

здатності в частотній області [4]. Тому мета даної статті – дослідження еволюції сигналів вібрації у вигляді отримання нових діагностичних ознак на прикладі вейвлетного аналізу вібраційних сигналів підшипників кочення.

Основна ідея вейвлетного представлення сигналів полягає у розбитті наближення до сигналу на дві складові: апроксимуючу та деталізовану, з подальшим їх уточненням ітераційним методом [6]. Кожний крок такого уточнення відповідає певному рівню декомпозиції та реставрації сигналу. Це можливе як у часовій, так і в частотній областях представлення сигналів вейвлетами. В основі вейвлетного перетворення лежить використання двох неперервних функцій:

- вейвлет-функція $\psi(t)$ з нульовим значенням інтегралу

$$\left(\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \right), \text{ яка визначає деталі сигналу і утворює деталізовані}$$

коефіцієнти;

- масштабна або скейлінг-функція $\varphi(t)$ з одиничним значенням

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1, \text{ яка визначає грубе наближення (апроксима-$$

цію) сигналу і породжує коефіцієнти апроксимації. Функція $\psi(t)$ утворюється на основі тієї чи іншої базисної функції $\psi_0(t)$, яка, як і $\psi(t)$, визначає тип вейвлету. Базисна функція має задовольняти всім вимогам, які були висунуті до $\psi(t)$. Вона повинна забезпечувати виконання двох основних операцій:

- зміщення по осі часу $t - \psi_0(t - b)$ при $b \in R$;

- масштабування $- a^{-\frac{1}{2}} \psi_0\left(\frac{t}{a}\right)$ при $a > 0$ та $a \in R^+ - \{0\}$.

Параметр a задає ширину цього пакету, а b – його положення. В наступному виразі відображені ці дві властивості

$$\psi(t) \equiv \psi(a, b, t) = a^{-\frac{1}{2}} \psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (1)$$

Формула (1) є материнським вейвлетом, який породжує цілу низку вейвлетів визначеного типу. Щодо сигналів як функцій часу, параметр $b \in R$ задає положення вейвлетів на часовій осі, а параметр a

визначає рівень масштабування. Тому визначення вейвлетних коефіцієнтів вібраційних сигналів може бути використане як нові діагностичні ознаки технічного стану підшипників.

Як об'єкт дослідження було обрано підшипники кочення серії 80-32330М, встановлені на тяговому електричному двигуні ЕД-118А вантажного тепловозу 2ТЕ116. Проводився вейвлетний аналіз сигналів в системі MATLAB [7], генерованими справним і несправним (тріщина зовнішнього кільця) підшипниками. Для визначення вейвлетних коефіцієнтів сигналів був обраний їхній фрагмент, довжиною 4096 відрхунків і застосований вейвлет Добеші db4. Розкладання сигналів проводилось до рівня $N = 3$. Також додатково були обчислені компоненти сигналу ScD1, ScD2, ScD3, які відповідають знайденим вейвлетним коефіцієнтам cD1, cD2, cD3, і їх середньоквадратичні відхилення. Результати обчислень зведені в табл.1.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики досліджених сигналів

Підшипники	Вейвлет-коефіцієнти			Компоненти сигналу		
	cD1	cD2	cD3	ScD1	ScD2	ScD3
Справний підшипник (С)	0,082	0,104	0,395	0,041	0,074	0,139
Дефектний підшипник (Д)	0,051	0,07	0,158	0,025	0,044	0,07
Відношення С / Д	1,61	1,5	2,5	1,64	1,7	2

Слід зазначити, що стандартні відхилення вейвлет-коефіцієнтів двох різних підшипників відмінні майже в два рази. Тому вони несуть в собі діагностичну значимість.

Для отримання нових числових характеристик вібраційних сигналів можна також використовувати пакетні вейвлет-коефіцієнти і відповідні компоненти сигналів, як це робилося вище. Однак пакетне вейвлет-розкладання дає можливість отримання ще однієї числової характеристики – значення ентропії коефіцієнтів у вузлах дерева розкладання. Для цього необхідно зробити пакетне перетворення до 3-го рівня з вейвлетом Добеші db4 і визначити значення ентропії Шеннона у всіх термінальних вузлах дерева, крім першого вузла (3,0), який містить апроксимацію сигналу. Значення ентропії пакетних вейвлет коефіцієнтів наведені в табл.2.

Різниця значень ентропії пакетних вейвлет-коефіцієнтів дефектного і справного підшипників ще вища ніж для статистичних характеристик (табл.1). Тому цей показник також може бути використаний в якості діагностичної ознаки.

Для візуалізації вейвлетного перетворення наведемо вейвлетну

спектрограму вібраційного сигналу підшипникового вузла (рис.1), особливістю якого є представлення одновимірного сигналу у вигляді проекції на площину ab з ізолініями або ізорівнями, які дозволяють прослідкувати зміну інтенсивності амплітуд вейвлет-перетворення на різних масштабах і в часі з демонстрацією найдрібніших деталей частотного образу сигналу [3].

Таблиця 2 – Значення ентропії пакетних вейвлет-коефіцієнтів

Підшипники	Значення ентропії в термінальних вузлах						
Індекси вузлів	(3.1)	(3.2)	(3.3)	(3.4)	(3.5)	(3.6)	(3.7)
Дефектний підшипник (Д)	12,359	7,0557	14,862	8,0763	15,58	20,268	18,869
Справний підшипник (С)	4,577	2,352	3,911	5,769	8,2	6,142	5,56
Відношення Д/С	2,7	3,0	3,8	1,4	1,9	3,3	3,4

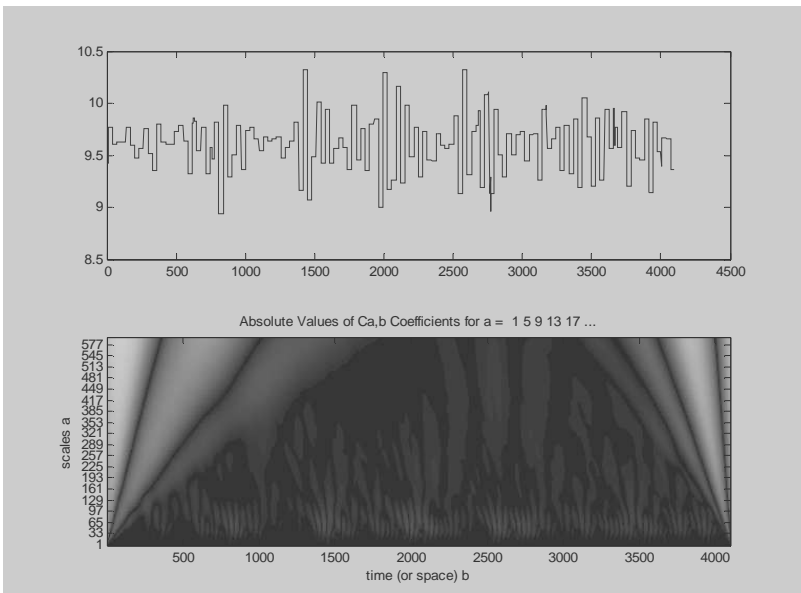


Рис.1 – Вейвлетна спектрограма вібраційного сигналу підшипникового вузла

Для більшої наочності можна побудувати тривимірний графік отриманої матриці коефіцієнтів (рис.2).

Враховуючи вищезазначене, доцільно проводити більш глибокі дослідження щодо використання вейвлетного аналізу для вібродіагно-

стики підшипникових вузлів і тягових редукторів на залізничному та міському транспорті.

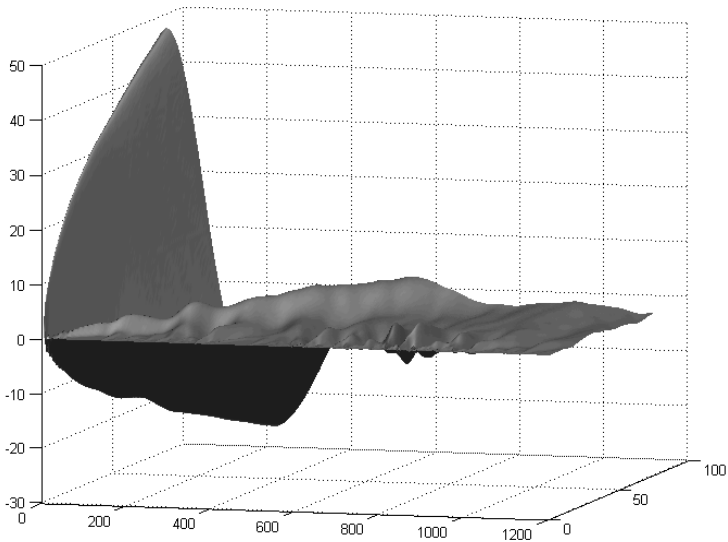


Рис.2 – Графік вейвлет-коефіцієнтів вібраційного сигналу підшипникового вузла

Нині співробітниками кафедри ЕРРС УкрДАЗТ проводяться дослідні випробування даної методики в опорних локомотивних депо Південної залізниці.

Таким чином, на підставі проведених досліджень і виконаних розрахунків було визначено переваги використання вейвлетного аналізу у вигляді отримання принципово нових характеристик досліджуваних сигналів, які є більш інформативними і несуть в собі структуровану діагностичну інформацію.

Визначені статистичні характеристики і значення ентропії пакетних вейвлет-коефіцієнтів можуть бути використані як нові діагностичні ознаки для аналізу технічного стану досліджуваного вузла під час проведення вібродіагностики.

1.Барков А.В. и др. Вибрационная диагностика колесно-редукторных блоков на железнодорожном транспорте. – СПб.: СПбГМТУ, 2002. – 98 с.

2.Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. – К.: Наукова думка, 1992. – 196 с.

3.Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. – 1996. – Т.166, № 11. – С.1145-1170.

4. Яковлев А.Н. Основы вейвлет-преобразования сигналов. – СПб.: Питер, 2003.
5. Jiri Vass, Cristina Cristalli. Bearing fault detection for on-line quality control of electric motors // 10th TC10 IMEKO Conference on Technical Diagnostics, 2004. – P.47-53.
6. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН - Р, 2004. – 448 с.
7. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

Отримано 30.06.2006

УДК 656.13.072

Е.Е. ВАКУЛЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ УТОМЛЯЕМОСТИ ПАССАЖИРОВ

Рассматривается влияние транспортной утомляемости пассажиров на выбор транспортных средств на маршрутах. По изменению функционального состояния пассажира, в процессе осуществления поездки, можно определить степень его утомляемости. Функциональное состояние пассажира в периоды ожидания и осуществления поездки, описывается следующими транспортными параметрами: время ожидания поездки, время передвижения, коэффициент заполнения салона. Предлагается определять степень утомляемости пассажира для каждой величины вместимости транспортного средства, и отдавать предпочтение той марке, для которой данный показатель наименьший.

Качество перевозок влияет на физическое состояние пассажиров, продуктивность их работы и отдых. При проведении мероприятий, направленных на повышение качества перевозочного процесса, следует учитывать транспортную утомляемость пассажиров при осуществлении поездки.

Вопросами организации перевозок пассажиров в городах занимались М.Е. Антошвили, Л.Л. Афанасьев, В.К. Доля, И.В. Спирин, С.М. Цукерберг [1-4] и др.

При решении комплекса задач, связанных с организацией пассажирских перевозок, следует учитывать марку и количество транспортных средств на маршруте, влияющих на потери времени населения при передвижении и степень транспортной утомляемости.

В работе [1] предложены методы определения оптимального количества автобусов для группы маршрутов и распределения одномарочного парка автобусов. В качестве критерия при определении оптимального количества автобусов заданной вместимости выбран минимум народнохозяйственных затрат, включающих затраты транспортных предприятий на организацию перевозочного процесса и затраты времени ожидания пассажиров на остановках в стоимостном выражении.