

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ВУЗЛІВ СКЛАДНИХ МАШИННИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА ВЗАЄМОСТАТИСТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Р. М. ЮЗЕФОВИЧ^{1,3}, О. Ю. ДЗЕРИН¹, І. Й. МАЦЬКО¹, І. М. ЯВОРСЬКИЙ^{1,2}, І. Г. СТЕЦЬКО¹

¹Фіз.-мех. ін.-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5. E-mail: roman.yuzefovych@gmail.com

²Інститут телекомунікації Технологічно-природничого університету, 85796, Польща, м. Бидгощ, алея проф. С. Каліського, 7

³Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, ул. Степана Бандери, 12

Наведено коротку характеристику приладів вібраційного контролю та наведені основні вимоги до їх проектування. Розглянуто результати аналізу горизонтальної та вертикальної складових вібрацій підшипникового вузла вугільного конвеєра, реалізації котрих були отримані за допомогою створеної у ФМІ НАН України переносної віброакустичної системи. З використанням методів статистики періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) встановлені основні властивості характеристик періодичної нестационарності другого порядку стохастичної складової вібрації при наявності дефекту, виявлена їх висока чутливість до зміни параметрів дефекту. Показано, що взаємний ПКВП-аналіз складових вібрації дає можливість локалізувати дефекти та встановлювати їх типи. Бібліогр. 10, рис. 13.

Ключові слова: періодично корельовані випадкові процеси, прилади вібраційного контролю, інтегральна і покомпонентна функція когерентності, нестационарний аналіз, вібраційний сигнал

Необхідність переходу від контролю працездатності технічних об'єктів до діагностування дефектів, що зароджуються, приводить до пошуку таких діагностичних ознак, які відчують незначні відхилення параметрів технічного стану від норми. Виявлення несправностей, які ще не привели до катастрофічних наслідків, визначення ступеня розвитку дефекту і його ознак можливі лише на основі детального дослідження структури вібросигналів та її зв'язку з кінематикою і динамікою механізмів.

Вібраційний сигнал є інформативним діагностичним інструментом, оскільки на основі отриманої та обробленої інформації можна оптимізувати планування поточного і капітального ремонту, збільшити міжремонтний інтервал, зменшити витрати на закупівлю запчастин та матеріалів [1]. Тому проведення періодичної діагностики є актуальною задачею.

Прилади вібраційного контролю. На даний час існує багато приладів вібродіагностичного контролю. Всі вібродіагностичні прилади можна розділити на дві основні групи: переносні та стаціонарні.

Переносні прилади вібраційного контролю об'єднані основною характеристикою – вони зручні в транспортуванні, дають користувачу велику свободу дій та можливість використання на різних об'єктах. Проте функціональні можливості та клас завдань, які може виконувати кожен з представлених приладів, достатньо різні. Користувач може легко обрати прилад в залежності від рівня складності діагностичних задач, які вимагає той чи інший тип механізмів. Існує достатньо

багато приладів у вигляді двоканальних аналізаторів вібрації, основні функції яких – контроль параметрів вібрації (швидкість, прискорення, переміщення), частоти обертання і аналіз спектральних діаграм вібрації пошкоджених вузлів машин і агрегатів, аналіз спектру в «ручному» і «автоматичному» режимі. Прилади обладнані пам'яттю, використовують п'єзоелектричні датчики вібрації, працюють в діапазоні частот 2...40000 Гц та оснащені інтерфейсом зв'язку з персональним комп'ютером через RS-232. Результат їх обробки: загальний рівень сигналу, форма сигналу, спектр, спектр огинаючої, спектр власних частот, спектр 1/3 октавний, розгін/вибіг, амплітуда/фаза, пік-фактор, ексцес, орбіта, величина струму.

Особливу увагу привертає ряд приладів фірми Bruel & Kjaer (Данія). Це віброметр типу 2250-N, аналізатори динамічних сигналів, аналізатор спектру з багатоканальними модулями вводу 3050, 3052 та 3053, що використовуються для різних вимірювань вібрації з широким набором акселерометрів, працюють в реальному масштабі часу і створені для швидких і точних вимірювань. Області застосування: випробування в транспортних засобах та на борту літака, акустичні і вібраційні випробування з низькорівневими сигналами в польових, лабораторних та інших умовах, дистанційне вимірювання. Особливості – портативність і невелика маса, інтерфейс USB 2.0, подача живлення через USB-інтерфейс. Своє місце на ринку діагностичних приладів зайняли також фірми Fixturlaser (Швеція), CSI Technologies (США) і Baltech GmbH (Німеччина). Основна галузь застосування – моні-

торинг технічного стану та діагностика дефектів механічного промислового обладнання.

Стационарні прилади вібраційного контролю використовуються для регулярного моніторингу вібраційного стану механізмів. Дані системи мають значно розширений набір функцій порівняно з портативними пристроями. Вітчизняні виробники пропонують декілька стаціонарних систем: прилад контролю віброшвидкості опор підшипника, прилад контролю вібропереміщення ротора, аналізатори спектру Zet 017 U8/-U4 (восьми- і чотириканальні). Це – багатофункціональні прилади для вимірювання параметрів спектральних складових сигналів, кореляційної структури сигналів, генерації електричних сигналів з нормованими метрологічними параметрами. Вони застосовуються для вимірювання рівнів шуму і вібрації, атестації випробувального обладнання, моніторингу стану механізмів, діагностики зубчастих передач, підшипників, роторів і турбін.

Цілу низку стаціонарних комплексів вібродіагностики представляє група компаній «ДИА-МЕХ»: комплекс вимірювання і контролю параметрів роторних агрегатів, стаціонарні комплекси вібраційного контролю і захисту роторного обладнання, напівстаціонарна система вібродіагностики, стаціонарний комплекс контролю вібрації. Основні особливості: контроль різноманітних параметрів з будь-якими налаштуваннями, відмінні технічні характеристики – розширений частотний і динамічний діапазони, високе спектральне розділення за рахунок використання сучасної багатоканальної плати АЦП і цифрових алгоритмів обробки даних, можливість контролю і аналізу будь-яких технологічних параметрів (частота обертання, температура, споживаний струм, тиск і т. д.), висока періодичність вимірювань, вбудовані алгоритми параметричного аналізу нестационарних процесів, оперативна оцінка поточного стану обладнання. Також існує ряд стаціонарних систем вібродіагностики, основна функція яких – неперервне відстеження вібраційного стану підшипникових вузлів (вібромоніторинг), контроль температури і тиску середовищ, врахування витрати рідин і пари, знаходження дефектів на стадії зародження на основі автоматизованого отримання вимірювальної інформації, її передавання, зберігання, обробка і відображення в вигляді, зручному для сприйняття оператором [2].

Основні вимоги до проектування приладів вібраційного контролю. Найбільш раціональними, на наш погляд, можна вважати прилади вібраційного контролю з використанням трьохосьових датчиків (акселерометрів). Основна їх перевага над іншими в тому, що вони вимірюють вібрацію в трьох напрямках одночасно – осьовому, горизонтальному та вертикальному. Переважна більшість

діагностичних систем стоїть в колі захисту тієї чи іншої механічної системи і в разі перевищення гранично допустимого значення відключає останню з технологічного процесу, не ідентифікуючи, яка саме складова призвела до аномального значення. Ще одна перевага трьохосьових датчиків – незначні габарити та мінімальна кількість з'єднувальних кабелів.

Проектування приладів вібраційного контролю з використанням електронних компонентів з високим ступенем інтеграції також призводить до збільшення розмірів та ваги.

Зрозуміло, що стаціонарні прилади вібраційного контролю (системи) не вимагають критичних умов до споживаної потужності. Протилежна картина із використанням переносних, малогабаритних приладів контролю. На контрольованих об'єктах не завжди є можливість скористатися мережею змінного струму 220 В (крани, копри вугільних шахт, вугільні конвеєри, інфраструктура морських портів). Тому використання акумуляторів може бути доброю альтернативою мережі 50 Гц. Живлення вібродіагностичних приладів від акумуляторів ноутбука (нетбука) є оправданим, тим більше, що з використанням сучасної елементної бази можна створити системи діагностичного контролю із споживаним струмом не більше 200 мА (споживаний струм від акумулятора ноутбука через USB-порт не повинен перевищувати 500 мА). Тому ємності батареї середнього класу достатньо, щоб відібрати та занести інформацію на постійний носій від багатьох точок досліджуваного об'єкту.

Для переносних приладів вібраційного контролю також можна обмежити і набір (перелік) можливих алгоритмічно-програмних засобів, що дають можливість з достатньою імовірністю виявити ті чи інші дефекти, в тому числі ті, що зароджуються.

Інтегральна та покомпонентна функції когерентності. Для опису стохастичних зв'язків стаціонарних випадкових сигналів у частотній області широко використовується функція когерентності, яка визначається виразом [3]:

$$\gamma_{\xi\eta}(\omega) = \frac{|f_{\xi\eta}(\omega)|^2}{f_{\xi}(\omega)f_{\eta}(\omega)}, \quad (1)$$

де $f_{\xi\eta}$ – взаємна спектральна густина двох стаціонарних стаціонарно зв'язаних сигналів, а $f_{\xi}(\omega)$ і $f_{\eta}(\omega)$ – їх спектральні густини потужності. Оскільки

$$|f_{\xi\eta}(\omega)|^2 \leq f_{\xi}(\omega)f_{\eta}(\omega),$$

то для функції (1) завжди виконується умова: $0 \leq \gamma_{\xi\eta}(\omega) \leq 1$ [6]. Для незалежних сигналів $\gamma_{\xi\eta}(\omega) = 0$ для всіх $\omega \in R$. Якщо сигнали $\xi(t)$ і

$\eta(t)$ є результатом лінійних перетворень одного й того ж процесу, то $\gamma_{\xi\eta}(\omega) = 1$. Якщо функція когерентності менша від одиниці, то це є показником того, що має місце одна з трьох ситуацій: на один з сигналів впливає зовнішній шум; один з сигналів зазнав нелінійних перетворень; один з досліджуваних сигналів зазнав впливу інших. При аналізі лінійних систем функція когерентності дає можливість виділити ту частину випадкового сигналу $\eta(t)$, яка на частоті ω визначається процесом $\xi(t)$. З другого боку, різниця $1 - \gamma_{\xi\eta}(\omega)$ характеризує ту частину, яка не корелює з $\xi(t)$.

Також для визначення технічного стану механізмів циклічної дії використовують функцію когерентності, яка характеризує взаємозв'язок окремих модулюючих процесів $\xi_k(t)$ і $\eta_l(t)$. Цю функцію когерентності визначають на основі їх авто- і взаємоспектральних густин, а саме

$$\gamma_{kl}^{(\xi\eta)}(\omega) = \frac{|f_{kl}^{(\xi\eta)}(\omega)|}{\left[f_{kk}^{(\xi)}(\omega) f_{ll}^{(\eta)}(\omega) \right]^{1/2}} \quad (2)$$

і називати покомпонентною, а різницю між номерами стаціонарних компонентів k і l – її порядком. У роботах [4, 5] показано, що функції (1) і (2) не змінюються при лінійних перетвореннях, а також показано доцільність їх використання при розв'язанні задач вібродіагностики.

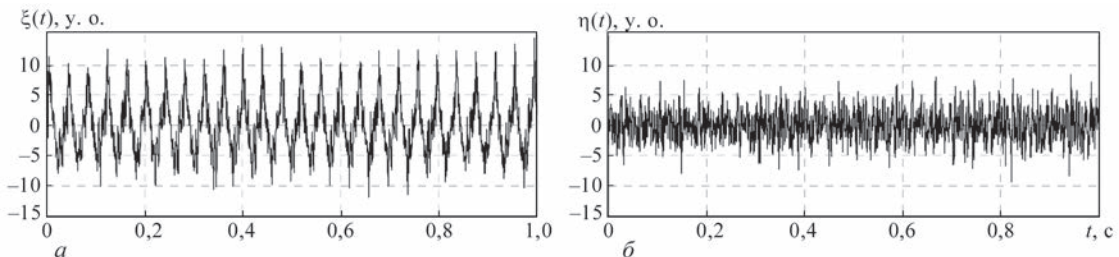


Рис. 1. Фрагмент реалізації вертикальної (а) та горизонтальної (б) складової вібрації електродвигуна

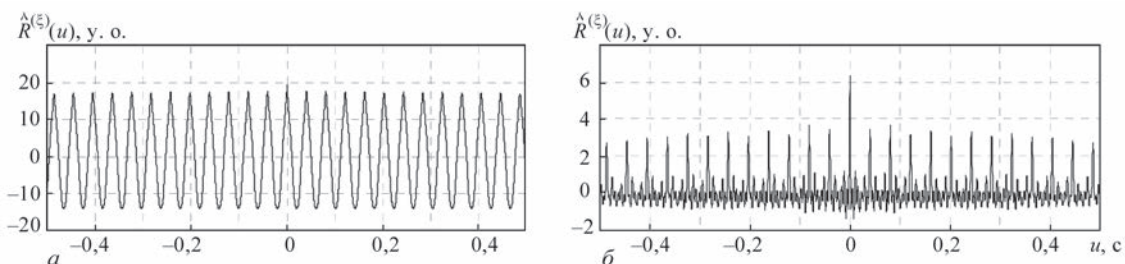


Рис. 2. Кореляційна функція вертикальної (а) та горизонтальної (б) складової вібрації електродвигуна

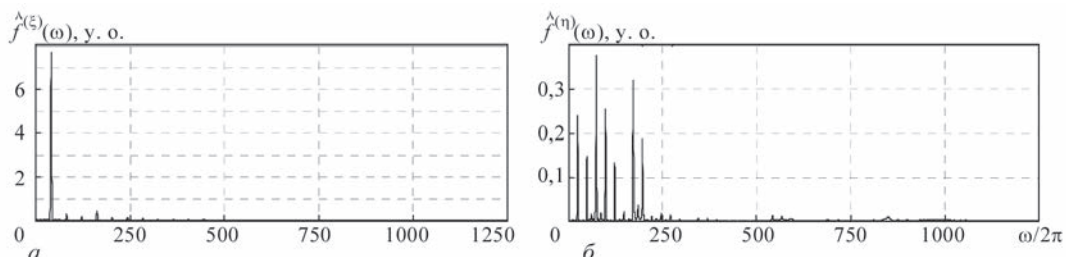


Рис. 3. Спектральна густина вертикальної (а) та горизонтальної (б) складової вібрації електродвигуна

Нестационарний аналіз вібраційних сигналів.

Проведемо детальний аналіз структури вібраційних сигналів відібраних з підшипникових вузлів електродвигуна ($P = 355$ кВт, $N = 1460$ об/хв.) вугільного конвеєра за допомогою вібродіагностичної системи ПУЛЬС [6, 7] при режимі роботи без навантаження. Відповідно до стандартів ДСТУ ISO 2372, ISO 10816-1-97 даний електродвигун відноситься до 2 класу механізмів. Частоту дискретизації при відборі вібраційних сигналів вибрано 25 кГц, час запису реалізацій 20 с. Згідно роботи [8] така довжина реалізації вібраційного сигналу забезпечує похибку обробки не більше 5%.

На рис. 1 наведено фрагмент реалізації вертикальної (рис. 1, а) та горизонтальної (рис. 1, б) складової вібрації. З наведеного (рис. 1, а) чітко видно коливання основної гармонічної складової (25 Гц).

Графіки кореляційної функції вертикальної складової (рис. 2) вібраційного сигналу в стаціонарному наближенні вказують на те, що у вертикальній і горизонтальній складових сигналу присутня потужна детермінована складова. Співвідношення сигнал/шум для вертикальної складової 30:1, а для горизонтальної – 3:1. Хвости кореляційних функцій мають характер незатихаючих коливань з частотою, що відповідає частоті обертання вала (25 Гц). Кореляційна функція горизонтальної складової містить викиди 25 Гц.

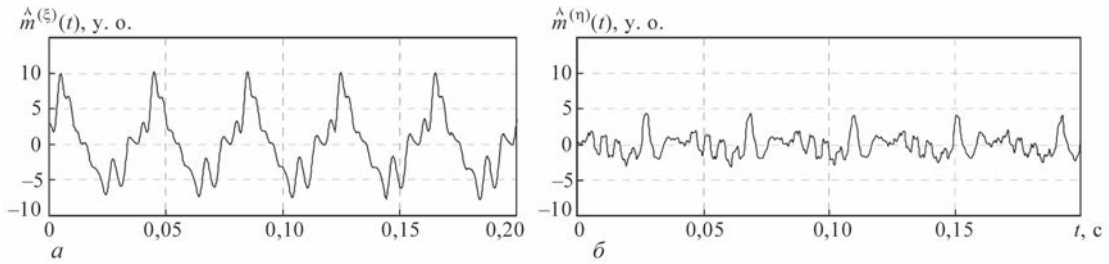


Рис. 4. Математичне сподівання вертикальної (а) та горизонтальної (б) складової вібрації електродвигуна

Спектральна густина потужності вертикальної складової вібраційного сигналу (рис. 3, а) в стаціонарному наближенні містить основну гармонічну складову, що відповідає частоті обертання вала (25 Гц), на яку припадає понад 90 % потужності детермінованих коливань вібраційного сигналу та кілька кратних до неї малопотужних гармонік. Спектральна густина потужності горизонтальної складової вібраційного сигналу в стаціонарному наближенні зосереджена у смузі частот до 250 Гц, містить основну гармонічну складову, що відповідає частоті обертання вала (25 Гц) та кілька кратних до неї потужних гармонік (рис. 3, б).

З використанням методу найменшого квадрату розділено детерміновану та стохастичну складові вібраційного сигналу та проведено аналіз кожної з

них окремо. На рис. 4 наведено графік математичного сподівання вертикальної (рис. 4, а) та горизонтальної (рис. 4, б) складової сигналу, на яких чітко проявляються коливання основного періоду.

Серед компонентів Фур'є математичного сподівання вертикальної складової вібрації значущими є перші сім гармонік (рис. 5, а), найпотужнішою серед яких є перша, на яку припадає 75 % потужності коливань, а горизонтальної – значущими є вісім гармонік (рис. 5, б), найпотужнішими серед яких є третя, четверта, п'ята і сьома, на які припадає понад 80 % потужності коливань.

Графік стохастичної складової вертикальної та горизонтальної складових вібраційного сигналу показано на рис. 6.

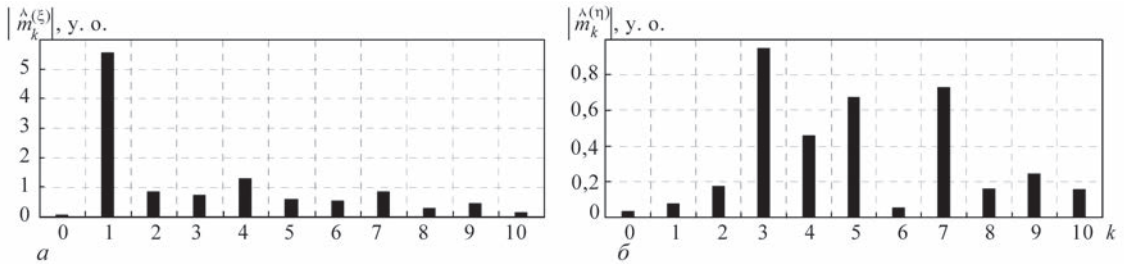


Рис. 5. Компоненти матсподівання вертикальної (а) та горизонтальної (б) складової вібрації

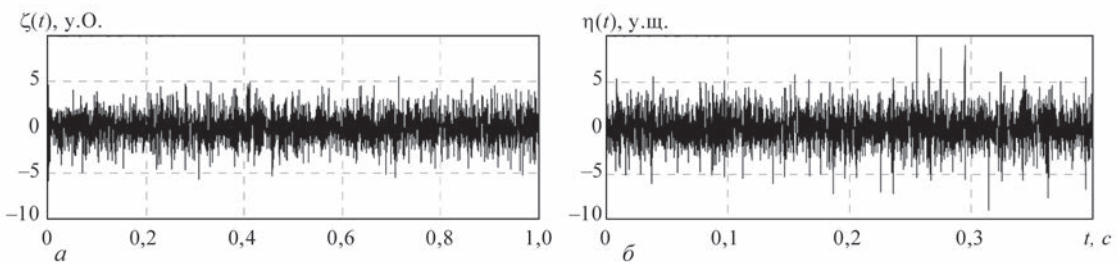


Рис. 6. Стохастична складова сигналу вертикальної (а) та горизонтальної (б) складової вібрації

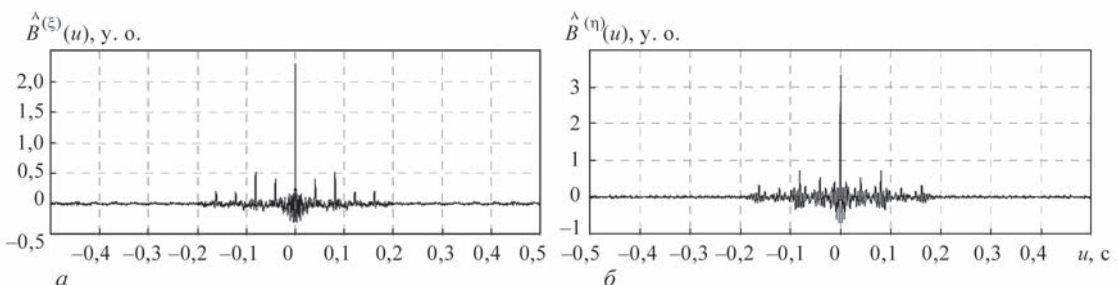


Рис. 7. Кореляційна функція стохастичної складової вертикальної (а) та горизонтальної (б) вібрації

Затихаючий хвіст кореляційних функцій вертикальної (рис. 7, *a*) і горизонтальної (рис. 7, *б*) складових у стаціонарному наближенні свідчить про відсутність у ній детермінованих коливань. З графіків чітко видно, що на хвостах кореляційних функцій присутні викиди, що відповідають частоті обертання валу (25 Гц).

Спектральні густини потужності стохастичної складової вертикальної (рис. 8, *a*) та горизонтальної (рис. 8, *б*) складових вібраційного сигналу в стаціонарному наближенні мають піки на частоті обертання та кратних до неї частотах.

Використовуючи когерентний кореляційний функціонал для пошуку прихованих періодичностей 2-го порядку у стохастичній складовій вібраційного сигналу виявлено потужну модуляцію стаціонарними випадковими процесами частоти 24,67 Гц (0,040535 с), що відповідає частоті обер-

тання валу. Залежність даного функціоналу від пробного періоду для вертикальної і горизонтальної вібрації показано на рис. 9.

Оцінивши значення періоду не стаціонарності, проведемо повний нестаціонарний аналіз структури стохастичної складової вібраційного сигналу. За допомогою компонентного методу оцінено дисперсію та її компоненти Фур'є. Відношення мінімального значення дисперсії за період до максимального для вертикальної складової є 0,29 (рис. 10, *a*), а для горизонтальної – 0,28 (рис. 10, *б*). Як видно з (рис. 10, *б*) дисперсія має значний викид за період.

Серед значущих компонентів дисперсії вертикальної складової є перші три, найпотужнішим серед яких є нульовий (рис. 11, *a*), а горизонтальної – перші п'ять, найпотужнішим серед яких є нульовий (рис. 11, *б*).

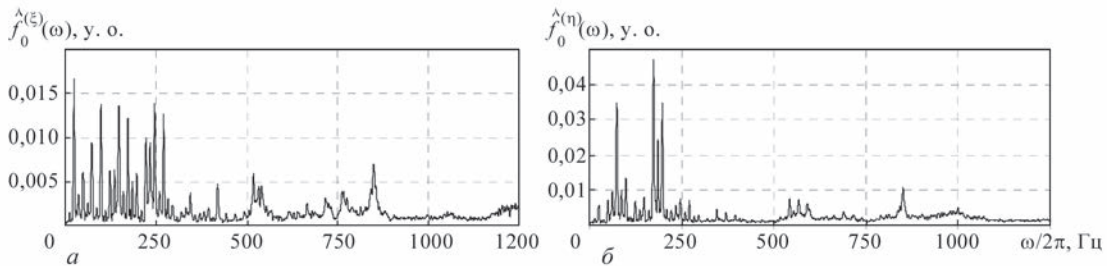


Рис. 8. Спектр стохастичної складової вертикальної (*a*) та горизонтальної (*б*) вібрації електродвигуна

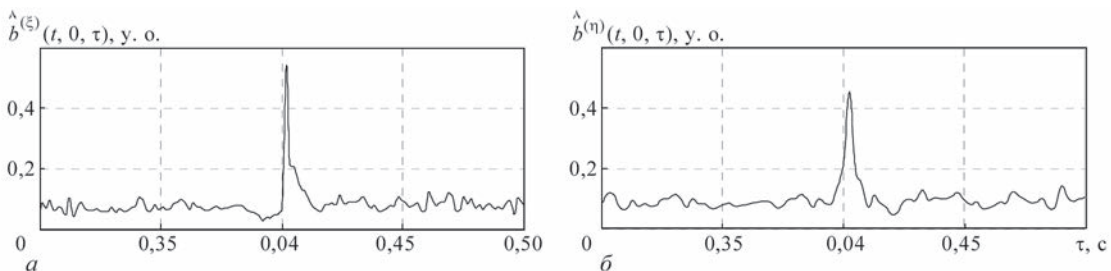


Рис. 9. Функціонал визначення періоду стохастичної складової вертикальної (*a*) та горизонтальної (*б*) вібрації

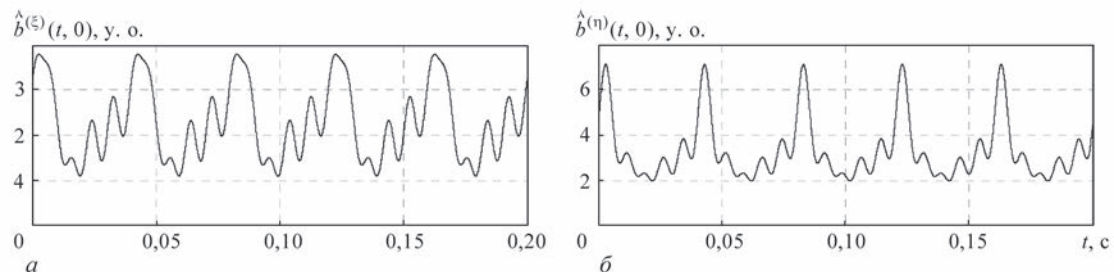


Рис. 10. Дисперсія стохастичної складової вертикальної (*a*) та горизонтальної (*б*) вібрації

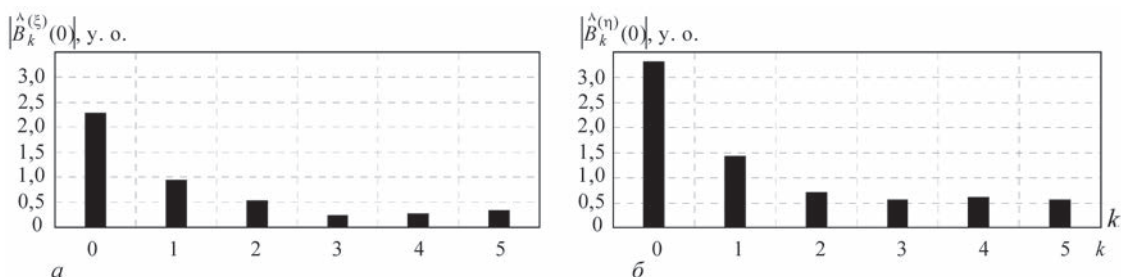


Рис. 11. Компоненти дисперсії стохастичної складової вертикальної (*a*) та горизонтальної (*б*) вібрації

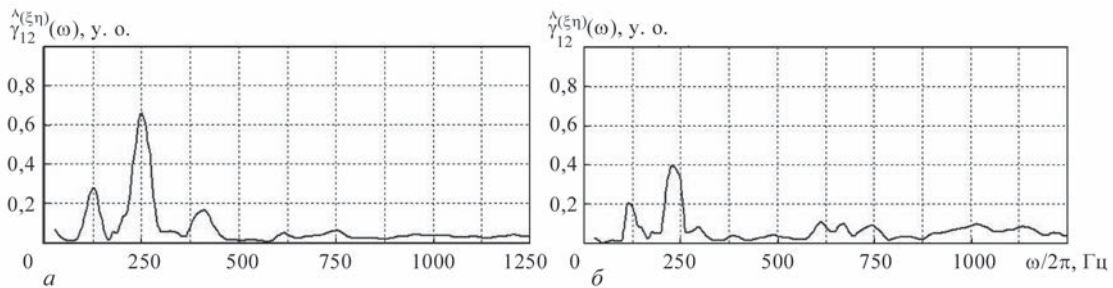


Рис. 12. Оцінка інтегральної функції когерентності $k = 0$ (а) і $k = 1$ (б)

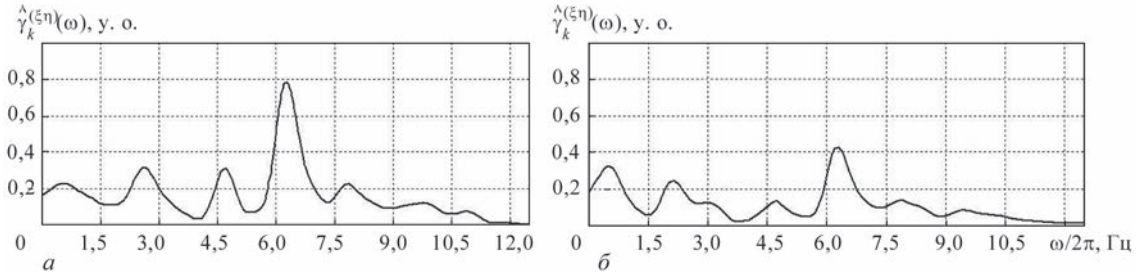


Рис. 13. Покомпонентна функція когерентності 1-го (а) та 2-го (б) порядків

Таким чином, провівши нестационарний аналіз вібраційних сигналів, можна стверджувати, що в підшипникових вузлах електродвигуна вугільного конвеєра присутній розвинутий дефект. Для встановлення типу дефекту проведемо взаємкореляційний [9] та взаємспектральний [10] аналізи вібраційних сигналів та визначимо інтегральну та покомпонентну функції когерентності.

Інтегральна функція когерентності (рис. 12) має вигляд гребінки в області низьких частот, яка є помітно зсунутою відносно області частот, що відповідають частотам гармонік обертання вала 24,67 Гц (0,040535). Незначні підвищення значень появляються також у вищій області частот.

Частотні залежності покомпонентної функції когерентності (рис. 13) також мають щитоподібний вигляд з найбільшим максимумом біля частоти, яка відповідає $1/4$ частоти обертання вала.

Такі властивості функцій когерентності можна пояснити наявністю розподіленого дефекту – нерівномірного навантаження на зовнішнє кільце, а також появи його локального руйнування.

Висновки

Розглянуто існуючі методи та засоби контролю стану вузлів обертових механізмів, що дозволяють, як правило, виявляти розподілені дефекти або розвинуті дефекти присутні у ньому. Підтверджено, що використання нестационарного підходу до аналізу вібраційних сигналів дає можливість локальні дефекти вузлів механізму на ранній стадії їх зародження, що в свою чергу дозволяє уникнути аварійних ситуацій. Показано, що поява дефекту у вузлі механічної системи призводить до того, що вібраційні сигнали набувають властивостей періодичної нестационарності 2-ого порядку і можуть бути описані у вигляді періодично корельованих випадкових процесів, а діагностичні

ознаки, побудовані на імовірнісних характеристиках періодичної нестационарності 2-ого порядку є чутливішими до збільшення дефекту, ніж ті, що побудовані на основі детермінованої складової вібраційного сигналу. Застосування взаємостатистичних характеристик вібраційних сигналів, а саме проведення взаємкореляційного і взаємспектрального аналізів, з використанням інтегральної та покомпонентної функції когерентності дає можливість виявити та встановити тип дефекту.

Список литературы

1. Мигушенко Р. П. (2014) *Елементи контролю та діагностики стану вібраційних об'єктів*, Харків, «Підручник НТУ «ХПІ».
2. Клюев В. В. (1978) *Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник*. В 2-х кн. Кн. 1. Москва, Машиностроение.
3. Кравець І. Б., Юзефович Р. М., Стецько І. Г., Дуб П. Б., Яворський І. М. *Вібраційна діагностична система*, Україна, Пат. 102759, МПК G01M 13/04, H03K 3/84, G01V 1/40.
4. Яворський І. М., Юзефович Р. М., Мацько І. Й. та ін. (2015). Розробка вібродіагностичної системи для визначення дефектів промислового обладнання з використанням методів нестационарної статистичної обробки вібраційних та акустичних коливань. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 36–41.
5. Яворський І. М. (2013). *Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань*, Львів, ФМІ НАН України.
6. Бендат Дж., Пирсол А. (1989). *Прикладной анализ случайных данных*. Москва, Мир.
7. Яворський І. М., Юзефович Р. М., Мацько І. Й., Закжевски З. (2016). Функція когерентності взаємозв'язаних періодично нестационарних випадкових процесів. *Известия Вузов. Радиоэлектроника*, 59, 3, 40–51.
8. Яворський І. М., Юзефович Р. М., Мацько І. Й., Закжевски З. (2017). Покомпонентная функция когерентности взаимосвязанных периодично нестационарных случайных процессов. *Там же*, 60, 1, С. 37–49.
9. Яворський І. М., Юзефович Р. М., Кравець І. Б. (2012). Взаємкореляційний когерентний аналіз періодично нестационарних випадкових сигналів. *Відбір і обробка інформації*, 36, 5–13.
10. Яворський І. М., Юзефович Р. М., Мацько І. Й. (2016). Когерентний взаємспектральний аналіз часових рядів. *Там же*, 43 (119), 32–38.

References

1. Migushchenko, R.P. (2014) *Elements of inspection and diagnostics of vibration object state*. Kharkiv, Manual of STU KhPI [in Russian].
2. Klyuev, V.V. (1978) *Tools and systems for measurement of vibration, noise and impact*. In: Refer. book 1. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
3. Kravets, I.B., Yuzefovych, R.M., Stetsko, I.G. et al. *Vibration diagnostic system*. Pat. Ukraine.102759, Int. Cl. G01M 13/04, H03K 3/84, G01V 1/40 [in Ukrainian].
4. Yavorskyi, I.M., Yuzefovich, R.M., Matsko, I.J. et al. (2015) Development of vibrodiagnostic system for determination of industrial equipment defects with application of methods of non-stationary statistical treatment of vibration and acoustic oscillations. *Tekhn. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 4, 36-41 [in Russian].
5. Yavorskyi, I.M. (2013) *Mathematical models and analysis of stochastic oscillations*. Lviv, FMI NAS of Ukraine [in Ukrainian].
6. Bendat, J., Pirsol, A. (1989) *Applied analysis of hash*. Moscow, Mir [in Russian].
7. Yavorskyi, I.M., Yuzefovich, R.M., Matsko, I.Y. et al. (2016) Coherence function of interrelated periodically nonstationary random processes. *Izv. Vuzov, Radioelektronika*, 59 (3), 40-51 [in Russian].
8. Yavorskyi, I.M., Yuzefovich, R.M., Matsko, I.Y. et al. (2017) Componentwise coherence function of interrelated periodically nonstationary random processes. *Ibid.*, 60(1), 37-49 [in Russian].
9. Yavorskyi, I.M., Yuzefovych, R.M., Kravets, I.B. (2012) Cross-correlation coherent analysis of periodically nonstationary random signals. *Vidbir i Obrobka Informatsii*, 36, 5-13 [in Ukrainian].
10. Yavorskyi, I.M., Yuzefovych, R.M., Matsko, I.Y. (2016) Coherent cross-spectral analysis of time series. *Ibid.*, 43(119), 32-38.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ УЗЛОВ
СЛОЖНЫХ МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО
ВЗАИМОСТАТИСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Р. М. ЮЗЕФОВИЧ^{1,3}, О. Ю. ДЗЕРИН¹, И. Й. МАЦЬКО¹,
И. Н. ЯВОРСКИЙ^{1,2}, И. Г. СТЕЦКО¹

¹Физ.-мех. ин-т им. Г. В. Карпенко НАН Украины. 79060, г. Львов, ул. Научная, 5. E-mail: roman.yuzefovych@gmail.com

²Институт телекоммуникации Технологически-естественно-технического университета. 85796, Польша, Быдгощ, аллея проф. С. Калиского, 7

³Национальный университет «Львовська политехника», г. Львов, ул. Степана Бандеры, 12

Дана краткая характеристика приборов вибрационного контроля и приведены основные требования к их проектированию. Рас-

смотрены результаты анализа горизонтальной и вертикальной составляющих вибраций подшипникового узла угольного конвейера, реализации которых были получены с помощью созданной в ФМИ НАН Украины переносной виброакустической системы. С использованием методов статистики периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП) установлены основные свойства характеристик периодической нестационарности второго порядка стохастической составляющей вибрации при наличии дефекта, обнаружена их высокая чувствительность к изменению параметров дефекта. Показано, что взаимный ПКСП-анализ составляющих вибрации дает возможность локализовать дефекты и устанавливать их типы. Библиогр. 10, рис. 13.

Ключевые слова: периодически коррелированные случайные процессы, приборы вибрационного контроля, интегральная и компонентная функция когерентности, нестационарный анализ, вибрационный сигнал

NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF UNITS OF
COMPLICATED MACHINERY COMPLEXES ACCORDING
TO MUTUAL STATISTIC CHARACTERISTICS OF
VIBRATION SIGNALS

R. M. YUZEFOVYCH^{1,3}, O. YU. DZERYN¹, I. Y. MATSKO¹,
I. M. YAVORSKYI^{1,2}, I.G. STETSKO¹

¹G. V. Karpenko Physical-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, 5, Naukova str., 79060, Lviv, Ukraine.

E-mail: roman.yuzefovych@gmail.com

²Institute of Telecommunications of the Technological and Natural University, 7, prof. S. Kaliskego ave., 85796, Bydgoszcz, Poland

³Lviv Polytechnic National University, Lviv, 12 Stepana Bandery str.

A brief description of vibration control devices and main requirements to their designing are given. The results of analysis of the horizontal and vertical components of vibrations of the bearing unit of the coal conveyor were considered, the realizations of which were obtained with the help of the portable vibroacoustic system created at the PhMI of the NAS of Ukraine. Using the methods of statistics of periodically correlated random processes (PCRP), the main properties of characteristics of the second-order periodic nonstationarity of the stochastic vibration component were established in the presence of a defect, their high sensitivity to change in the defect parameters was detected. It is shown that mutual PCRP-analysis of the vibration components makes it possible to localize the defects and establish their types. 10 – Ref., 13 – Fig.

Keywords: periodically correlated random processes, vibration control devices, integral and componentwise coherence function, non-stationary analysis, vibration signal

Надійшла до редакції
03.02.2017



Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики,
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, НВФ «Діагностичні прилади»
в дні роботи XVI Міжнародного промислового форуму-2017
(21-24.11.2017) проводить Науково-технічний семінар

**«Нові технології неруйнівного контролю і можливості їх практичного застосування
в машинобудуванні та суміжних галузях»**

Семінар відбудеться 22 листопада 2017 року у Міжнародному виставковому центрі за адресою:
м. Київ, Броварський проспект, 15 (ст. метро «Лівобережна»).