

ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ВБУДОВАНИХ ФУНКЦІЙ МОД ВІБРАЦІЇ ПІДШИПНИКА КОЧЕННЯ КОМПЛЕКСНИМ ІНДИКАТОРОМ ОЦІНЮВАННЯ

Пузир В.Г., Михалків С. В., Лобко І. М., Черкашин О. П.
Український державний університет залізничного транспорту, (м. Харків)

Puzyr Volodymyr, Mykhalkiv Serhii, Lobko Ihor, Cherkashyn Oleksandr. Identification of informative intrinsic mode functions of the vibration of rolling bearing by the complex evaluation indicator.

Summary. *The vibration signals of rolling bearing contain important information which can be used for the diagnosis of faults. These signals are usually noisy and masked by other sources and therefore the information about the fault can be lost. The original vibration signal is decomposed by ICEEMDAN, and the most informative intrinsic mode function is selected using complex evaluation indicator. Keywords: Bearing, decomposition, fault, indicator, vibration*

Одним із найбільш критичних компонентів у механічних вузлах рухомого складу є підшипники кочення, які часто зазнають пошкоджень через високі навантаження, неякісний монтаж та можуть призводити до аварійних зупинок внаслідок відмов. Із появою пошкоджень на внутрішній або зовнішній доріжках, на поверхні тіл кочень буксових підшипників виникають послідовності імпульсних відгуків, які створюють резонансні збудження. Оскільки вібраційні сигнали містять велику кількість інформації, яка стосується технічного стану підшипників кочення, методи вібраційного діагностування є одними з найбільш дієвих у діагностуванні пошкоджень і широко використовуються у промислових застосуваннях.

Зареєстровані вібраційні сигнали здебільшого є нелінійними й нестационарними і для їх аналізу застосовуються методи адаптивного розкладання сигналів, які мають достатню декомпозиційну гнучкість. Сигнали, розкладені на вузькочастотні компоненти, є привабливими з точки зору частотно-часового аналізу. Наприклад, багатокомпонентні сигнали можуть розкластись на амплітудо- й частотно модульовані компоненти, із яких цілком реально отримати миттєву частоту та миттєву амплітуду завдяки залученню перетворення Гільберта. Однак на практиці нестационарні та нелінійні вібраційні сигнали з ознаками пошкоджень підшипників кочення зазвичай наповнені шумом, тому актуальним завданням є удосконалення методів виявлення пошкоджень підшипникових вузлів рухомого складу.

Одним із часто вживаних є метод розкладання сигналу за емпіричними модами, якому властива адаптивність, відсутня потреба в сторонніх материнських функціях і можливе саморозкладання вібраційної реалізації на низку коливальних компонентів, які називають вбудованими функціями мод (ВФМ). Головним недоліком цього методу є змішування коливальних компонентів, що пов'язано з входженням до складу однієї ВФМ декількох компонентів на різних масштабах, або компоненти із одним масштабом можуть з'явитись у різних ВФМ, що в результаті унеможлиблює ВФМ визначати окремі частотні складові, які є ознаками пошкоджень елементів підшипників кочення на ранніх стадіях. Більш досконалий метод розкладання сигналу за ансамблем емпіричних мод дозволив позбутись обмежень попереднього методу завдяки додаванню до вібраційної реалізації білого шуму з подальшою реалізацією розкладання за емпіричними модами. У результаті отримано ансамбль розкладань із розрахунком середнього значення кожного ансамблю для отримання дійсної ВФМ. Іншим суттєвим удосконаленням розкладання за емпіричними модами є метод додаткового розкладання за ансамблем емпіричних мод із адаптивним шумом, який спершу додає різні реалізації білого шуму до вібраційного сигналу з подальшою реалізацією методу розкладання за емпіричними модами відповідних

ансамблів. Для визначення дійсних ВФМ обирають середні значення кожного ансамблю. Особливістю останнього методу є використання білого шуму у певному частотному діапазоні, яке покликане скоротити присутність шуму у ВФМ після усереднення. Удосконалене додаткове розкладання за ансамблем емпіричних мод із адаптивним шумом (ICEEMDAN) є найбільш сучасним методом і додає шумову складову до залишкового сигналу, що суттєво знижує кінцеву шумову складову в отриманих ВФМ.

Отримані у роботі ВФМ за результатами реалізації ICEEMDAN наповнені високочастотною компонентою на верхніх рівнях розкладання, а ВФМ на нижньому рівні містить низькочастотні складові. Зважаючи на прив'язку діагностичних ознак технічного стану підшипників кочення до частоти обертання, дуже низькі частотні складові у ВФМ були проігноровані та було здійснено пошук інструментарію для обрання найбільш інформативної моди серед переліку ВФМ за результатом розкладання на верхньому рівні з початковою нумерацією.

Установлено, що найбільш поширеним індикатором визначення прийнятної ВФМ є коефіцієнт кореляції (СС) отриманих мод та початкової вібраційної реалізації, вищі значення СС відповідають більшій схожості моди та початкового сигналу і, відповідно, вищій ймовірності наявних інформативних складових у моді, однак цей індикатор не є стабільним і може демонструвати високу або низьку чутливість до шуму, що спричиняє втрату інформації, особливо під час визначення технічного стану підшипника кочення на ранніх стадіях розвитку, коли діагностичні ознаки важко виявляти у слабкому сигналі з великою кількістю шуму. Тому для запобігання хибного вибору ВФМ залучають інші індикатори (коефіцієнт ексцесу (Kurt), середньоквадратичне значення (RMS)).

Обчислення лише одного Kurt для виділення діагностичної інформації так само вважають неефективним через неспроможність забезпечити зростаючий тренд власних значень упродовж тривалого моніторингу підшипників кочення з поступовим розвитком пошкодження. Однак висока чутливість Kurt до імпульсних складових у зареєстрованих сигналах унаслідок початкових або розвинутих пошкоджень є беззаперечною. RMS не ефективно для визначення пошкодження, яке перебуває на ранній стадії розвитку.

Оскільки наведені індикатори характеризуються різними діагностичними можливостями виявляти стадії розвитку пошкодження, для визначення інформативної ВФМ у роботі запропоновано розраховувати комплексний індикатор оцінювання (КІО), який знижує ймовірність хибного вибору ВФМ. СС, Kurt, RMS та енергетичне відношення i -ої ВФМ визначалось як $D_{i,1}$, $D_{i,2}$, $D_{i,3}$, $D_{i,4}$, де $i = 10$ — кількість ВФМ, які отримані після застосування методу ICEEMDAN. Обчислений СС десятих ВФМ утворив діапазон значень 0,32 — 0,01. Зауважимо, що СС для другої, третьої і четвертої ВФМ дорівнював 0,624, 0,625, 0,48. Від п'ятої до десятої ВФМ чітко простежувався характер спадання аж до 0,01. Розрахований Kurt першої ВФМ сягав найвищого значення — 123, для решти ВФМ значення розташовувались випадково в діапазоні від 2,69 до 6,39. Обчислене RMS перебувало в спадаючому діапазоні від 0,045 м/с² до $3,7 \cdot 10^{-4}$ м/с². Обчислене енергетичне відношення так само носило характер спадання від 0,57 до 0,003.

КІО розраховувався як середнє значення чотирьох індикаторів і перебував у межах від 22,01 для першої ВФМ до 0,43 для десятої ВФМ. Установлено, що КІО для першої ВФМ удвадцятьох вищий за інші, що чітко визначає першу ВФМ як найбільш значущу, яку можна використовувати для подальших спектральних побудов і пошуку інформативних спектральних складових, які відповідають частотам перекошування елементів підшипника кочення. Застосування КІО усуває недоліки, які пов'язані з втратою інформативних характеристик у ВФМ через використання окремих індикаторів.