

Р. М. Юзефович^{1,2}
І. М. Яворський^{1,3}
О. В. Личак¹
Р. І. Пелипець²
Б. Р. Комарницький¹
Р. Т. Слєпко¹

МОДЕЛЬ СИГНАЛІВ ВІБРАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ОБЕРТОВИХ МЕХАНІЗМІВ

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

² Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

³ Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща

Анотація

Пропонується використовувати модель діагностичного сигналу у вигляді багатокомпонентного періодично нестаціонарного випадкового процесу, що дозволяє адекватно описати структуру вібрацій обертового механізму.

Ключові слова: вібраційний сигнал, нестаціонарний випадковий процес, перетворення Гільберта. дефект, модель діагностованого сигналу.

Методи дослідження обертових механізмів з використанням сигналів вібрацій є поширеною технологією технічної діагностики через високу ефективність та дешевизну у застосуванні. До суттєвих переваг вібродіагностики слід віднести також той фактор, що вона не вимагає зупинки машин чи механізмів, тобто виконується в процесі експлуатації обладнання. Існуючий стандарт вібродіагностики машин [1, 2] передбачає визначення середньої величини квадрату вібросигналу у певній смузі частот для встановлення загального вібраційного стану механізму. Однак, застосування такої методології не дозволяє встановлювати типи дефектів, проводити локалізацію дефектів у механізмах та коректно оцінювати ступінь розвитку дефектів.

У технічній діагностиці вібраційний сигнал від механічної системи породжується різними процесами, які характеризуються відповідними параметрами, пов'язаними з сукупністю діагностичних ознак. Оскільки, стан об'єкта описують великою сукупністю параметрів, то при обробці сигналів, для однозначного діагностування дефекту, слід було б використовувати велику кількість різноманітних процесів. Проте, на практиці методику діагностування будують на іншому принципі, а саме: замість реєстрування та усереднення багатьох різних процесів, реєструють тільки один з них, використавши для його аналізу такий спосіб обробки сигналу, за якого можна було б видобути з нього всю наявну діагностичну інформацію.

Детальний аналіз вібросигналу слід проводити лише на основі коректної його моделі, що враховує природу взаємодії елементів механізму і сутність вібрацій, котрі породжуються у механізмі. Вібраційний сигнал є результат складних взаємних модуляцій стохастичних, регулярних та квазі-регулярних складових. Тому його обробка не може бути здійснена одним з відомих підходів – лише як чисто стохастичного сигналу чи чисто регулярного сигналу. Для цього має бути використана модель, котра дозволяє описати складну структуру амплітудно-фазових модуляцій складових сигналу та провести його демодуляцію для виокремлення саме тих складових, котрі характеризують ступінь розвитку дефекту.

Модель сигналу у вигляді багатокомпонентного періодично нестаціонарного випадкового процесу дозволяє адекватно описати структуру вібраційного сигналу обертового механізму. Теоретичний аналіз такої моделі, виконаний за умов широкосмугової, вузькосмугової, високочастотної амплітудно-фазової модуляції багатокомпонентної несучої показав [3–6], що пряме детектування сигналу з виділенням так званого “квадрату обвідної” дає неслухні оцінки, а величина дисперсії виділеної “обвідної” рівна подвоєній дисперсії вхідного сигналу [7, 8]. При цьому виділений сигнал не є обвідною за своєю сутністю, отже його обробка втрачає сенс бо не надає жодної додаткової інформації. Розроблена модель сигналу та методика його обробки з використанням перетворення Гільберта і побудови аналітичного сигналу дозволяє визначити

величини базових несучих частот у сигналі, виокремити та розділити модулюючі складові і побудувати індикатори стану розвитку дефектів в обертових механізмах на основі параметрів карт взаємних кореляцій вищих порядків. Побудовані карти взаємних кореляцій використовуються також і для локалізації дефекту, тобто ідентифікації дефектного вузла у механізмі. Також за допомогою карти взаємних кореляцій встановлюють частотні діапазони, котрі слід брати до уваги при обробці вібраційного діагностичного сигналу.

Запропонована модель сигналу та методологія його обробки була застосована та показала високу ефективність при діагностуванні ряду механізмів на промислових підприємствах в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДСТУ ISO 10816-1. "Оцінка стану машин за результатами вимірювання вібрацій на необертюваних частинах. Частина 1. Загальні вимоги".
2. ДСТУ ISO 10816-3. "Оцінка стану машин за результатами вимірювання вібрацій на необертюваних частинах. Частина 3. Промислові машини номінальною потужністю більше 15 кВт і номінальними швидкостями від 120 до 15000 об/хв на місці експлуатації".
3. Javorskyj, I., Yuzefovych, R., Lychak, O., Matsko, I. Hilbert transform for covariance analysis of periodically nonstationary random signals with high-frequency modulation. // ISA Transactions. – 2024. – 144. – P. 452–481.
4. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : ФМІ НАН України, 2013. – 802 с.
5. Randall R., Antoni J. Rolling element bearing diagnostics—A tutorial. // Mech. Syst. Signal. Process. – 2011. – 25. – P. 485–520.
6. Antoni J. Cyclostationarity by examples // Mech. Syst. Signal. Process. – 2009. – 23. – P. 987–1036.
7. Hurd H., Miamer A. Periodically correlated random sequences: Spectral theory and practice. New York: Wiley; 2007.
8. Javorskyj I., Matsko I., Yuzefovych R., Lychak O., Lys R. Methods of Hidden Periodicity Discovering for Gearbox Fault Detection // Sensors. – 2021. – 21. – 6138.

Юзефович Роман Михайлович – доктор техн. наук, професор, завідувач відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів (далі – відділ), Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України (далі – ФМІ НАН України), Львів, Україна, e-mail: roman.yuzefovych@gmail.com; професор кафедри прикладної математики, Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна, e-mail: roman.m.yuzefovych@lpnu.ua

Яворський Ігор Миколайович – доктор фіз.-мат. наук, професор, провідний науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: igor.yavorskyj@gmail.com; професор звичайний інституту телекомунікацій та комп'ютерних наук, Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Личак Олег Васильович – доктор техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Пелипець Роман Іванович – аспірант кафедри прикладної математики, Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна, e-mail: pelypets.ri@gmail.com

Комарницький Богдан Романович – аспірант, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: kombodia@gmail.com

Слепко Роман Тарасович – доктор філософії, молодший науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: roman.slyepko@gmail.com

Model of signals for vibration monitoring of rotating mechanisms

Abstract

It is proposed to use a diagnostic signal model as a multicomponent periodically non-stationary random process, which allows adequate description of the structure of vibrations of a rotating mechanism.

Keywords: vibration signal, non-stationary random process, Hilbert transform, defect, model of the diagnostic signal.

Yuzefovych Roman M. – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of Department, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals (Department), Karpenko Physico-mechanical Institute of NAS of Ukraine (PMI NAS of Ukraine), Lviv, Ukraine, e-mail: roman.yuzefovych@gmail.com; Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: roman.m.yuzefovych@lpnu.ua

Javorskyj Ihor M. – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: igor.yavorskyj@gmail.com; Professor, Institute of Telecommunication and Computer Sciences, Bydgoszcz University of Sciences and Technology, Bydgoszcz, Poland, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Lychak Oleh V. – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Department PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Pelypets Roman I. – Ph. D. student, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: pelypets.ri@gmail.com

Komarntskyi Bohdan R. – Ph. D. student, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: kombodia@gmail.com

Slyepko Roman T. – Ph. D., Junior Researcher, Department PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: roman.slyepko@gmail.com