

УДК 621.317.747; 621.129.13

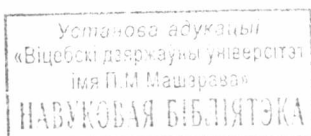
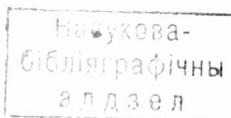
**Кан
Шоучян**

**ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
УЗЛОВ НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОД
И МАШИН НА ОПОРНЫХ ВЕКТОРАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**по специальности 05. 13. 01 – системный анализ, управление и
обработка информации**



Минск, 2011

32.811.3.2031
k79

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Работа выполнена в Белорусском государственном университете.

Научный руководитель –

Микулович Владимир Иванович,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры радиофизики и цифровых
медиатехнологий Белорусского
государственного университета.

Официальные оппоненты:

Петровский Александр Александрович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой электронных
вычислительных средств учреждения
образования «Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники»;

Ишин Николай Николаевич,
кандидат технических наук, доцент,
начальник отделения компьютерного
проектирования автомобильной техники
ГНУ «Объединенный институт машиноведения
Национальной академии наук Беларуси».



* 20504245 *

Оппонирующая организация –

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук
Беларуси».

Защита состоится 17 июня 2011 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.14 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8 (корпус юридического факультета), ауд. 407; телефон ученого секретаря 209-57-09.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «/4» мая 2011 г.

Ученый секретарь совета

по защите диссертаций

доктор физико-математических наук, доцент

В. А. Саечников

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Среди многочисленных методов технической диагностики наиболее перспективными являются вибрационные. Возникающие в машинах и механизмах колебательные процессы являются высокоинформативными, достаточно полно отображают техническое состояние отдельных вращающихся узлов. Однако определение необходимой диагностической информации и ее использование представляют весьма сложные задачи, связанные с обработкой чрезвычайно больших объемов входных данных, которые в большинстве случаев являются нестационарными, и необходимостью их обработки в реальном масштабе времени. Кроме того, успешное применение методов вибрационной диагностики предполагает решение целого ряда взаимосвязанных задач, основными из которых являются:

1. Выделение сигналов от источников возбуждения повышенной колебательной энергии в исследуемых сложных механических изделиях.
2. Формирование системы информативных диагностических признаков, чувствительных к изменению технического состояния.
3. Разработка алгоритмов классификации текущего технического состояния отдельных узлов диагностируемых машин.

Несмотря на существенные успехи в практике обработки вибрационных сигналов решение большинства перечисленных задач еще не доведено до своего завершения. Так, применяемый в большинстве случаев классический спектральный анализ, не всегда позволяет получать достоверную диагностическую информацию вследствие того, что анализируемые вибрационные сигналы на самом деле не являются стационарными. Такие же методы обработки нестационарных сигналов, как оконное преобразование Фурье, распределение Вигнера-Вилле и вейвлет-преобразование в вибрационной диагностике не получили достаточно широкого применения из-за значительной сложности интерпретации получаемых результатов.

В данной диссертации для задачи обнаружения и классификации дефектов вращающихся механических узлов разработаны методы формирования диагностических признаков на основе преобразования Гильберта – Хуанга вибрационных сигналов, под которым понимается совокупность метода эмпирической декомпозиции мод обрабатываемых сигналов и гильбертова спектрального анализа. Данное преобразование в целом представляет собой частотно-временной анализ данных и не требует априорного функционального базиса.

Для автоматизированного обнаружения и классификации дефектов механических узлов разработана улучшенная гиперсферная многоклассовая машина на опорных векторах.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Диссертационная работа выполнена на кафедре радиофизики и цифровых медiateхнологий Белорусского государственного университета в рамках НИР «Исследование вибрационных процессов в элементах конструкций промышленного оборудования, разработка экспертной системы для автоматизированной диагностики и прогнозирования его технического состояния» государственной комплексной программы научных исследований на 2006–2010 годы «Развитие физических принципов взаимодействия полей с материалами, создание высокоэффективных и конкурентоспособных методов, средств и информационных технологий неразрушающего контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния промышленных объектов» (ГКПНИ «Техническая диагностика») и НИР «Создание научных основ и средств автоматизированной оценки технического состояния механических систем при нестационарных режимах их работы» государственной программы научных исследований на 2011–2015 годы «Развитие научных основ механики технических систем, методов и средств их диагностики, создание и совершенствование технологических процессов в металлургии и машиностроении» (ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия»).

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка методов и алгоритмов обнаружения и классификации дефектов вращающихся механических узлов на основе метода эмпирической декомпозиции мод вибрационных сигналов и машин на опорных векторах.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Разработать методику анализа вибрационных сигналов на основе преобразования Гильберта – Хуанга для обнаружения дефектов механических узлов.
2. Разработать методику обнаружения дефектов на основе спектрального анализа эмпирических мод вибрационных сигналов.
3. Разработать алгоритмы формирования диагностических признаков на основе эмпирических мод вибрационных сигналов.
4. Разработать алгоритмы обнаружения и классификации дефектов на основе машин на опорных векторах и проверить их эффективность.

Объектом исследования являются вибрационные сигналы вращающихся механических узлов. Предметом исследования являются методы и алгоритмы обработки сигналов и экспериментальных данных.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Положения, выносимые на защиту

1. Методика обработки вибрационных сигналов, основанная на преобразовании Гильберта – Хуанга, позволяющая лучше выявлять и отображать все детали частотно-амплитудной модуляции анализируемых сигналов и обеспечивающая их разложение на эмпирические моды, необходимые для формирования диагностических признаков.

2. Методика диагностики вращающихся механических узлов на основе спектрального анализа огибающей высокочастотных составляющих эмпирических мод вибрационных сигналов, обеспечивающая обнаружение дефектов на ранней стадии их развития.

3. Методика классификации дефектов на основе разработанной улучшенной гиперсферной многоклассовой машины на опорных векторах, отличающаяся от известной новым правилом классификации и позволяющая повысить точность при незначительном увеличении временных затрат.

4. Алгоритмы формирования диагностических признаков на основе сингулярного разложения и авторегрессионной модели эмпирических мод вибрационных сигналов, которые совместно с улучшенной гиперсферной многоклассовой машиной на опорных векторах позволяют получить более высокую точность обнаружения и классификации дефектов по сравнению с известными.

Личный вклад соискателя

Основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Все алгоритмы, представленные в диссертационной работе, были разработаны и экспериментально проверены автором самостоятельно. Научный руководитель принимал участие в постановке задач исследования, их предварительном анализе, а также в обсуждении полученных результатов. Соавторы опубликованных работ принимали участие в обсуждении промежуточных и конечных результатов. Обработка, интерпретация данных, а также выводы сделаны автором самостоятельно.

Апробация результатов диссертации

Отдельные положения работы докладывались и обсуждались на конференциях различного уровня: на третьей международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» (Могилев, Белорусско-Российский университет, 2009); на международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии» (Белгород, Белгородский государственный университет, 2009); на восемнадцатой ежегодной международной конференции «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» (Ялта, Украинский информационный Центр “НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ”, 2010); на международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

IST'2009, IST'2010» (Минск, БГУ, 2009, 2010); на международной научно-практической конференции «Информационные технологии электронные приборы и системы ITEDS'2010» (Минск, БГУ, 2010); на VII Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Минск, БГУИР, 2009); на 66 научной конференции студентов и аспирантов (Минск, БГУ, 2009); на Республиканской научно-технической конференции «Техническая диагностика» (2006–2010 гг.), посвященной 110-летию со дня рождения академика АН БССР Н.С. Акулова (Минск, Институт прикладной физики НАН Беларуси, 2011).

Программный комплекс «Система обнаружения дефектов вращающихся механических узлов» внедрен в ООО «Центр научно-прикладных проблем энергетики» (г. Гомель), в научно-исследовательскую работу кафедры радиофизики и цифровых медиатехнологий и учебный процесс факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета в качестве методического материала для лабораторного практикума по курсу «Цифровая обработка сигналов».

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 18 научных работах, в том числе в 9 статьях в соответствии с п.18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общий объем статей составляет 5,17 авторских листа) и 9 статьях в сборниках материалов научных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из оглавления, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 143 страницы, в том числе 66 рисунков занимают 24 страницы, 16 таблиц – 6 страниц, 2 приложения занимают 7 страниц. Библиографический список состоит из 126 источников, включая собственные публикации соискателя (занимает 10 страниц).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу и сравнению известных методов обработки вибрационных сигналов, которые позволяют выделять и формировать диагностические признаки для обнаружения и классификации дефектов вращающихся механических узлов.

Как установлено, применяемые для этой цели известные методы обработки сигналов не всегда обеспечивают получение необходимой и достоверной диагностической информации из-за сложной структуры вибрационных сигналов и их нестационарности. Поэтому актуальной задачей является разработка новых

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

подходов к обработке таких сигналов, учитывающих их сложный и нестационарный характер.

Для этой цели предложен новый метод обработки вибрационных сигналов на основе преобразования Гильберта – Хуанга, которое имеет хорошее разрешение по времени и частоте, позволяет преодолеть проблему выбора базисных функций в вейвлетном анализе, обеспечивает выявление характерных внутренних особенностей модуляции, присутствующей в обрабатываемых нестационарных сигналах, с существенно более высокой точностью, чем Фурье-анализ, оконное преобразование Фурье, распределение Вигнера-Вилле и вейвлет-анализ.

В работе предложена и разработана обобщенная структурная схема автоматизированного обнаружения дефектов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема автоматизированного обнаружения дефектов вращающихся механических узлов

Как видно, данная схема включает следующие этапы: создание базы вибрационных сигналов машин с разным техническим состоянием, получение диагностических признаков, обучение классификатора и тестирование, обнаружение и классификация текущего состояния отдельных вращающихся механических узлов.

Для устранения недостатков, присущих классификаторам на основе нейронных сетей, в работе для обнаружения дефектов подшипников качения и зубчатых колес предложено использовать диагностические признаки вибрационных сигналов во временной области и классификатор на основе машины на опорных векторах (МОВ), обеспечивающий хорошую точность при незначи-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

тельных временных затратах. Показано, что на основе МОВ точность обнаружения дефектов достигает 92,2 %, которая на 5,5 % выше по сравнению, например, с радиальными RBF-сетями. На основании проведенных экспериментов сделан вывод о перспективности использования МОВ для решения диагностических задач.

Кроме того, результаты проведенного анализа показали, что в настоящее время актуальными являются исследования, направленные на разработку методов и алгоритмов для автоматизированного обнаружения места и степени развития дефектов вращающихся механических узлов по их вибрационным сигналам.

Во второй главе разрабатываются методика анализа вибрационных сигналов на основе преобразования Гильберта – Хуанга и математическая модель колебательных процессов вращающихся механических узлов с учетом процесса эмпирической декомпозиции мод (ЭДМ).

Преобразование Гильберта – Хуанга, под которым понимается совокупность метода ЭДМ и гильбертова спектрального анализа, в общем случае представляет собой частотно-временной анализ данных и не требует априорного функционального базиса. Исходные сигналы разлагаются на ряд отдельных компонентов, называемых существенными модальными функциями или эмпирическими модами (ЭМ).

После разложения сигнал $x(t)$ можно представить в следующем виде:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t), \quad (1)$$

где $c_i(t)$ – компоненты ЭМ; $r_n(t)$ – остаток, который может быть трендом или постоянной величиной.

Для каждого компонента ЭМ $c_i(t)$ можно найти преобразование Гильберта:

$$H[c_i(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{c_i(\tau)}{t - \tau} d\tau. \quad (2)$$

При таком определении $c_i(t)$ и $H[c_i(t)]$ образуют комплексно-сопряженную пару, что позволяет определить аналитический сигнал $z_i(t)$ в виде следующего выражения:

$$z_i(t) = c_i(t) + jH[c_i(t)] = a_i(t)e^{j\theta_i(t)} = a_i(t)\cos\theta_i(t) + ja_i(t)\sin\theta_i(t), \quad (3)$$

где $a_i(t) = \sqrt{c_i^2(t) + H^2[c_i(t)]}$ – амплитуда; $\theta_i(t) = \arctg \frac{H[c_i(t)]}{c_i(t)}$ – фаза сигнала $z_i(t)$.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

В диссертационной работе проанализирована эффективность применения для обработки нестационарных сигналов алгоритмов ЭДМ и формирования спектра Гильберта. Результаты экспериментов показали, что в отличие от вейвлет-спектра, где энергия сигнала имеет разброс по времени и частоте, в спектре Гильберта распределение энергии более локализовано, что позволяет лучше выявлять существующие локальные особенности в частотно-временной области анализируемых сигналов.

Для диагностики состояния подшипников качения и зубчатых колес предложена методика на основе спектрального анализа огибающей высокочастотных составляющих ЭМ, полученной с помощью преобразования Гильберта. С этой целью разработана математическая модель колебательных процессов вращающихся механических узлов и установлена ее связь с результатами ЭДМ.

В общем случае вибрационный сигнал $x(t)$ работающей машины можно представить следующим образом:

$$x(t) = \sum_{i=1}^M A_i(t) \cdot \cos(2\pi f_i t + \varphi_i(t) + \varphi_{0i}) = \sum_{i=1}^M A_i(t) \cdot \cos \psi_i(t), \quad (4)$$

где M – число узкополосных составляющих вибрации всех вращающихся механических узлов; $A_i(t)$, $\psi_i(t) = (2\pi f_i t + \varphi_i(t) + \varphi_{0i})$ – огибающая и полная фаза i -й узкополосной составляющей вибрации i -го узла соответственно.

Из формулы (3) видно, что каждый компонент ЭМ можно определить таким образом:

$$c_i(t) = a_i(t) \cos \theta_i(t). \quad (5)$$

Отсюда следует, что $c_i(t)$ является модулированным сигналом. Поэтому после разложения исходного сигнала $x(t)$ на эмпирические моды его можно представить как аддитивную смесь модулированных сигналов:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) \cos \theta_i(t), \quad (6)$$

где остаток $r_n(t)$, присутствующий в формуле (1), опущен.

Формула (4) показывает, что сигнал вибрации механических узлов состоит из нескольких частотных составляющих, каждая из которых является модулированным сигналом. С другой стороны, из формулы (6) следует, что сигнал вибрации состоит из ряда ЭМ, каждая из которых также является модулированным сигналом. Таким образом, применение метода ЭДМ позволяет разложить сигнал вибрации машин на компоненты ЭМ, из которых несколько первых вы-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

тигнутая точность обнаружения дефектов подшипников качения составляет 98,6 % [5].

6. Исследована эффективность применения разработанных алгоритмов (SVD эмпирических мод и УГММОВ; AP-модель эмпирических мод и УГММОВ) для автоматизированного обнаружения места и степени развития дефектов вращающихся механических узлов. Экспериментально подтверждено, что данные алгоритмы позволяют с высокой точностью решать эту задачу при диагностировании подшипников качения и зубчатых колес. При этом точность классификации на основе AP-модели эмпирических мод и УГММОВ составляет 97,9 % [9, 17].

7. Предложенные методы, алгоритмы и методики обработки вибрационных сигналов для получения диагностических признаков, обнаружения и классификации на их основе дефектов вращающихся механических узлов реализованы программным способом, что может составить основу автоматизированных диагностических систем промышленного оборудования [3, 5, 8, 9].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют создавать эффективные системы обнаружения и классификации дефектов вращающихся механических узлов на основе анализа их вибрационных сигналов.

Результаты диссертационной работы могут быть также использованы:

- для осуществления диагностического контроля состояния вращающихся механических узлов по их вибрационным сигналам;
- в учебном процессе учреждений образования при подготовке специалистов в области неразрушающего контроля и технической диагностики.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Кан, Шоучян. Анализ вибрационных сигналов машин с применением эмпирического метода декомпозиции / Шоучян Кан, В.И. Микулович // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – №3. – С. 41–46.

2. Кан, Ш.Ч. Анализ нестационарных сигналов на основе преобразования Гильберта–Хуанга / Ш.Ч. Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Информатика. – 2010. – № 2. – С. 25–35.

3. Кан, Ш.Ч. Вибрационная диагностика машин на основе методов эмпирической декомпозиции и сингулярного разложения / Ш.Ч. Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2010. – № 2. – С. 113–120.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

4. Кан, Шоучян. Вибрационная диагностика подшипников качения на основе эмпирической декомпозиции мод и машин на опорных векторах / Шоучян Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 12. – С. 26–35.

5. Кан, Ш.Ч. Применение авторегрессионной модели и улучшенной гиперсферной многоклассовой машины на опорных векторах для вибрационной диагностики подшипников качения / Ш.Ч. Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2010. – № 4. – С. 114–123.

6. Кан, Ш.Ч. Спектральный анализ огибающей высокочастотных составляющих сложных сигналов на основе эмпирической декомпозиции мод и преобразования Гильберта / Ш.Ч. Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Информатика. – 2010. – № 4. – С. 16–26.

7. Кан, Шоучян. Схема формирования сложного хаотического аттрактора для передачи сигналов и защиты информации / Шоучян Кан, В.И. Микулович // Электроника Инфо. – 2010. – №.3. – С. 67–69.

8. Кан, Шоучян. Улучшенная гиперсферная многоклассовая машина на опорных векторах / Шоучян Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1, Физ.-мат. наук. – 2010. – № 3. – С. 41–47.

9. Rolling bearing fault location and performance degradation degree diagnosis method using EMD and hypersphere multiclass support vector machine / Shou-qiang Kang, Yu-jing Wang, Guang-xue Yang, Lin-xin Song, V.I. Mikulovich // Proc. of the Chin. Soc. for Electrical Engineering. – 2011. – Vol. 31, – № 12. – P. 23–29.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

10. Кан, Шоучян. Методы нелинейной динамики в исследовании колебательных процессов машин / Шоучян Кан, В.И. Микулович // Сборник работ 66 научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, Минск, 18–21 мая 2009 г. : в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2009. – Ч. 1. – С. 178–182.

11. Кан, Шоучян. Применение улучшенной цепи Чуа для защиты информации / Шоучян Кан, В.И. Микулович // Технические средства защиты информации : материалы VII Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2009. – С. 59.

12. Кан, Шоучян. Применение методов нелинейной динамики для анализа вибрации машин / Шоучян Кан, В.И. Микулович // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы III междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–25 сент. 2009 г. / Белорус.-рос. ун-т [и др.] ; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2009. – С. 249–251.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

13. Кан, Шоучян. Защита информации на основе улучшенной схемы Чуа / Шоучян Кан, В.И. Микулович // Компьютерные науки и технологии : сб. тр. I Междунар. науч.-техн. конф., Белгород, 8–10 окт. 2009 г. : в 2 ч. / Белгор. гос. ун-т [и др.]. – Белгород, 2009. – Ч. 2. – С. 43–46.

14. Кан, Шоучян. Применение методов EMD для удаления шумов в вибрационных сигналах / Шоучян Кан, В.И. Микулович // Информационные системы и технологии (IST'2009) = Informational systems and technologies : материалы V Междунар. конф.-форума, Минск, 16–17 нояб. 2009 г. : в 2 ч. / Беларус. гос. ун-т [и др.] ; редкол.: Н.И. Листопад [и др.]. – Минск, 2009. – Ч. 2. – С. 139–142.

15. Кан, Шоучян. Обнаружение дефектов подшипников качения на основе обработки вибрационных сигналов / Шоучян Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Информационные технологии электронные приборы и системы (ITEDS'2010) : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–7 апр. 2010 г. / Беларус. гос. ун-т ; [редкол.: В.В. Апанасович и др.]. – Минск, 2010. – С. 50–55.

16. Кан, Шоучян. Вибрационная диагностика дефектов зубчатых колес на основе спектра огибающей эмпирических мод / Шоучян Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики : материалы XVIII ежегод. Междунар. конф., Ялта-Киев, 4–8 окт. 2010 г. / Укр. информ. центр «Наука. Техника и технологии» [и др.] ; редкол.: Г.А. Бигус [и др.]. – Ялта, 2010. – С. 123–126.

17. Кан, Шоучян. Распознавание места и степени развития дефектов подшипников качения в вибрационной диагностике машин / Шоучян Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Информационные системы и технологии (IST'2010) : материалы VI междунар. конф.-форума, Минск, 24–25 нояб. 2010 г. / Беларус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: А.Н. Курбацкий [и др.]. – Минск, 2010. – С. 172–176.

18. Микулович, В.И. Частотно-временной анализ нестационарных и нелинейных сигналов / В.И. Микулович, Шоучян Кан, А.В. Микулович // Достижения физики неразрушающего контроля и технической диагностики : сб. науч. тр. респ. науч.-техн. конф., Минск, 3 февр. 2011 г. / Институт прикладной физики Нац. акад. наук Беларуси; под ред. : Н.П. Мигуна. – Мн.: Институт прикладной физики, 2011. – С. 98–104.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

РЭЗЮМЕ

Кан Шоучан

ВЫЯЎЛЕННЕ ДЭФЕКТАЎ ВЯРЧАЛЬНЫХ МЕХАНІЧНЫХ ВУЗЛОЎ НА АСНОВЕ ЭМПІРЫЧНАЙ ДЭКАМПАЗІЦЫІ МОД І МАШЫН НА АПОРНЫХ ВЕКТАРАХ

Ключавыя словы: дыягностыка, выяўленне дэфектаў, механічныя вузлы, вібрацыйныя сігналы, пераўтварэнне Гільберта – Хуанга, метады эмпірычнай дэкампазіцыі мод, дыягнастычныя прыметы, сінгularнае раскладанне, аўтарэгрэсіўная мадэль, машыны на апорных вектарах.

Мэтай дысертацыйнай работы з’яўляецца распрацоўка метадаў і алгарытмаў выяўлення і класіфікацыі дэфектаў вярчальных механічных вузлоў на аснове метаду эмпірычнай дэкампазіцыі мод вібрацыйных сігналаў і машын на апорных вектарах.

Аб’ектам даследавання з’яўляюцца вібрацыйныя сігналы вярчальных механічных вузлоў. Прадметам даследавання з’яўляюцца метады і алгарытмы апрацоўкі сігналаў.

Упершыню для апрацоўкі вібрацыйных сігналаў прапанавана эфектыўная метадыка на аснове пераўтварэння Гільберта – Хуанга. Паказана, што спектр Гільберта дазваляе больш дакладна выяўляць лакальныя дэталі ў частотна-часавай вобласці аналізіруемых сігналаў.

Распрацавана матэматычная мадэль вагальных працэсаў вярчальных механічных вузлоў з улікам метаду эмпірычнай дэкампазіцыі мод. Прапанавана метадыка ранняга выяўлення дэфектаў падшыпнікаў качэння і зубчатых колаў на аснове спектральнага аналізу агібаючай высокачастотных кампанентаў эмпірычных мод вібрацыйных сігналаў.

Прапанавана і распрацавана структурная схема аўтаматызаванага выяўлення дэфектаў механічных вузлоў. Распрацаваны алгарытм палепшанай гіперсфернай мнагакласавай машыны на апорных вектарах (ПГММАВ), які дазваляе павялічыць дакладнасць класіфікацыі.

Прапанаваны алгарытмы атрымання вектараў дыягнастычных прымет на аснове сінгularнага раскладання і аўтарэгрэсіўнай мадэлі эмпірычных мод, якія сумесна з ПГММАВ забяспечваюць больш высокую дакладнасць выяўлення і класіфікацыі дэфектаў, чым вядомыя.

Даследавана эфектыўнасць выкарыстання прапанаваных алгарытмаў і ПГММАВ для аўтаматызаванага выяўлення месца і ступені развіцця дэфектаў. Эксперыментальна пацверджана, што дадзеныя метады дазваляюць эфектыўна вырашаць гэтую задачу як для падшыпнікаў, так і для зубчатых колаў.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

РЕЗЮМЕ

Кан Шоучян

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОД И МАШИН НА ОПОРНЫХ ВЕКТОРАХ

Ключевые слова: диагностика, обнаружение дефектов, механические узлы, вибрационные сигналы, преобразование Гильберта – Хуанга, метод эмпирической декомпозиции мод, диагностические признаки, сингулярное разложение, авторегрессионная модель, машины на опорных векторах.

Целью работы является разработка методов и алгоритмов обнаружения и классификации дефектов вращающихся механических узлов на основе метода эмпирической декомпозиции мод вибрационных сигналов и машин на опорных векторах.

Объектом исследования являются вибрационные сигналы вращающихся механических узлов. Предметом исследования являются методы и алгоритмы обработки сигналов.

Впервые для обработки вибрационных сигналов предложена эффективная методика на основе преобразования Гильберта – Хуанга. Показано, что спектр Гильберта позволяет лучше выявлять локальные детали в частотно-временной области анализируемых сигналов.

Разработана математическая модель колебательных процессов вращающихся механических узлов с учетом метода эмпирической декомпозиции мод. Предложена методика раннего обнаружения дефектов подшипников качения и зубчатых колес на основе спектрального анализа огибающей высокочастотных составляющих эмпирических мод вибрационных сигналов.

Предложена и разработана структурная схема автоматизированного обнаружения дефектов механических узлов. Разработан алгоритм улучшенной гиперсферной многоклассовой машины на опорных векторах (УГММОВ), позволяющий повысить точность классификации.

Предложены алгоритмы получения векторов диагностических признаков на основе сингулярного разложения и авторегрессионной модели эмпирических мод вибрационных сигналов, которые совместно с УГММОВ обеспечивают более высокую точность обнаружения и классификации дефектов, чем известные.

Исследована эффективность использования предложенных алгоритмов и УГММОВ для автоматизированного обнаружения места и степени развития дефектов. Экспериментально подтверждено, что данные методы позволяют эффективно решать эту задачу как для подшипников, так и для зубчатых колес.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

SUMMARY

Kang Shouqiang

ROTATING MACHINERY PARTS FAULT IDENTIFICATION BASED ON EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION AND SUPPORT VECTOR MACHINES

Key words: diagnosis, fault identification, machinery part, vibration signal, Hilbert-Huang transform, empirical mode decomposition method, diagnosis features, support vector machines.

The purpose of the work is studying the methods and algorithms of rotating machinery parts fault identification and classification based on empirical mode decomposition method and support vector machines.

The objects of the study are vibration signals of rotating machinery parts, and the subjects of the study are methods and algorithms for processing signals.

Based on Hilbert-Huang transform, a new valid method was introduced for processing vibration signals for the first time. It was shown that Hilbert spectrum can reveal and analyze signal local details in time-frequency domain more accurately.

It was researched that the mathematical model of the vibration process of rotating machinery parts, and empirical mode decomposition method was took into account. Early faults identification method was introduced for rolling bearings and the gears based on envelope spectrum analysis of high frequency components empirical mode function of vibration signal.

The diagram was introduced and studied for identifying machinery part faults automatically. A new method was studied that improved hyperspherical multiclass support vector machine which can achieve higher classification precision.

Two algorithms were introduced for extracting diagnosis feature vectors using respectively singular value decomposition and autoregressive model of vibration signal intrinsic mode functions. Combining with improved hyperspherical multiclass support vector machine, above two algorithms can achieve higher fault identification and classification precision than previous ones.

The validity was studied for identifying automatically fault positions and degrees by using above two algorithms and improved hyperspherical multiclass support vector machine. Experimental results proved that the methods can solve effectively these problems of the bearings and gears.

Кан Шовчан