Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0525U000051

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-02-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Личак Олег Васильович
2. Oleh Lychak

Кваліфікація: к. т. н., с.д., 05.11.16

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-5559-1969

Вид дисертації: доктор наук

Аспірантура/Докторантура: ні

Шифр наукової спеціальності: 01.05.02

Назва наукової спеціальності: Математичне моделювання та обчислювальні методи

Галузь / галузі знань: Не застосовується

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 11-03-2025

Спеціальність за освітою: конструювання та виробництво радіоапаратури

Місце роботи здобувача: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): Д 58.082.02

Повне найменування юридичної особи: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, буд. 11, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 28, 28.29.03, 28.17, 28.17.05, 28.17.19

Тема дисертації:

1. Математичне моделювання нестаціонарних випадкових сигналів для виявлення дефектів механізмів на початкових стадіях розвитку

2. Mathematical modeling of the non-stationary random signals for detecting defects in mechanisms at the initial stages of their development

Реферат/анотація:

1. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему, котра полягає у розробці методів статистичного аналізу сигналів вібрацій пошкоджених механізмів на основі математичних моделей багатокомпонентних нестаціонарних випадкових процесів зі стохастичною амплітудно-фазовою модуляцією несучих гармонік і з використанням перетворення Гільберта досліджено їх кореляційно-спектральну структуру, що дає можливість встановлювати типи дефектів у механізмах, їх локалізацію та оцінювати ступінь розвитку. Проблема вирішена шляхом розробки та реалізації комплексного наукового підходу на основі методів теорії випадкових процесів, теорії сигналів, методів Фур'є-аналізу, методу малого параметру та методів обчислювальної математики. Вперше сформульовано означення ранньої стадії розвитку дефекту як періодично нестаціонарного випадкового процесу котрий супроводжується появою в реакції системи

прихованих коливань, котрі є періодично нестаціонарними випадковими сигналами (ПНВС). Встановлено, що періодичні нестаціонарності другого порядку (приховані періодичності) є результатом взаємних кореляцій вищих порядків між модулюючими процесами ПНВС. Проведений порівняльний аналіз когерентних та компонентних методів виявлення прихованих періодичностей. Розроблено теоретичні основи використання перетворення Гільберта для аналізу діагностичних ПНВС з широкосмуговою і вузькосмуговою високочастотними та амплітудно-фазовими модуляціями несучих. Показано, що аналітичний сигнал від ПНВС є також ПНВС. Встановлено, що застосування відомих методів "обвідної" для аналізу багатокомпонентних ПНВС з такими модуляціями є неслушним, оскільки квадрат модуля аналітичного сигналу, який називають "квадратом обвідної" є випадковим процесом, моментні функції якого змінюються періодично з часом. Показано, що стохастично амплітудно-фазово модульовані коливання ПНВС представляються суперпозицією високочастотних компонент, які є стаціонарними і взаємно періодично нестаціонарно зв'язаними випадковими процесами. Таке представлення зводить дослідження властивостей сигналу до аналізу кореляційних компонентів вищих порядків квадратур високочастотних несучих. Проведено теоретичні дослідження, показали слушність оцінок методами ПНВС функцій математичного сподівання, кореляційної функції та їх коефіцієнтів Фур'є. Встановлено, що частотний діапазон, в якому миттєва спектральна густина ПНВС змінюється за часом, визначається косинусними перетвореннями від косинусних і синусних кореляційних компонентів. Показано, що вибір смуги фільтрації сигналу ПНВС повинна базуватися на оцінках взаємних кореляцій високочастотних компонент вищих порядків, що дозволило та підвищити ефективність діагностування. Показано, що використання смугової фільтрації і перетворення Гільберта для виділення та аналізу кореляцій квадратур високочастотних гармонік дає змогу побудувати карту кореляцій, котра має характерні особливості для різних дефектів. Обґрунтовано процедури обробки діагностичних сигналів, які дають можливість виявити та описати в рамках моментних функцій ПНВП першого і другого порядків їх структуру, в тому числі структуру високочастотної, широкосмугової та амплітудно-фазової модуляцій. Розроблений підхід застосований до аналізу сигналів розподіленого і локального дефектів механізмів. В рамках моментних функцій першого і другого порядків описані основні закономірності та відмінності між сигналами таких дефектів. Проведена обробка реальних сигналів та описана їх кореляційна структура на основі побудованих карт кореляцій. Встановлено, що високочастотна модуляція несучих гармонік ПНВС моделі вібрацій підшипника є вузькосмуговою і може бути описана за формулами Райса. Показано, що кореляції квадратур модуляцій є повільно заникаючими осциляційними функціями часового зсуву, що зумовлює схожу форму кореляційних компонентів а інтервал заникання кореляційних компонентів є набагато більшим ніж період нестаціонарності. Основні результати дисертаційної роботи впроваджено у Фізико-механічному інституті НАН України при виконанні досліджень з розробки методів відбору та обробки сигналів для діагностики дефектів, у ТзОВ ФІРМА "ДІАЛАБ" ЛТД для проведення технічного діагностування приводів механізмів, у ТзОВ "ПОРТТЕХЕКСПЕРТ" для виявлення та оцінювання ступеня розвитку дефектів у підшипникових вузлах електродвигунів механізмів контейнерних перевантажувачів, у ТзОВ "ДП ВОРЛД ТІС ПІВДЕННИЙ" для аналізу діагностичних сигналів в процесі діагностування механізмів портових кранів, у ТзОВ "КИПЕР-ПЛАСТ" для оцінювання ступеня розвитку дефектів в обертових механізмах.

2. In this dissertation an important scientific and applied problem, which consists in developing methods for statistical analysis of vibration signals of damaged mechanisms was resolved, based on mathematical models of multicomponent non-stationary random processes with stochastic amplitude-phase modulation of carrier harmonics and, using the Hilbert transform, their correlation-spectral structure is investigated, which makes it possible to establish the types of defects in mechanisms, their localization and assess the degree of development. The problem was solved by means of developing and implementing approach, based on methods of stochastic process theory, signal theory, methods of Fourier analysis, the small parameter method, and methods of computational mathematics. For the first time, the definition of the early stage of defect development as a periodically nonstationary random process is formulated. It is accompanied by the appearance of hidden oscillations in the system response, which are periodically nonstationary random signals (PNRS). It is established

that second-order periodic nonstationarities (hidden periodicities) are result of higher-orders joint correlations between the modulating processes of PNRS. A comparative analysis of coherent and component methods for detecting hidden periodicities is carried out. Theoretical basics for using of the Hilbert transform for the analysis of diagnostic PNRSs, with wideband and narrowband high-frequency and amplitude-phase modulations of carriers, are developed. It is shown that the analytical signal of PNRS is also PNRS. It is established that the use of known methods of “envelope” for the analysis of multicomponent PNRS is inappropriate, since the square of the modulus of the analytical signal, which is called the “square of the envelope”, is a random process, its moment functions change periodically with time. It is shown that stochastically amplitude-phase modulated oscillations of PNRS can be represented by a superposition of high-frequency components, which are stationary and jointly periodically non-stationary joined random processes. Such a representation reduces the study of signal properties to the analysis of the correlation components of higher orders of quadratures of high-frequency carriers. Theoretical studies have been performed, showing the validity of estimates by PNRS methods of the functions of mathematical expectation, correlation function and their Fourier coefficients. It has been established, that the frequency range in which the instantaneous spectral density of PNRS signal changes over time is determined by cosine transformations from cosine and sine correlation components. It has been shown that filtering of the PNVS signal should be based on estimates of joint correlations of high-frequency components of higher orders, which increase the efficiency of diagnostics. It is shown that the use of bandpass filtering and the Hilbert transform for the extraction and analysis of correlations of quadratures of high-frequency harmonics allows building a correlation map that has characteristic features for various defects. Diagnostic signal processing procedures have been substantiated, which make it possible to detect and describe within the framework of the moment functions of the first and second orders of the PNVP their structure, including the structure of high-frequency, broadband and amplitude-phase modulations. The developed approach is applied to the analysis of signals from the distributed and local defects in mechanisms. Within the framework of the moment functions of the first and second orders, the main patterns and differences between the signals of such defects are described. Real signals were processed. Their correlation structure is described based on the constructed correlation maps. It is established that the high-frequency modulation of the carrier harmonics of the PNRS model of bearing vibrations is narrow-band and can be described using to Rice’s equations. It is shown that the correlations of the quadratures of modulations are slowly decaying oscillatory functions of the lag, which causes a similar shape of the correlation components and decay interval of the correlation components is much larger than the period of non-stationarity. The main results of the dissertation were implemented at the Institute of Physics and Mechanics of the NAS of Ukraine when performing research on the development of methods for extraction and processing signals for defects detection, at LLC FIRM “DIALAB” LTD for technical diagnostics of mechanism drives, at LLC “PORTTECHEXPERT” for detecting and assessing the degree of development of defects in the bearing units of electrical motors of container loaders mechanisms, at LLC “DP WORLD TIS PIVDENNYI” for the analysis of diagnostic signals during port crane mechanisms diagnosing , at LLC “KIPER-PLAST” for assessing the degree of development of defects in rotating mechanisms.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Matsko I. Hilbert transform for covariance analysis of periodically nonsta-tionary random signals with high-frequency modulation. ISA Transactions, 144, 2024, pp. 452–481.

- Javorskyj I., Matsko I., Yuzefovych R., Lychak O., Lys R. Methods of Hidden Periodicity Discovering for Gearbox Fault Detection. Sensors, 21, 2021, 6138.
- Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Trokhym G., Varyvoda M. Methods of periodically non-stationary random processes for vibrations monitoring of rolling bearing with damaged outer race. Digital Signal Processing: A Review Journal, 145, 2024, 104343.
- Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Slyepko R., Semenov P. Detection of distributed and localized faults in rotating machines using periodically non-stationary covariance analysis of vibrations. Measurement Science and Technology, 34, 2023, 065102.
- Lychak O., Holyns'kiy I. Evaluation of random errors in Williams' series coefficients obtained with digital image correlation. Measurement Science and Technology, 27(3), 2016, 035203.
- Lychak O., Holyns'kiy I. Improving the accuracy of derivation of the Williams' series parameters under mixed (I+II) mode loading by compensation of measurement bias in the stress field components data. Measurement Science and Technology, 27(12), 2016, 125203.
- Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Semenov P., Varyvoda M. Vibration analysis of the damaged bearing unit of the port crane lifting mechanism. Materials Science, 59(4), 2024.
- Sakharuk O., Muravs'kyi L., Holyns'kiy I., Lychak O. Determination of the field of local displacements by the digital speckle correlation method with adaptive segmentation of the images. Materials Science, 49(5), 2014, pp.660–666.
- Lychak O., Holyns'kyi I. Estimation of the accuracy of determination of the Williams coefficients under the conditions of normal cleavage. Materials Science, 48(5), 2013, pp. 664–670.
- Voronyak T., Kmet A., Lychak O. Single-step phase-shifting speckle interferometry. Materials Science, 43(4), 2007, pp.554–567.
- Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Semenov P. Methods and means of early vibration diagnostics of rotating components of mechanisms of quay container handlers. The Paton Welding Journal, 01, 2022, pp.48–58.
- Yuzefovych R., Javorskyj I., Lychak O., Trokhym G., Varyvoda M., Semenov P. Diagnostics of gear pair damage using the methods of biperiodically correlated random processes. Part 2. Investigation of vibration signals of the wind power generator gearbox. The Paton Welding Journal, 4, 2023, pp.45–53.
- Lychak O., Holyns'kyi I. Evaluation of stress field reconstruction errors near the crack tip of body under plain strain conditions. Information extraction and processing, 41(117), 2014, pp.63–69.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О. Перетворення Гільберта багатокомпонентних періодично нестаціонарних випадкових сигналів. Доповіді Національної академії наук України, 1, 2022, с.20–33.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О. Аналіз високочастотної модуляції несучих гармонік періодично нестаціонарного випадкового сигналу. Доповіді Національної академії наук України, 2, 2022, с.21–31.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О. Стохастичні моделі прихованих періодичностей та ефективні методи їх виявлення. Доповіді Національної академії наук України, 6, 2023, с.19–32.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О., Слєпко Р., Варивода М., Семенов П. Діагностика пошкоджень зубчатих пар методами біперіодично корельованих випадкових процесів. Частина 1. Теоретичні аспекти проблеми. Технічна діагностика та неруйнівний контроль, 4, 2022, с.4–11.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О., Трохим Г., Варивода М., Семенов П. Діагностика пошкоджень зубчатих пар методами біперіодично корельованих випадкових процесів. Частина 2. Дослідження вібраційних сигналів редуктора вітрогенератора. Технічна діагностика та неруйнівний контроль, 1, 2023, с.13–21.
- Юзефович Р., Яворський Р., Личак О., Гнатишин В., Варивода М. Виділення та аналіз детермінованої складової вібрацій методом найменших квадратів. Технічна діагностика та неруйнівний контроль, 2, 2023, с.17–21.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О., Комарницький Б., Хміль Р., Смірнова О. Дослідження кореляційної структури вібраційного сигналу підшипникових вузлів декантера. Технічна діагностика та неруйнівний

контроль, 2, 2024, с.3–10.
- Юзефович Р., Яворський І., Мацько І., Личак О., Трохим Г., Дзерин О., Стецько І. Пристрої для виявлення дефектів на ранніх стадіях їх зародження при визначенні технічного стану механізмів. Технічна діагностика та неруйнівний контроль, 4, 2020, с.8–16.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О., Варивода М., Стецько І. Методи та засоби ранньої вібродіагностики підшипникових вузлів обертових механізмів. Технічна діагностика та неруйнівний контроль, 2, 2021, с.30–37.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О., Семенов П. Методи та засоби ранньої вібродіагностики обертових вузлів механізмів причальних контейнерних перевантажувачів. Технічна діагностика та неруйнівний контроль, 4, 2021, с.25–34.
- Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Trokhym G., Varyvoda M. Stochastic model of the gearbox pair vibration. Information extraction and processing, 49 (125), 2021, pp.26–31.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О., Слєпко Р., Варивода М. Демодуляція нестаціонарного випадкового сигналу з використанням перетворення Гільберта. Відбір і обробка інформації, 50 (126), 2022, с.26–33.
- Яворський І., Юзефович Р., Личак О., Комарницький Б. Переваги моделі періодичного нестаціонарного випадкового процесу при обробці вібраційного сигналу. Відбір і обробка інформації, 51(127), 2023, с.23–31.
- Личак О., Глова З., Кметь А. Спектральні перетворення сигналів в різницевому спекл-інтерферометрі Ліндерця. Відбір і обробка інформації, 21 (97), 2004, с.74–79.
- Личак О., Глова З., Кметь А. Порівняльний аналіз методів виділення корисного сигналу в фазозсувних спекл-інтерферометрах. Відбір і обробка інформації, 25(101), 2006, с.91–98.
- Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Khmil R. The covariance analysis of the periodically non-stationary random signal with narrow-band modulation of carrier harmonics. Information Extraction and Processing, 52(128), 2024, pp.19–26.

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0104U004176, 0107U004068, 0110U000432, 0113U000306, 0116U004952, 0119U101061, 0121U110376, 0119U101190, 0122U002138

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Андрійчук Михайло Іванович

2. Mykhaylo I. Andriychuk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534430

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 3-б, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Литвиненко Ярослав Володимирович
2. Iaroslav Lytvynenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7311-4103

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, буд. 56, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Зварич Валерій Миколайович
2. Valerij Zvaritch

Кваліфікація: д. т. н., старший науковий співробітник, 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1271-4954

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут електродинаміки Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417236

Місцезнаходження: пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Саченко Анатолій Олексійович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Саченко Анатолій Олексійович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Дубчак Леся Орестівна
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна