

УДК 629.423.3:681.518.54

ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ НА РАННІХ СТАДІЯХ РОЗВИТКУ ГІБРИДНИМ АДАПТИВНИМ МЕТОДОМ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ

д.н.н. С. В. Панченко, к.т.н. С.В. Михалків

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

D.Sc. (Tech.) S. V. Panchenko, PhD (Tech.) S.V. Mykhalkiv

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Підшипники кочення, що встановлюються в механічних вузлах рухомого складу відіграють важливу роль і працюють у важких умовах, які провокують появу небезпечних пошкоджень. Для запобігання катастроф у різних галузях промисловості впродовж тривалого часу застосовують ефективні засоби вібродіагностування, оскільки зареєстровані вібраційні сигнали містять розлогу інформацію стосовно наявних пошкоджень підшипників кочення та зубчастих зачеплень редукторів, тому постійне вдосконалення вібродіагностичних методів спрямоване на стійке зростання ефективності визначення діагностичних ознак технічного стану [1].

Найчастіше вібраційна реалізація підшипника кочення з ознаками пошкоджень є нестационарною і спричиняється нетривалими збуреннями, які призводять до появи на вібраційному спектрі збудження, яке простягається вздовж усього частотного діапазону й сильно ускладнює виявлення пошкоджень класичними методами, особливо на ранній стадії їх розвитку. Частково розв'язує згадану складність процедура розкладання за емпіричними модами (РЕМ), яка є адаптивною і не потребує зовнішніх материнських функцій, вібраційна реалізація зазнає саморозкладання на декілька коливних компонентів, які називаються вбудованими функціями мод (ВФМ) [2].

Основним недоліком РЕМ є змішування коливних компонентів, що можна пояснити потраплянням до складу однієї ВФМ декількох компонентів на різних масштабах, або компоненти на одному масштабі можуть потрапляти до різних ВФМ, що зрештою позбавляє ВФМ будь-якої здатності виявляти окремі частотні складові, які є ознаками пошкоджень на ранніх стадіях. Для подолання згаданих обмежень розроблялись удосконалені процедури РЕМ, зокрема розкладання за ансамблем емпіричних мод (РАЕМ), яке спочатку додає білий шум до вібраційного сигналу, а далі реалізує звичну процедуру РЕМ для отримання ансамблю розкладань, де середнє значення кожного ансамблю визначатиме дійсну ВФМ. Другим знаковим удосконаленням РЕМ є процедура додаткового розкладання за ансамблем емпіричних мод із адаптивним шумом (ДРАЕМАШ). Процедура ДРАЕМАШ спочатку додає різні реалізації білого шуму до вібраційного сигналу з подальшим використанням процедури РЕМ до відповідних ансамблів. Дійсними ВФМ обираються середні значення кожного ансамблю. На відміну від РАЕМ процедура ДРАЕМАШ використовує білий

шум у певному частотному діапазоні, що дозволяє мінімізувати його присутність у ВФМ після усереднення [2] і, нарешті, третя запропонована процедура, яка називається удосконалене додаткове розкладання за ансамблем емпіричних мод із адаптивним шумом (УДРАЕМАШ) додає шумову складову до залишкового сигналу, значно підвищуючи зниження результуючої шумової компоненти в отриманих ВФМ (рис. 1) [3].

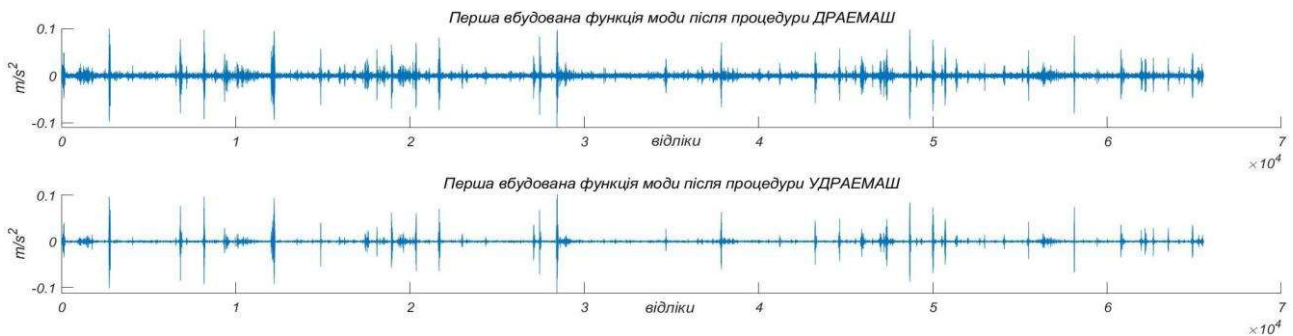


Рис. 1. Перші ВМФ за результатами розкладання найбільш досконаліми процедурами

Розроблений новий гібридний адаптивний метод вібродіагностування роликів підшипника кочення буксового вузла рухомого складу використовує переваги процедури УДРАЕМАШ із усунення шумової складової у відібраному за відповідними критеріями ВМФ (рис. 1), та залучає процедуру оптимального розкладання з мінімальною ентропією, яка суттєво посилює імпульсні компоненти в отриманій вібраційній реалізації та усуває недоліки менш досконалої процедури розкладання з мінімальної ентропією, якій було властиве значне посилення одиничного імпульсу при збільшенні ширини інверсного фільтра, що спричиняло часткове викривлення результатів діагностування. Наступним кроком є виділення квадратичного спектра обвідної вібрації із частотного діапазону з найвищим спектральним ексцесом. Подібні спектри на відміну від класичних спектрів обвідної вібрації здійснюють додаткове посилення всього спектрального складу. Побудований квадратичний спектр обвідної вібрації підшипника кочення містив найбільшу кількість діагностичних ознак (сепараторні гармоніки, роликові гармоніки з сильно вираженими бічними смугами), притаманних пошкодженню тіл кочень за умови, що в експериментальних дослідженнях використовували пошкоджені ролик із незначними раковинами. Отже, запропонований метод суттєво підвищив ефективність діагностування пошкоджень на ранніх стадіях розвитку.

[1] Lei Y. A fault diagnosis method of rolling element bearings based on CEEMDAN / Y. Lei, Z. Liu, J. Ouazri, J. Lin // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. — 2017. — Vol. 231(10). — P. 1804 — 1815. <https://doi.org/10.1177/0954406215624126>

[2] Tarek K. Comparative study between cyclostationary analysis, EMD, and CEEMDAN for the vibratory diagnosis of rotating machines / K. Tarek, D. Abderrazek, B. M. Khemissi, D. M. Cherif, C. Lilia, O. Nouredine // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2020. — Vol. 109(9 — 12). — P. 2747 — 2775. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05848-z>

[3] Cheng Y. An improved complementary ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise and its application to rolling element bearing fault diagnosis / Y. Cheng, Z. Wang, B. Chen, W. Zhang, G. Huang // ISA Transactions. — 2019. Vol. 91. — P. 218 — 234. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.01.038>