

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
Українська державна академія залізничного транспорту

На правах рукопису

Михалків Сергій Васильович

УДК 629.488.27:621.822.614:620.179

**Удосконалення технології діагностування підшипників кочення
електричних двигунів тепловозів за вібраційними характеристиками**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Дисертація на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Науковий керівник
Бабанін Олександр Борисович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2007

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВІБРАЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ЛОКОМОТИВІВ.....	
	11
1.1. Аналіз відмов підшипників кочення колісно-моторних блоків локомотивів.....	11
1.2. Оптимізація застосування технології вібродіагностування для забезпечення життєвого циклу тягового рухомого складу.....	13
1.3. Аналіз методів вібраційного діагностування підшипників кочення.....	16
1.3.1. Діагностування за загальним рівнем вібрації.....	25
1.3.2. Діагностування за спектрами вібросигналів.....	25
1.3.3. Метод ударних імпульсів.....	25
1.3.4. Діагностування за спектрами огибаючих вібрації.....	26
Висновки.....	31
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ВІБРАЦІЙ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНОГО ТА ДЕТЕРМІНОВАНОГО ПІДХОДІВ.....	
	32
2.1. Стохастичний підхід до вирішення завдань вібродіагностування підшипників кочення електричних двигунів.....	32
2.1.1. Визначення багатовхідної моделі виникнення вібраційного процесу в підшипниках кочення.....	33
2.1.2. Застосування статистичних критеріїв для оцінки стаціонарності вібрацій підшипників кочення електричних двигунів.....	37

2.1.3. Використання статистичних гіпотез для побудови вирішальних правил під час проведення вібродіагностування.....	40
2.2. Застосування вейвлет-аналізу для цілей вібродіагностування підшипникових вузлів.....	42
2.2.1. Особливості використання алгоритму безперервного вейвлет-перетворення.....	43
2.2.2. Дослідження застосування алгоритму швидкого вейвлет- перетворення.....	48
2.3. Розробка моделі технології вібродіагностування підшипників кочення.....	51
Висновки.....	54
<i>РОЗДІЛ 3 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ЗА ХАРАКТЕРНИМИ ОЗНАКАМИ СПЕКТРІВ ВІБРАЦІЇ.....</i>	
3.1. Обґрунтування вибору фізичної моделі дослідження.....	56
3.2. Розробка засобів технічного діагностування.....	61
3.2.1. Вибір типу віброакселерометра.....	64
3.2.2. Вибір способів кріплення віброакселерометрів до вузлів, що діагностуються.....	66
3.3. Класифікація пошкоджень і діагностичні ознаки їх появи в підшипниках кочення.....	67
3.3.1. Виявлення діагностичних ознак в спектрах огинаючих вібрації підшипників кочення.....	68
Висновки.....	73
<i>РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ТЕПЛОВОЗІВ.....</i>	
4.1. Стендові дослідження діагностичних сигналів моторно- якірних підшипників тягових електричних двигунів.....	75

4.1.1. Діагностування підшипників кочення з використанням вищих моментів вібрацій.....	76
4.2. Дослідження зміни коефіцієнта ексцесу у різних частотних діапазонах.....	89
4.3. Дослідження вібраційних характеристик підшипників кочення ТЕД перед постановкою на ПР-3 спектральними методами.....	91
4.4. Розрахунок достовірності роботи засобів вібродіагностування тягового рухомого складу.....	105
4.4.1. Можливі варіанти, які виникають після проведення діагностування.....	105
4.4.2. Розрахунок показника достовірності.....	108
4.5. Визначення економічної ефективності впровадження програмно-апаратного комплексу.....	110
Висновки.....	116
ВИСНОВКИ.....	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	121
Додаток А.....	134
Додаток Б.....	138
Додаток В.....	145
Додаток Г.....	155
Додаток Д.....	157
Додаток Е.....	164

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП	аналого-цифровий перетворювач
БВП	безперервне вейвлет-перетворення
КМБ	колісно-моторний блок
ПР	поточний ремонт
ТЕД	тяговий електричний двигун
ТО	технічне обслуговування
ТРС	тяговий рухомий склад
ШВП	швидке вейвлет-перетворення
ШПФ	швидке перетворення Фур'є

ВСТУП

Одним із розповсюджених елементів будь-якої механічної системи є підшипникові вузли, різновид конструктивних виконань яких дає змогу успішно застосовувати їх у всіх галузях промисловості, в т.ч. на залізничному транспорті. Підшипникові вузли є відповідальними елементами, від технічного стану яких безпосередньо залежать надійність локомотиву та безпека руху. Зважаючи на важкі умови роботи даних вузлів на тяговому рухомому складі (ТРС), який вичерпав свій термін служби і експлуатується після вжитих заходів щодо подовження ресурсу, існує необхідність проведення періодичного контролю стану усіх елементів шляхом комплексного нерозбірного діагностування.

Актуальність теми

Підвищення ефективності, надійності, а також тривалості безпечної експлуатації електричних двигунів локомотивів пов'язане із необхідністю оцінки технічного стану підшипникових вузлів. Одними з ефективних засобів технічного діагностування є вібродіагностичні методи. Встановлено, що вібросигнал надає велику кількість інформації про технічний стан елементів підшипників кочення і може бути достовірним показником його працездатності.

Попередні дослідження переважно стосувалися спектральних методів аналізу вібросигналів, які базуються на Фур'є-перетворенні. Поряд із перевагами, це перетворення характеризується певними недоліками, основні з яких полягають в отриманні усереднених коефіцієнтів для всього досліджуваного сигналу нестационарного процесу. Це вимагає використання додаткових методів і пристроїв для якісної постановки діагнозу. Тому своєчасне виявлення виникнення та розвитку пошкоджень підшипників кочення і, як наслідок, підвищення якості проведення технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР) ТРС є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана на кафедрі „Експлуатація та ремонт рухомого складу” Української державної академії залізничного транспорту у межах науково-дослідних робіт за участю автора: „Удосконалення технології діагностування підшипників кочення електричних двигунів тепловозів за вібраційними характеристиками” (ДР 0107U003276, архів № 0307U001779), „Участь у попередніх та приймальних випробуваннях тепловозу ТЕП150, обробка результатів випробувань з наданням висновку Головної організації” (ДР 0105U000070, архів № 0205U006535).

Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності технології вібродіагностування пошкоджень елементів підшипників кочення електричних двигунів тепловозів на різних стадіях розвитку, забезпечення принципу нерозривності технології вібродіагностування.

Виходячи з цього, в дисертації поставлені наступні завдання:

- провести аналіз відмов вузлів тягових електричних двигунів (ТЕД) тепловозів із визначенням характерних несправностей, ідентифікація яких можлива із залученням засобів вібродіагностування;
- теоретично обґрунтувати методи вібродіагностування підшипникових вузлів ТЕД тепловозів із використанням стохастичного та детермінованого підходів аналізу вібраційних сигналів;
- розробити функціонально-логічну модель технології вібродіагностування із залученням елементів існуючих підходів та вейвлет-аналізу для отримання додаткових діагностичних ознак технічного стану підшипників кочення ТЕД;
- провести розрахунки коефіцієнтів ексцесу у частотних діапазонах підшипникових вібрацій, виділених із використанням алгоритму швидкого вейвлет-перетворення;

– дослідити зв'язок між розвитком вібраційних процесів у підшипникових вузлах ТЕД залежно від виду пошкодження елементів підшипників кочення, а також їх вплив на спектральні енергетичні складові;

– розробити та запропонувати до впровадження програмно-апаратний комплекс для вібродіагностування підшипникових вузлів ТЕД.

Об'єкт досліджень – процес вібродіагностування підшипників кочення електричних двигунів тепловозів.

Предмет досліджень – технологія вібродіагностування підшипників кочення електричних двигунів тепловозів.

Методи досліджень. Вирішення науково-прикладної задачі проводиться із залученням математичного апарату цифрової обробки вібраційних сигналів підшипникових вузлів ТЕД, дослідження вібраційних характеристик підшипників кочення – із використанням вейвлет-аналізу і статистичних методів.

Наукова новизна одержаних результатів

В дисертації:

– вперше розроблено функціонально-логічну модель технології вібродіагностування, що об'єднує стохастичні, детерміновані підходи з елементами вейвлет-аналізу. Реалізація цієї моделі дає змогу збільшувати показник достовірності вібродіагностування та значно розширити перелік ідентифікованих пошкоджень підшипників кочення;

– вперше досліджено вплив алгоритмів швидкого та безперервного вейвлет-перетворень на підвищення ефективності технології вібродіагностування в рамках розробленої моделі;

– вперше формалізовано комплексний характер технології вібродіагностування за допомогою використання найбільш інформативних методів, які дають змогу визначати технічний стан елементів підшипників кочення на підставі єдиного підходу;

– доопрацьовано технологію вібродіагностування підшипників кочення шляхом залучення в межах стохастичного підходу складових теорії перевірки статистичних гіпотез для класифікації пошкоджень за їх видами;

– доопрацьовано метод кількісного оцінювання технічного стану підшипників кочення в результаті визначення ексцесів у частотних діапазонах відновлених компонентів сигналу, які відповідають розрахованим вейвлет-коефіцієнтам.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення роботи полягає у використанні розробленої моделі і засобів вирішення науково-прикладної задачі підвищення ефективності технології вібродіагностування підшипників кочення під час виконання ТО та ПР ТЕД тепловозів у локомотивному депо Лозова Південної залізниці. Результати досліджень упроваджено в навчальний процес Інституту перепідготовки та підвищення кадрів Української державної академії залізничного транспорту з підготовки магістрів і спеціалістів за спеціальністю «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту».

Розроблені в дисертації загальні теоретичні положення і отримані результати експериментальних досліджень дозволяють вирішувати такі завдання:

– виконувати вібродіагностування підшипникових вузлів ТЕД створеним програмно-апаратним комплексом із інтегральним віброакселерометром поверхневого типу;

– отримувати частотно-часові вейвлет-спектрограми завдяки розробленому діагностичному алгоритму із виділенням інформативних частотних смуг;

– обчислювати вищі моменти вібрацій підшипникових вузлів ТЕД запропонованою програмою розрахунку значень імовірнісних вібраційних характеристик отриманих реалізацій;

– обґрунтовувати і реалізовувати на практиці принцип нерозривності технології вібродіагностування.

Особистий внесок здобувача

Усі результати дисертаційної роботи отримано особисто автором. В спільних публікаціях особистий внесок автора полягає в наступному:

– в [5] обґрунтована доцільність розробки методики оцінювання системи ТО й ПР на основі теорії корисності.

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертації доповідались, обговорювались і були схвалені на:

– 68-й, 69-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (Україна, м. Харків, 2006-07 рр.);

– 2-й науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія і управління”, Київський університет економіки і технологій транспорту, 2005 р., (м. Київ);

– 2-му міжнародному науково-практичному семінарі “Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур”, Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури, 2006 р.;

– конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем машинобудування ім. А.Н. Підгорного НАН України “Сучасні проблеми машинобудування”, 2006 р. (м. Харків).

Публікації

За матеріалами дисертації опубліковано 7 наукових праць, із яких 6 – у наукових виданнях, затверджених ВАК України, 1 публікація – у матеріалах і тезах конференцій. Подано 1 заявку на винахід.

Структура та обсяг дисертації

Повний обсяг дисертації становить 168 сторінок комп’ютерного тексту (основний текст 119 сторінок). Вона складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (140 найменувань, з них 29 – іноземними мовами) і 6 додатків. Дисертація містить 8 таблиць і 35 рисунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Авакян В.А., Мадатов В.Р., Мартиросян Г.Л., Саргсян С.А.* Автоматизированная система вибродиагностики дефектов электрических машин // *Электротехника*. – 1980. – №3. – С. 30 – 32.
2. *Айфичер Эммануил С., Джервис Барри У.* Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
3. *Андерсон Т.* Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 755 с.
4. *Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // *Успехи физических наук*. – 1996. – Т. 166, №11. – С. 1145 – 1170.
5. *Бабанін О.Б., Михалків С.В.* Оцінювання системи обслуговування та ремонту локомотивів на основі теорії корисності // *Зб. наук. пр.* – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип.57. – С. 21 – 26.
6. *Бакшис А.К., Рагульскис К.М., Тамонюшас Ю.К.* Исследование вибраций электрических машин статистическими методами // *Науч. тр. вузов ЛитССР. Вибротехника*. – 1972. – Т. 16, №3. – С. 43 – 49.
7. *Барков А.В., Баркова Н.А.* Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ Вибрации. – СПб.: СПбГМТУ, 2004. – 156 с.
8. *Барков А.В., Баркова Н.А., Федорищев В.В.* Вибрационная диагностика колесно-редукторных блоков на железнодорожном транспорте. – СПб.: СПбГМТУ, 2002. – 98 с.
9. *Баркова Н.А.* Оптимизация методов диагностики подшипников качения по высокочастотной вибрации // *Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования*. – 2000. – №5. – С. 37 – 45.
10. *Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В.* Подшипники качения. Справочник. – М.: Машиностроение, 1975. – 362 с.
11. *Бендат Д., Пирсол А.* Применение корреляционного и спектрального анализа. – М.: Мир, 1982. – 362 с.

12. *Береговой А.И., Быстриков А.Ф., Котвицкий Н.Н. и др.* Вибродиагностика электрических машин. Статистический подход и устройство. – К., 1984. – 56 с. (Препр./АН УССР. Ин-т электродинамики; 364).
13. *Биргер И.А.* Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 211 с.
14. *Блаттер К.* Вейвлет–анализ. Основы теории. – М.: Техносфера, 2004. – 280 с.
15. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1965. – 482 с.
16. *Браун, Датнер.* Анализ вибраций роликовых и шариковых подшипников: Пер. с англ. // Конструирование и технология машиностроения. – 1979. – Т. 101, №1. – С. 65 – 82.
17. *Бриллинджер Давид Р.* Временные ряды. Обработка данных и теория. – М.: Мир, 1980. – 536 с.
18. *Вибрации в технике: Справочник.* Т. 31 / Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.
19. *Вибрация энергетических машин.* Справоч. пособ. / Под ред. Н.В. Григорьева. – Л.: Машиностроение, 1974. – 464 с.
20. *Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов /* Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. – М.: Наука, 1984. – 120 с.
21. *Вильнер Л.Д.* Виброскорость как критерий вибрационной напряженности упругих систем. // Проблемы прочности. – 1970. – №9. – С. 42 – 45.
22. *Волков Л.К., Ковалев Р.Н., Никифорова Г.М и др.* Вибрации и шум электрических машин малой мощности. – Л.: Энергия. 1979. – 206 с.
23. *Генкин М.Д., Соколова А.Г.* Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
24. *Гершман С.Т., Дубравский Н.Г.* Спектрально-корреляционный анализ вибраций подшипников качения // Борьба с шумом и вибрациями. – М.: Госстройиздат, 1966. – С. 83 – 89.

25. *Гюев З.Г.* Виброакустическая диагностика тяговых двигателей локомотивов. // Синтез тяговых электрических машин и повышения их надежности в эксплуатации: Тр. РИИЖТ. – Ростов, 1984. – Вып. 175. – С. 24 – 30.

26. *Гюев З.Г.* Исследование по виброакустической диагностике тепловозного дизеля 2Д100: Дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07. – Ростов-на-Дону, 1971. – 183 с.

27. *Гюев З.Г.* Основы виброакустической диагностики тяговых приводов локомотивов: Дис. ...докт. техн. наук: 05.22.07. – Ростов-на-Дону, 1998. – 382 с.

28. *Гнеденко Б.В.* Курс теории вероятностей. – М.: Физматгиз, 1961. – 406 с.

29. *Гольдин А.С.* Вибрация роторных машин: – 2-е изд. исправл. – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.

30. *Горбунов А.А., Диментберг Н.Ф.* Некоторые задачи диагностики для колебательной системы с периодическим параметрическим возбуждением // Механика твердого тела. – 1974. – №2. – С. 49 – 52.

31. *Дайер Д., Стюарт Р.* Обнаружение повреждений подшипника качения путем статистического анализа вибраций // Тр. амер. о-ва инж.-мех. Конструирование и технология машиностроения. – 1978. – Т. 100, №2. – С. 23 – 31.

32. *Дж. Беллай, А. Пирсол.* Измерения и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1971. – 408 с.

33. *Дзюба В.И., Полнастеров К.В.* Оценка состояния смазочной пленки в опорах качения // Вестник машиностроения. – 1986. – №5. – С.8 – 11.

34. *Диментберг М.Ф., Горбунов А.А.* Некоторые задачи диагностики колебательной системы со случайным параметрическим возбуждением // Приклад. механика. – 1975. – №4. – С. 71 – 75.

35. *Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В.* Теория вероятностей и математическая статистика в технике (Общая часть). – М.: Гостехтеоретиздат, 1955. – 556 с.

36. *Дьяконов В.П.* MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

37. *Заболотний О.В, Михайлинин В.Ю.* Вібродіагностика підшипників кочення методами періодично корельованих випадкових процесів // Відбір і обробка інформації. – 2002. – №14(90). – С. 53 – 58.

38. *Інструкція з технічного обслуговування та ремонту вузлів з підшипниками кочення локомотивів та моторвагонного рухомого складу ЦТ – 0101 від 30.07.2004.* – К.: 2004. – 153 с.

39. *Калько В.А., Тартаковский Э.Д.* Техническое диагностирование тепловозов в депо // Железнодорожный транспорт. – 1984. – №7. – С. 48 – 52.

40. *Кендалл М.Дж., Стюарт А.* Теория распределений. – М.: Наука, 1966. – 392 с.

41. *Кириякин А.В., Железная И.Л.* Акустическая диагностика узлов и блоков РЭА. – М.: Радио и связь, 1984. – 192 с.

42. *Коварский Е.М., Малыгин В.М., Горбунов А.Г.* Ударно-импульсный метод диагностики начального разрушения подшипников качения // Электротехника. – 1981. – №1. – С. 57 – 59.

43. *Коллакот Р.А.* Диагностирование механического оборудования: пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980. – 296 с.

44. *Короновский А.А., Храмов А.Е.* Введение в непрерывный вейвлетный анализ для специалистов в области нелинейной динамики // Прикладная нелинейная динамика. – 2001. – Т. 9, №4, 5. – С. 3 – 50.

45. *Косенко Г.Д., Гиоев З.Г., Бабаков В.П.* Техническая диагностика машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 322 с.

46. *Крамер Г.* Математические методы статистики. – М.: Высш. шк., 1974. – 563 с.

47. *Крючков Ю.С.* Влияние зазора на вибрацию и шум подшипников качения // Вестник машиностроения. – 1959. – №8. – С. 30 – 39.
48. *Ксистрис Г.Д., Боаст Г.К., Санкар Г.С.* Анализ вибрационных сигналов машин во временной области с помощью цифровой техники // Тр. амер. об-ва инж.-мех. Конструирование и технология машиностроения. – 1980. – Т. 102, №2. – С. 15 – 22.
49. *Курочкин А.Л., Гиоев З.Г., Косенко Г.Д.* Диагностика агрегатов локомотивов // Повышение надежности, ремонтпригодности ЭПС. – Тр. МИИТ. – 1982. – Вып. 703. – С. 58 – 62.
50. *Лукач Е.* Характеристические функции. – М.: Наука, 1979. – 424 с.
51. *Мартин Анжелло.* Мониторизация механических колебаний машинного оборудования // Брюль и Кьер. Технический обзор. – 1987 – №3 – С. 25 – 29.
52. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. – Киев.: Наукова думка, 1992. – 210 с.
53. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Диагностирование подшипников качения электрических машин с использованием третьего и четвертого моментов их вибраций // Техн. электродинамика. – 1986. – №5. – С. 50 – 56.
54. *Методические* рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте (ВНИИЖТ МПС). – М.: Транспорт, 1991. – 239 с.
55. *Микита Г.И.* Виброакустическая диагностика подшипниковых узлов тягового привода вагонов метрополитена серии 81–717, 81–714: Дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07. Москва, 1999 – 168 с.
56. *Михалків С.В.* Діагностування підшипників кочення тягових електричних двигунів тепловозів із використанням третього і четвертого моментів їх вібрації // Перспективи розвитку рухомого складу залізниць. Зб. наук. пр. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип.76. – С. 68 – 76.
57. *Михалків С.В.* Засоби і методи отримання та обробки сигналів під час вібродіагностики підшипникових вузлів тягових електричних двигунів

тепловозів // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Зб. наук. пр. Тем. вип.: Транспортне машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – № 26. – С. 137 – 142.

58. *Михалків С.В.* Застосування вейвлету Морле для визначення технічного стану підшипників кочення // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – Вып. 1/2 (25). – С. 126 – 128.

59. *Михалків С.В.* Особливості використання вейвлетного аналізу для цілей вібраційної діагностики підшипникових вузлів електричних двигунів тепловозів // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – Вып. 6/3 (24). – С. 12 – 14.

60. *Михалків С.В.* Удосконалення вібродіагностики підшипників кочення тягових електричних двигунів тепловозів із використанням вейвлетного аналізу // Тезисы докладов конференции молодых ученых и специалистов Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины «Современные проблемы машиностроения». – Харьков, 2006. – С. 13.

61. *Михалків С.В.* Удосконалення вібродіагностики підшипникових вузлів електричних машин за рахунок використання вейвлетного аналізу // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. Харьковская национальная академия городского хозяйства. – К.: Техніка, 2006. – Вып.72. – С. 299 – 304.

62. *Мозгалеvский А.В., Волинский В.И., Гаскаров Д.В.* Техническая диагностика судовой автоматики. – М.: Судостроение, 1972. – 291 с.

63. *Мозгалеvский А.В., Гаскаров Д.В.* Техническая диагностика (непрерывные объекты): Учебн. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 207 с.

64. *Мэтью Д., Альфредсон Р.* Применение вибрационного анализа для контроля технического состояния подшипников качения: пер. с англ. // Конструирование и технология машиностроения. – 1984. – Т. 106, №3. – С. 100 – 108.

65. *Неразрушающий контроль: Справочник: Т. 7: В 2 кн. Кн. 2 / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.*

66. *Орлов М.В., Тагиров А.Ф., Сидоров С.В., Зерницкий Б.А. Диагностика роликовых подшипников // Железнодорожный транспорт. – 1985. – №7. – С. 53 – 55.*

67. *Основы цифровой обработки сигналов. Курс лекций / Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. Изд. 2-е испр. и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.*

68. *Осяев А.Т., Сергеев А.А. Проблемы использования вибро-диагностических комплексов. // Локомотив. – 2006. – №5. – С. 35 – 36.*

69. *Осяев А.Т., Смирнов В.А. Перспективы вибродиагностики. // Локомотив. – 2006. – №6. – С. 40 – 41.*

70. *Павлов В.В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1971. – 427 с.*

71. *Пархоменко П.П. Основы технической диагностики. – М.: Энергия, 1976. – 467 с.*

72. Пат. 311284 США, МКИ G01M13/04. Метод и аппаратура для определения механического состояния машин: Пат. 311284 США, МКИ G01M13/04 Е.О. Сехоль (США). – № 709451; Заявл. Швецией 29.02.68; Оpubл. 12.01.71. Официальный бюллетень (США), Т. 882. – № 2 – с. 24.

73. Пат. 2003961 RU, МКИ 5G01M13/04. Способ диагностики подшипников качения / В.С. Потапенко, А.Х. Рахманов (RU). – №5007915/27; Заявлено 14.08.91; Оpubл. 30.11.93, Бюл. № 43 – 44. – 12 с.

74. Пат. 2153660 RU, МКИ G01M13/04. Способ и устройство вибродиагностики роторных механизмов / В.Ю. Тэттер, В.И. Щедрин, В.В. Плотников (RU). – №99113680/28; Заявлено 23.06.99; Оpubл. 27.07.00, Бюл. №21. – 124 с.

75. Пат. 2177607 RU, МКИ G01M13/04. Способ и устройство диагностирования циклически функционирующих объектов / В.Ю. Тэттер,

В.И. Щедрин, А.А. Горохов (RU). – №2000120090/28; Заявлено 27.07.00; Опубл. 27.12.01, Бюл. №36. – 32 с.

76. *Погребняк А.В.* Совершенствование методики диагностирования подшипников тепловозных турбокомпрессоров по вибрационным характеристикам: Дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 – Днепропетровск, 1990 – 164 с.

77. *Попков В.И.* Виброакустическая диагностика и снижение виброактивности судовых механизмов. – Л.: Судостроение, 1971. – 221 с.

78. *Попков В.И., Демирчян К.С.* Проблемы диагностики и прогнозирования надежности энергетического оборудования // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1979. – №6. – С. 3 – 11.

79. *Приборы* и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1978. – Кн. 1. – 448 с. – Кн. 2 – 439 с.

80. *Прохоров Ю.В., Розанов Ю.А.* Теория вероятностей. – М: Наука, 1973. – 534 с.

81. *Рагульскис К.М., Ионушас Р.А., Бакшис А.К. и др.* Вибрации машин. – Вильнюс: Мокслас, 1976. – 232 с.

82. *Рагульскис К.М., Юркаускас А.Ю.* Вибрация подшипников / Под ред. К.М. Рагульскиса – Л.: Машиностроение, 1985. – 119 с.

83. *Рагульскис К.М., Юркаускас А.Ю., Аступенас В.В. и др.* Вибрации подшипников. – Вильнюс: Минтис, 1974. – 392 с.

84. *Рендалл Р.Б.* Частотный анализ. – Глоструп.: Изд-во Брюль и Кьер, 1989. – 456 с.

85. *Ротанов Н.А., Ридель Э.Э., Рамлов В.А., Чудаков Ю.К., Аватков А.А., Зайцев В.К.* Актуальные вопросы создания системы диагностики электроподвижного состава. // Сб. научных трудов. – М.ВЗИИТ, – Вып.138. – С. 4 – 14.

86. *Рыбников Е.К., Раилов В.А.* Диагностика подшипников качения // Электрическая и тепловозная тяга. – 1981. – №6. – С. 12 – 13.

87. *Смирнов В.А., Сергеев А.А.* Вибродиагностика в действии. // Локомотив. – 2006. – №4. – С. 38 – 41.

88. *Смоленцев Н.К.* Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

89. *Спосіб* вібраційної діагностики підшипників кочення: Заявка на винахід а 2006 10401 UA, МПК 7G01M13/04. / Е.Д. Тартаковський, О.Б. Бабанін, А.О. Каграманян, С.В. Михалків, А.М. Ходаківський (UA). – Заявл. 2.10.06 р.

90. *Способ* контроля технического состояния подшипников качения: А.с. 1691702 СССР, МКИ G01M13/04. / А.И. Захарченко, В.И. Матвеев, Л.А. Аранович, В.А. Романов, Ю.И. Апратов (СССР). – № 4732056/27; Заявл. 22.09.89; Оpubл. 15.11.91, Бюл. №42. – 25 с.

91. *Способ* прогнозирования срока службы сепараторов подшипников: А.с. 1281954 СССР, МКИ 4G01M13/04. / В.С. Лукьянов, М.В. Задорнова, И.Л. Гликсон (СССР). – № 3924836/25-27; Заявл. 04.07.85; Оpubл. 07.01.87, Бюл. № 1. – 4 с.

92. *Тартаковский Э.Д., Игуменцев Е.А., Погребняк А.В.* Вибродиагностика подшипников скольжения турбокомпрессоров, используемых в системе наддува дизелей // Сб. научных трудов. ХИИТ – Харьков, 1990. – 16 с. – Деп. ЦНИИТЭИ МПС, № 5267.

93. *Тартаковский Э.Д., Игуменцев Е.А., Погребняк А.В.* Вибродиагностика подшипников скольжения турбокомпрессоров с помощью кепстра // Сб. научных трудов. ХИИТ – Харьков, 1990. – 15 с. – Деп. ЦНИИТЭИ МПС, № 5266.

94. *Тартаковский Э.Д., Игуменцев Е.А., Погребняк А.В.* Совершенствование технологии диагностирования подшипников качения по вибрационным характеристикам / Сб. тр. ХИИТ – Харьков, 1990. – 20с. – Деп. ЦНИИТЭИ МПС, № 5135.

95. *Тартаковский Э.Д.* Маршрутная технология технического обслуживания локомотивов с применением диагностики //Сб. тр. МИИТ. – 1982. – Вып. 705. – С. 30 – 33.

96. *Тартаковский Э.Д.* Основы автоматизации, технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов: Учеб. пособие. Часть 1 – Харьков: ХИИТ, 1987. – 72 с.

97. *Тейлор Я.И.* Идентификация дефектов подшипников с помощью спектрального анализа // Тр. амер. о-ва инж.-мех. Конструирование и технология машиностроения. – 1980. – Т. 102, – №2. – С. 1 – 8.

98. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.

99. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образцов. – М.: Мир, 1978. – 411 с.

100. *Тэттэр В.Ю.* Разработка технологий и оборудования для вибро-диагностирования колесно-моторных блоков локомотивов: Дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07. – Омск, 2005 – 192 с.

101. *Тэттэр В.Ю., Тэттэр А.Ю., Барайщук В.С.* Диагностирование подшипниковых и редукторных узлов на переходных режимах // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, – 2005. – С. 236 – 239.

102. *Уилкс С.* Математическая статистика. – М.: Наука, 1967. – 632 с.

103. *Федоров Д.В.* Акустико-эмиссионная диагностика подшипниковых узлов при ремонте локомотивов: Дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07. СПб., 2006 – 222 с.

104. *Федоров Д.В.* Акустико-эмиссионный метод диагностики технического состояния подшипниковых узлов локомотивов. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика – 2004. – №4. – С. 58 – 63.

105. *Шефе Г.* Дисперсионный анализ. – М.: Физматгиз, 1963. – 625 с.

106. *Юркаускас А.Ю.* Методы и критерии диагноза подшипниковых узлов / Рук. деп. в ЛитНИИТИ, Вильнюс, 1980. – 88 с.

107. *Юркаускас А.Ю.* Средства и методы диагноза подшипниковых узлов / Рук. деп. в ЛитНИИТИ. – Вильнюс, 1982. – 188 с.
108. *Яблоков А.Е.* Вибродиагностика основного технологического оборудования размольного отделения мельницы: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.02.13/ Моск. гос. ун-т. пищ-ых пр-в. –М., 2001. – 21 с.
109. *Явленский К.Н., Явленский А.К.* Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем – Л.: Машиностроение, 1983. – 239 с.
110. *Яковлев А.Н.* Основы вейвлет-преобразования сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 128 с.
111. *Barkov A.V., Barkova N.A., Mitchell J.S.* Condition Assessment and Life Prediction of Rolling Element Bearings // Sound and Vibration, Part 2. –1995. – P. 27 – 31.
112. *Boto P.A.* Detection of bearing Damage by Shock pulse Measurement // Ball Bear.j. – 1971. – №167 – P. 123 – 138.
113. *Broch J.T.* Mechanical vibration and shock measurement. – Bruel & Kjaer, Denmark, 1984. – P. 139.
114. *Cempel C., Staszewski W.J.* Signal demodulation techniques in vibroacoustical diagnostics of machinery. // Machine Dynamics Problems, vol. 2. – 1991. – P. 161 – 174.
115. *Chui C.K.* An Introduction to Wavelets. – Academic Press Inc., 1992. – P. 238.
116. *Classen T.A.C.M., Mecklenbrauker W.F.G.* The Wigner Distribution – A Tool for Time-Frequency Signal Analysis Continuous Time // Signals. Philips J. Res. – 1980. – Vol. 35. - P. 217 – 250.
117. *Daubechies I.* Ten lectures on wavelets. – SIAM, Philadelphia, 1992. – P. 193.
118. *Dowling M.J.* Application of non-stationary analysis to machinery monitoring. //IEEE. – 1993. – P. 25 – 36.
119. *Duncan L. Carter,* U.S. Patent Number 5,477,730. "Rolling Element Bearing Condition Testing Method and Apparatus" issued December 26. 1995.

120. *Gabor D.* Theory of Communication // J. IEEE. – 1946. – Vol. 93. – P. 429 – 457.
121. *Geng and L. Qu.* Vibrational diagnosis of machine parts using the wavelet packet technique // Insight. – 1994. – Vol.36 – P. 11 – 15.
122. *Harrison G., Koren I., Lewis M.P., Taylor F.J.* Application of wavelet and Wigner analysis for bearing fault detection processing // Proc. of SPIE. – 1998. – Vol. 3391. – P. 490 – 501.
123. *Ioannides E., Harris T.A.* Ein neues Modell für die Ermüdungslebensdauer vor Walzlager – Kugellager //Zeitschrift. – 1986. – №224. – P. 2 – 22.
124. *James C. Li and J. Ma.* Wavelet Decomposition of Vibrations for Detection of Bearing Localized Defects // NDT&E International. – 1997. – Vol. 30. – №3. – P. 143 – 149.
125. *Lee S.K., White P.R.* Higher-order time-frequency analysis and its application to fault detection in rotating machinery // Mechanical Systems and Signal Processing. – Vol. 11. – №4. – P. 637 – 650.
126. *Lin J., Qu, L.* Feature extraction based on Morlet wavelet and its application for mechanical fault diagnosis // Journal of Sound and Vibration. – 2000. – Vol. 234. – №1. – P. 135 – 148.
127. *Meng Q.F., Qu L.S.* Rotating machinery faults diagnosis using Wigner distribution // Mechanical System and Signal Processing. – 1995. – P. 155 – 166.
128. *Newland D.E.* Wavelet analysis of vibration, Part I: Theory // Journal of Vibration and Acoustics. – 1994. – Vol. 116. – P. 409 – 416.
129. *Newland D.E.* Wavelet analysis of vibration, Part II: Wavelet Maps. // Journal of Vibration and Acoustics. – 1994. – Vol. 116. – P. 417 – 425.
130. *Ogden R.T.* Essential Wavelets for Statistical Applications and Data Analysis. – Boston, 1997. – P. 124.
131. *Randall R.B.* Cepstrum analysis and gearbox fault diagnosis. – Bruel & Kjaer Application Notes, Denmark, 1981. – P. 125.

132. *Rodriguez R.M., Cristalli C, Paone N.* Comparative study between laser vibrometer and accelerometer measurements for mechanical fault detection of electric motors. // SPIE Proceedings. – 2002. – Vol. 4827. – P. 521 – 529.

133. *Rubini R., Meneghetti U.* Application of the envelope and wavelet transform analyses for the diagnosis of incipient faults in ball bearings // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2001. – Vol. 15. – №2. – P. 287 – 302.

134. *Safizadeh M.S., Lakis A.A., Thomas M.* Time-Frequency Algorithms and Their Application // International Journal of Computers and Their Applications. – 2000. – Vol. 7. – №4. – P. 1 – 20.

135. *Staszewski W.J., Tomlinson G.R.* Application of the wavelet transform to fault detection in a spur gear // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1994. – Vol. 8. – P. 289 – 307.

136. *Staszewski W.J., Tomlinson G.R.* Local tooth fault detection in gearbox using a moving window procedure // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1997. – Vol. 11. – №3. – P. 331 – 350.

137. *Tandon N., Choudhury A.* A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings // Tribology International. – 1999. – Vol. 32. – №8. – P.469 – 480.

138. *Vandergheynst P., Antoine J.-P., E. Van Vyve, Goldberg A., Doghri I.* Modeling and simulation of an impact test using wavelets, analytical solutions and finite elements // International Journal of Solids and Structures. – 2001. – Vol. 38. – P. 5481 – 5508.

139. *Wang W.J., McFadden P.D.* Application of wavelets to gearbox vibration signals for fault detection // Journal of Sound and Vibration. – 1996. – Vol. 192. – P. 927 – 939.

140. *Wang W.J.* Wavelets for detecting mechanical faults with high sensitivity // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2001. – Vol. 15. – №4. – P. 685 – 696.