

ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ У ВИГЛЯДІ ПЕРІОДИЧНОГО НЕСТАЦІОНАРНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ

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

² Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

³ Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща

⁴ Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація

Запропоновано використання імовірнісної моделі вібраційних сигналів у вигляді періодичного нестационарного випадкового процесу до задач вібраційної діагностики.

Ключові слова: періодично нестационарний випадковий процес, вібрація, дефект, когерентний і компонентний методи.

Використання імовірнісної моделі вібраційних сигналів у вигляді періодичного нестационарного випадкового процесу надає нові можливості при виявленні дефектів обертових механізмів на ранніх стадіях їх розвитку [1, 2]. При такому підході вібраційний сигнал розділяють на детерміновану та стохастичну складові. З детермінованою складовою вібраційних сигналів пов'язані макродефекти механічних систем, такі як дисбаланс, ексцентриситет, неспівосність, биття, зачеплення тощо. Стохастична складова містить інформацію про нестационарні та нелінійні властивості вібраційного сигналу, які пов'язані із силами тертя, зміною в'язкості мастил, шорсткістю поверхонь та ін. Саме аналіз стохастичної складової, в тому числі характеристик її періодичної нестационарності, дає змогу виявляти дефекти на початкових стадіях їх зародження. Періодична нестационарність випадкової складової зумовлена стохастичною модуляцією гармонік. Ця модуляція здебільшого не є вузькосмуговою, тому вона не завжди буде проявлятися у пікових значеннях оцінок спектральної густини потужності стаціонарного наближення сигналу. Носіями інформації про типи дефектів обертових вузлів є авто-, взаємокореляційні і відповідні їм взаємоспектральні характеристики модулюючих процесів. Ці характеристики проявляються у властивостях періодично нестационарних випадкових процесів (ПНВП) – математичних моделей сигналів вібрації. Тому діагностичні ознаки можуть будуватися як на основі оцінок, так і безпосередньо на основі характеристик модулюючих процесів [3–5].

Однією з важливих задач діагностики є аналіз взаємозалежності вібраційних коливань великих стаціонарних агрегатів, відібраних у різних точках. Така задача може бути розв'язана на основі моделі сигналів вібрації у вигляді багатомірних періодично нестационарних випадкових процесів. Багатомірний аналіз вібраційних сигналів дає змогу локалізувати дефекти, визначати їх типи, розділяти джерела. Першим етапом є взаємокореляційний аналіз. Оцінки взаємокореляційних функцій можуть бути визначені з використанням як когерентного [6] і компонентного [7] методів. Перший з них ґрунтується на усередненні відліків реалізації сигналу, відібраних через період корельованості, а другий – на формуванні тригонометричного полінома

$$\hat{b}_{\xi\eta}(t, u) = \sum_{k=-N_2}^{N_2} \hat{B}_k^{(\xi\eta)}(t, u) e^{ik\omega_0 t},$$

де

$$\hat{B}_k^{(\xi\eta)}(u) = \frac{1}{\theta} \int_0^\theta [\xi(t) - \hat{m}_\xi(t)] [\eta(t+u) - \hat{m}_\eta(t+u)] e^{-ik\omega_0 t} dt, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T},$$

$$\hat{m}_{\xi,\eta}(nh) = \sum_{k=-N_1}^{N_1} \hat{m}_k^{(\xi,\eta)} e^{ik\omega_0 t}, \quad \hat{m}_k^{(\xi,\eta)} = \frac{1}{\theta} \int_0^\theta \left\{ \begin{matrix} \xi(nh) \\ \eta(nh) \end{matrix} \right\} e^{-ik\omega_0 t} dt.$$

Характерною особливістю взаємокомпонентних оцінок є те, що вони формуються з урахуванням апріорних відомостей про число гармонічних складових імовірнісних характеристик вібраційного сигналу. Такі відомості отримуються на основі результатів аналізу фізичних умов досліджуваного процесу, а також попереднього використання когерентного методу.

Саме врахування скінченного числа гармонік суттєво покращує ефективність оцінок при швидкому загасанні кореляційних зв'язків у разі збільшення зсуву u . При $N_1 \rightarrow \infty$ і $N_2 \rightarrow \infty$ когерентні і компонентні оцінки збігаються [6, 7]. Такий аналіз дає змогу обґрунтовано вибрати параметри обробки, а саме довжину реалізації і точку усічення корелограми, залежно від параметрів вібраційного сигналу, характеристики якого оцінюються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА:

1. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : ФМІ НАН України, 2013. – 802 с.
2. Randall R., Antoni J. Rolling element bearing diagnostics—A tutorial. *Mech Syst Signal Process* 2011. – 25:485–520.
3. Antoni I. Cyclostationarity by examples // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2009. – 23. – P. 987–1036.
4. Hurd H., Miamer A. Periodically correlated random sequences: Spectral theory and practice. New York: Wiley; 2007.
5. Javorskyj I., Matsko I., Yuzefovych R., Lychak O., Lys R. Methods of Hidden Periodicity Discovering for Gearbox Fault Detection // *Sensors*. – 2021. – 21. – 6138.
6. Javorskyj I., Isayev I., Zakrzewski Z., Brooks S.P. Coherent covariance analysis for periodically correlated random processes // *Signal Processing*. – 2007. – 87. – P. 13–32.
7. Javorskyj I., Isayev I., Majewski J., Yuzefovych R. Component covariance analysis for periodically correlated random processes // *Signal Processing*. – 2010. – 90. – P. 1083–1102.

Юзефович Роман Михайлович – доктор техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, 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 методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: ihor.yavorskyj@gmail.com; професор звичайний інституту телекомунікацій та комп'ютерних наук, Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Личак Олег Васильович – канд. техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Слепко Роман Тарасович – молодший науковий співробітник відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: roma.srt@gmail.com

Семенов Павло Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри підйомно-транспортних машин та інжинірингу портового технологічного обладнання, Одеський національний морський університет, Одеса, Україна, e-mail: p.a.semenoff@gmail.com

Probabilistic model of vibration signals as a periodically non-stationary random process

Abstract

The use of a probabilistic model of vibration signals as a periodically non-stationary random process for the vibration diagnostics is proposed.

Keywords: periodically non-stationary random process, vibration, fault, coherent and component methods.

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

Javorskyj Ihor M. – Dr. Sci., Professor, Leading Researcher, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: ihor.yavorskyj@gmail.com; Professor at Institute of Telecommunication and Computer Sciences, Bydgoszcz University of Sciences and Technology, Bydgoszcz, Poland, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Lychak Oleh V. – Ph.D., Senior Researcher, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Sliepko Roman T. – Junior Researcher, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: roma.srt@gmail.com

Semenov Pavlo O. – Ph.D., Chair of Hoisting and Transport Machines and Engineering of Port Technological Equipment, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine, e-mail: p.a.semenoff@gmail.com