

На правах рукописи

Чернышов Виктор Николаевич

ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ РЕЖИМА ТРЕНИЯ
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ

05.11.13 — Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел — 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет — учебно-научно-производственный комплекс»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Мишин Владислав Владимирович

Официальные оппоненты: Раков Владимир Иванович
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет —
УНПК», профессор кафедры «Ин-
формационные системы»

Дорофеев Николай Викторович
кандидат технических наук, доцент,
Муромский институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Владимирский госу-
дарственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая
Григорьевича Столетовых», заве-
дующий кафедрой «Управление и
контроль в технических системах»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Московский государ-
ственный университет приборострое-
ния и информатики» (МГУПИ)

Защита состоится 24 декабря 2013 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.182.01 при ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК» по адресу: 302020, РФ, г. Орел, Наугорское шоссе, 29, аудитория 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК»

Автореферат разослан 22 ноября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат технических наук, доцент

Волков В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Подшипники качения во многом определяют надежность и долговечность механических систем. Их отказы часто приводят к аварийным ситуациям и экономическим потерям, поэтому при эксплуатации ответственных механизмов необходимо проводить диагностирование входящих в их состав подшипников и прогнозирование их остаточного ресурса.

Известно, что при жидкостном виде смазки и соответствующем режиме трения, давление и температура распределены по контактной площадке более равномерно, что обеспечивает существенное снижение коэффициента трения, тепловыделения и интенсивности изнашивания. Когда рабочие условия становятся более тяжелыми (увеличивается радиальная нагрузка, шероховатость поверхности, и т.д.), количество контактов неровностей увеличивается, трибосопряжения входят в режим смешанного (или граничного) трения, что сопровождается ростом интенсивности практически всех видов изнашивания. Поэтому для достоверного прогнозирования и оптимизации остаточного ресурса подшипника качения необходимо оценивать вероятность каждого режима трения при его работе.

Среди методов исследования процессов трения и износа интенсивно развивающимися являются электрические методы, в основу которых заложено использование различных оценок электрических параметров флуктуирующих процессов и явлений в подшипнике. Это связано с возможностью получения объективной информации о состоянии подшипника непосредственно из зон трения его деталей в форме электрического сигнала, что позволяет создавать практически безынерционные, по отношению к процессу трения, высоко чувствительные методы контроля. Наиболее разработанными в теоретическом и прикладном плане среди них являются электрорезистивные методы, существенный вклад в разработку которых внесли Д. Снидекер, Дж. Кеннел, Т. Тэллиан, А.И. Свириденко, С.Ф. Корндорф, К.В. Подмастерьев, П.Н. Шкатов, В.Я. Варгашкин, В.В. Мишин, Е.В. Пахолкин, А.Ф. Блинов, А.А. Бобченко, Ю.М. Санько, С.А. Чижик и ряд других ученых.

Из-за сложности физических процессов в зонах трения и трудности их формализации в настоящий момент существующие электрорезистивные методы диагностирования подшипников качения не позволяют оценить вероятность каждого вида смазки и соответствующего режима трения (жидкостного, граничного и смешанного) при работе подшипника.

Объект исследования — электрорезистивный метод диагностики подшипников качения.

Предмет исследования — информативные признаки и диагностические модели для контроля режима трения.

Цель исследования — повышение эффективности электрорезистивного метода диагностирования подшипников, заключающееся в дополнительной возможности контроля статистической частоты возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника с учетом фактического состояния его рабочих поверхностей.

В работе решаются следующие задачи:

- разработка математической модели электрического сопротивления подшипника качения с учетом различия режима трения и вида деформации нагруженных трибосопряжений «тело качения — кольцо»;
- получение теоретических зависимостей влияния на параметры функций распределения, спектр и вейвлет образ сигнала сопротивления подшипника условий работы подшипника и параметров геометрии рабочих поверхностей, реологии смазочного материала, формирующих режим трения;
- разработка электрорезистивного метода и методики, обеспечивающих возможность контроля (оценки) частоты возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника при его испытаниях и эксплуатации;
- получение экспериментальных зависимостей параметров электрического сопротивления от условий работы подшипника и параметров геометрии рабочих поверхностей, формирующих режим трения;
- анализ точности и достоверности оценки статистической частоты возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника с учетом фактического состояния его рабочих поверхностей разработанным методом.

Методы исследования. Представленное в работе математическое моделирование сопротивления подшипника базируется на положениях теорий: контакта реальных поверхностей, электропроводности контакта двух шероховатых тел, контактной гидродинамики, упругости. При обработке теоретических и экспериментальных данных использовались методы математической статистики, спектрального и вейвлет анализа.

Научная новизна:

- математическая модель электрического сопротивления подшипника качения, базирующаяся на зависимостях проводимости контактирующих шероховатых тел в изменяющихся условиях смазки, отличающаяся учетом различия режима трения и вида деформации нагруженных трибосопряжений при работе подшипника;
- теоретические зависимости статистической частоты возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника от условий работы и параметров подшипника;
- методика формирования экспериментальной обучающей выборки для построения диагностических моделей контроля режима трения на основе алгоритмического обучения.

Практическая ценность:

- разработана программа для автоматизации исследования влияния внешних и внутренних факторов на режим трения трибосопряжений подшипников качения;
- предложена методика оценки режима трения трибосопряжений подшипников качения.

Реализация работы. Результаты исследований внедрены в учебный процесс кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» ФГБОУ ВПО «Государственный университет — УНПК» в рамках дисциплин «Теория измерений», «Теория информации», «Теория получения, обработки и представления измерительной информации», «Методы анализа и обработки сигналов», «Преобразование измерительных сигналов».

Разработанная методика диагностирования подшипника качения в узле на этапе сборки и приработки прошла опытно-промышленную проверку и внедрение на предприятиях ОАО «ГМС Насосы» и МУП «Трамвайно-троллейбусное предприятие».

Апробация работы.

Теоретические и экспериментальные работы проводились в рамках: государственного задания № 7.2668.2011 «Теория и принципы интеллектуализации электрических методов мониторинга узлов трения»; госбюджетной темы финансируемой Министерством науки РФ по единому наряду-заказу № 1.49.00. «Моделирование и исследование механо-электрических процессов в зонах трения подшипников качения»; № 14.132.21.1603 «Разработка метода и средств функционального контроля и диагностирования подшипников в элементах промышленных систем и оборудования».

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на XVIII, XIX Международных научно-технических конференциях «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации» (г. Алушта, 2009, 2012 гг.); Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» (г. Орёл, 2011 г.); XIV, XV международных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы техники и технологии машиностроительного производства» (г. Орел, 2011, 2012 гг.); V международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (г. Орёл, 2012 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 20 печатных работ, в том числе статей в изданиях, входящих в перечень ВАК, — 9, свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ — 4, патентов на полезную модель — 2, и подано две заявки на изобретение.

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель электрического сопротивления подшипника качения, базирующаяся на зависимостях проводимости контактирующих шероховатых тел в изменяющихся условиях смазки, отличающаяся учетом различия режима трения и вида деформации нагруженных трибосопряжений при работе подшипника;

- теоретические зависимости статистической частоты возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника от условий работы и параметров подшипника;

- электрорезистивный метод контроля режима трения при диагностировании подшипников качения на основе алгоритмического обучения, с оценкой статистической частоты возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 244 страницах машинописного текста, содержит 34 рисунка и 17 таблиц. Состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников, включающего 247 наименований, и 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена ее цель и кратко изложены основные научные результаты.

В первой главе рассмотрены виды смазки и соответствующие им режимы трения, а также их влияние на работоспособность и надежность подшипников качения. На основе анализа литературы, в качестве критерия для определения вида режима трения трибосопряжения принято выражение:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{Rq_1^2 + Rq_2^2}}, \quad (1)$$

где h — минимальная толщина смазочного слоя;

$Rq_{1(2)}$ — среднее квадратическое отклонение профиля поверхностей от центральной линии.

Проведен анализ известных неразрушающих методов диагностирования подшипников, показавший необходимость в создании метода, обеспечивающего возможность оценки статистической частоты возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника с учетом фактического состояния его рабочих поверхностей, и преимущества электрического сопротивления как носителя диагностической информации. На основе рассмотренных особенностей сигнала сопротивления были сформулированы изложенные выше цель и основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе разработана математическая модель, раскрывающая влияние внешних и внутренних условий работы подшипника на режим трения трибосопряжений подшипника и сигнал его сопротивления.

Математическое моделирование сопротивления подшипника базируется на положениях теорий: контакта реальных поверхностей; электропроводности контакта двух шероховатых тел; контактной гидродинамики; упругости. Учитывались макро- и микрогеометрия дорожек и тел качения подшипника, распределение давления по нагруженным трибосопряжениям «тело качения — кольцо» с учетом кинематики сепаратора и центробежных сил инерции.

В отличие от ранее известных моделей, в разработанной модели при расчете сопротивления подшипника учитывается различие в режимах трения и видах деформации нагруженных трибосопряжений «тело качения — кольцо», из-за неоднородного распределения смазочного материала, давления по телам качения и случайного характера микрогеометрии рабочих поверхностей, используя соответствующие модели электрического сопротивления трибосопряжений (таблица 1). Параметр λ определяется для каждого трибосопряжения в заданный момент времени с учетом локальной микрогеометрии и толщины смазочного слоя.

Таблица 1 — Расчет сопротивления трибосопряжения

Условия	Расчетная зависимость
Граничный режим трения: $0 < \lambda < 1$	$R_T = R_{cm} = \frac{\rho \cdot \sqrt{\pi}}{2 \cdot \sqrt{z \cdot A_r}}$
Смешанный режим трения: $1 \leq \lambda < 3$	$R_T = \frac{\rho_{cm}}{\rho} \cdot \frac{h}{r_k} \cdot \frac{A_r}{A_c - A_r} \cdot R_{cm}$
Жидкостной режим трения: $3 \leq \lambda$	$R_T = \rho_{cm} \cdot \frac{h}{A_c}$

Примечание:

ρ, ρ_{cm} — соответственно, удельное электрическое сопротивление металла и смазочной пленки;

z — число вероятных контактов;

A_r — фактической площади контакта двух шероховатых поверхностей;

A_c — контурная площадь контакта;

r_k — радиус пятна контакта;

При расчете A_r и z учитывается вид деформации, оцениваемый индексом пластичности $\psi = \frac{E'}{H} \sqrt{\frac{\sigma'}{R}}$, где

E' — приведенный модуль упругости;

$H = \min(H_1, H_2)$ — минимальная микротвердость контактирующих материалов;

σ' — среднеквадратическое отклонение профиля относительно средней линии шероховатой поверхности;

R — средний радиус закругления вершин.

С использованием построенной математической модели установлено наличие силовых и скоростных режимов работы подшипника, при которых существует не нулевая вероятность реализации граничного (*PB*), жидкостного (*PL*) и смешанного (*PM*) режимов трения в трибосопряжениях. Под вероятностью режима трения в работе понимается отношение числа трибосопряжений «тело качения — кольцо» работавших в заданном режиме трения к числу всех возможных трибосопряжений имеющих место за время исследования, или статистическая частота возникновения граничного, смешанного и жидкостного режимов трения в трибосопряжениях подшипника.

Проведен совместный анализ режима трения трибосопряжений подшипника и интегральных характеристик сигнала сопротивления. В качестве примера на рисунке 1 приведены графики, иллюстрирующие взаимосвязь изменения дисперсии и коэффициента формы от частоты вращения внутреннего кольца с вероятностями граничного и жидкостного режимов трения.

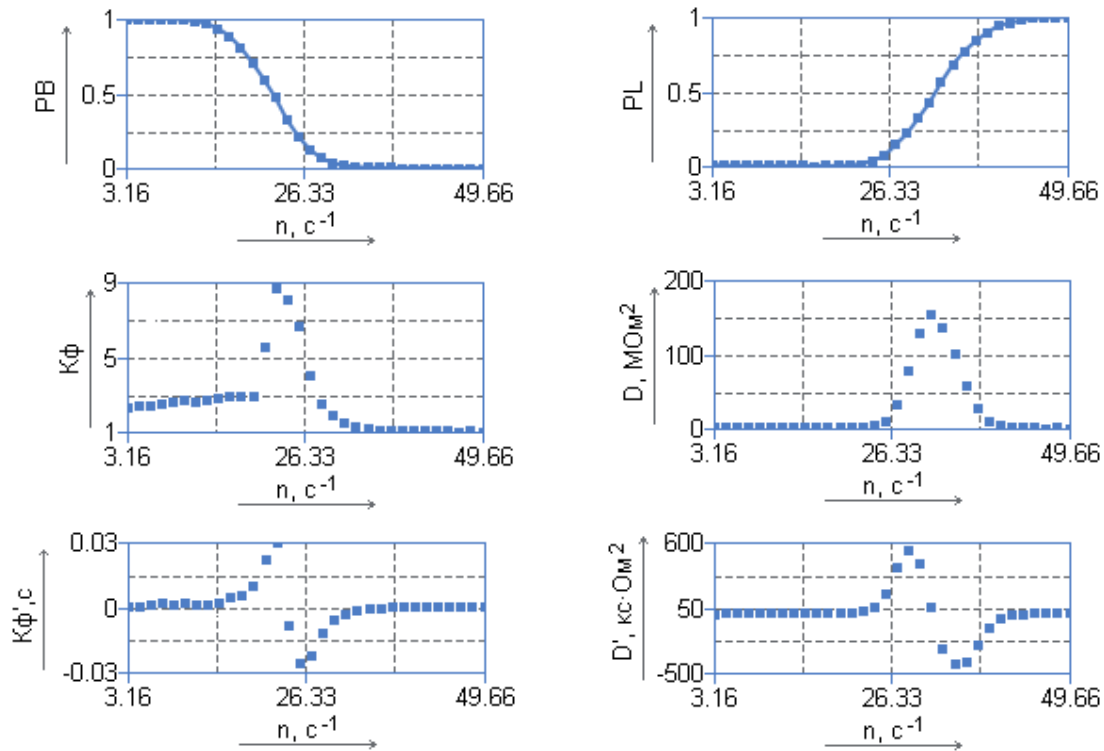


Рисунок 1 — Изменение вероятности граничного трения PB , жидкостного трения PL , дисперсии D , скорости изменения дисперсии D' , коэффициента формы $K\phi$ и скорости изменения коэффициента формы $K\phi'$ сигнала сопротивления от частоты вращения n при нормальном законе распределения высоты микронеровностей $Ra = 0,08$ мкм для смеси масел 50 % МС-20 и 50 % трансформаторного

Установлено, что зависимость вероятности работы в условиях граничного и жидкостного трения от частоты вращения внутреннего кольца с коэффициентом детерминации от 0,88 до 0,99 описывается уравнениями:

$$PL(n) = \frac{1}{1 + \exp\left[-6 \cdot \frac{n - n_1}{\bar{n}_1 - n_1}\right]}, \quad PB(n) = \frac{1}{1 + \exp\left[6 \cdot \frac{n - n_2}{\bar{n}_2 - n_2}\right]}, \quad (2)$$

где n_1 — значение частоты вращения внутреннего кольца, при которой функция дисперсии сигнала сопротивления $D(n)$ имеет максимальное значение;

\bar{n}_1 — минимальное значение частоты вращения внутреннего кольца, при которой скорость изменения дисперсии сигнала сопротивления $D(n)$ равна $(0,01 - 0,05) \cdot \max\left[\frac{\Delta D(n)}{\Delta n}\right]$;

n_2 — значение частоты вращения внутреннего кольца, при которой функция коэффициента формы сигнала сопротивления $K\phi(n)$ имеет максимальное значение;

\bar{n}_2 — минимальное значение частоты вращения внутреннего кольца, при которой скорость изменения коэффициента формы сигнала сопротивления $K\phi(n)$ равна $(0,01 - 0,05) \cdot \min \left[\frac{\Delta K\phi(n)}{\Delta n} \right]$.

Проведено теоретическое исследование сопротивления подшипника при различных смазочных материалах, частотах вращения, радиальных нагрузках, микро- и макрогеометрии дорожек и тел качения. В качестве примера в таблице 2 представлены сигналы сопротивления подшипника типа 1000900 при различных частотах вращения внутреннего кольца.

Установлено, что при $0 < PL < 1$ гистограмма распределения является двумодальной. Увеличение вероятности жидкостного режима трения приводит к смещению низкоомной моды (до единиц кОм) в сторону высокоомных значений сопротивления с одновременным уменьшением ее вклада в общее распределение.

Показано, что сигнал сопротивления подшипника содержит детерминированную составляющую, обусловленную периодичностью распределения давления по трибосопряжениям подшипника вследствие повторяемости при вращении взаимного расположения деталей. В качестве примера на рисунке 2 приведены спектры и вейвлет образы сигналов.

Наличие высокочастотных компонент (порядка кГц и выше) в спектре сигнала обусловлено высокой чувствительностью к микрогеометрии, и связанным с этим импульсным характером сигнала, который наиболее выражен при $PM \neq 0$.

Показано, что сигнал сопротивления в общем случае является нестационарным. Однако, при режимах трения близких к $PM = 0,5$ и $PL = 0,5$, ярко выраженная локализация высокочастотных компонент исчезает.

По результатам выполненных теоретических исследований установлено, что изменение режима трения приводит к качественным и количественным изменениям соответствующих образов сигнала сопротивления. При сложном характере сигнала ввиду совместного влияния большого числа внешних и внутренних факторов для их интерпретации перспективным является использование диагностических моделей, оперирующих набором информативных признаков, построенных на основе теорий алгоритмического обучения.

Третья глава посвящена разработке метода и методики контроля режима трения при диагностировании подшипников качения на основе алгоритмического обучения.

Проведен обзор и сравнительный анализ сильных и слабых сторон наиболее распространенных моделей алгоритмов. Среди них: машины опорных векторов, деревья решений, лес деревьев решений, нейронные сети и их ансамбли.

Метод основан на электрорезистивном принципе получения диагностической информации, заключающийся в том, что изменение режима трения в трибосопряжениях подшипника, в частности из-за изменения параметров микрогеометрии рабочих поверхностей, приводит к изменению гистограммы распределения его активного сопротивления.

Таблица 2 — Моделирование сопротивления подшипника

Сигнал сопротивления $R(t)$	Гистограмма распределения
При $n = 500$ об/мин, $PL = 1$	
При $n = 275$ об/мин, $PB = 0.06$, $PM = 0.68$, $PL = 0.26$	
При $n = 220$ об/мин, $PB = 0.39$, $PM = 0.58$, $PL = 0.03$	
<p>Примечание:</p> <p>n — частота вращения внутреннего кольца; Смазочный материал МС-20; Радиальная нагрузка 30 Н; Закон распределения высоты микрогеометрии — нормальный; $Ra = 0,08$ мкм; Овальность внутренней дорожки качения 3 мкм, наружной — 0 мкм.</p>	

С использованием двух диагностических моделей, распределение логарифма сигнала сопротивления, представленное гистограммой, отображается в вероятность граничного PB и жидкостного PL режима трения. Вероятность смешанного режима трения определяется как дополнение суммы PB и PL до единицы.

В качестве диагностической модели был выбран комитет деревьев решений, построенных с помощью алгоритма Random Decision Forest. Этот алгоритм позволяет достичь: высокой скорости неитеративного обучения (завершается за фиксированное число операций); масштабируемости (способность обрабатывать большие объемы данных); высокого качества получаемых моделей (сравнимое с нейронными сетями и их ансамблями) при малом количестве настраиваемых параметров.

Использование обучения позволяет настроить параметры диагностической модели по условию минимума ошибки в конкретных условиях с учетом

наличия оксидов, сульфидных и водяных полимерных пленок на поверхности твердых тел и других трудно формализуемых параметров.

Формирование тренировочного множества на основе экспериментальных данных осуществляется с использованием зависимостей (2), позволяющих косвенным методом определить режим трения при заданных частотах вращения внутреннего кольца с учетом значений внутренних параметров подшипника на основе измеренных функций дисперсии и коэффициента формы сигнала сопротивления от частоты вращения.

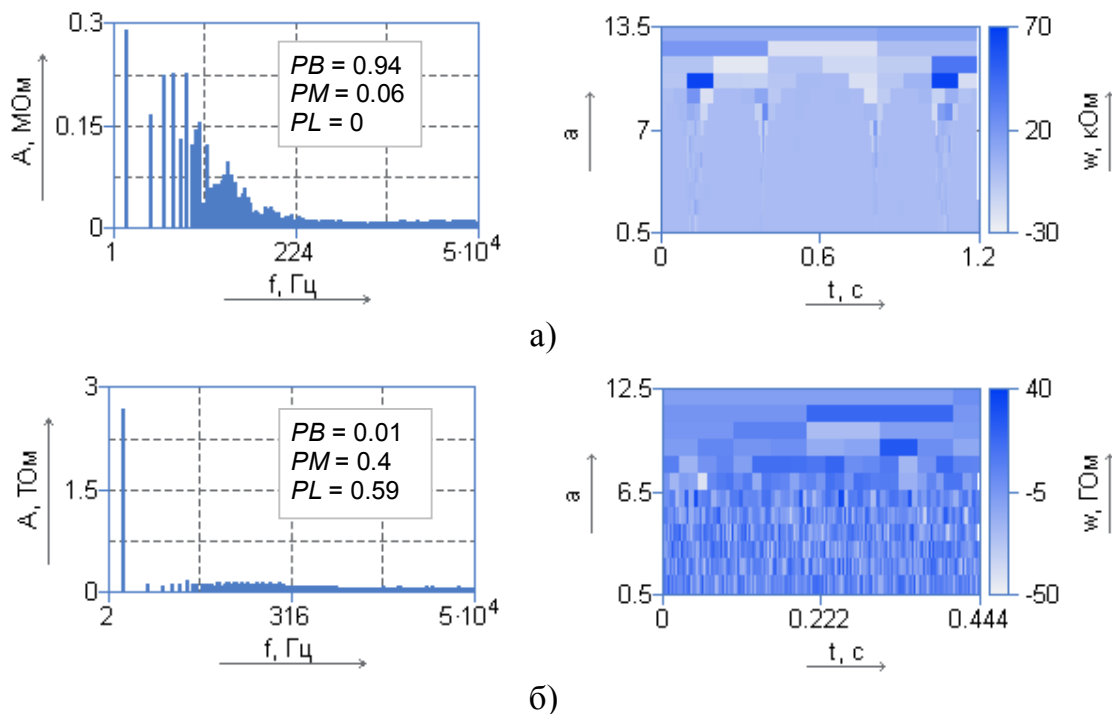


Рисунок 2 — Примеры спектров и вейвлет образов (разложение по вейвлетам Добеши 2) сигнала сопротивления при радиальной нагрузке 30 Н и частоте вращения внутреннего кольца 100 мин^{-1} (а) и 270 мин^{-1} (б).

С применением метода статистических испытаний выполнена проверка адекватности уравнения (2) функциям $PL(n)$ и $PB(n)$ с учетом погрешности средств измерения сопротивления. Установлено, что с вероятностью 0,95 сравниваемые дисперсии статистически неразличимы при абсолютной погрешности средств измерения сопротивления 1,5 кОм.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований сигнала сопротивления при различных режимах работы с целью проверки правильности теоретически положений и работоспособности предложенного метода.

Исследования подтвердили двумодальность распределения сопротивления. В качестве примера в таблице 3 показано влияние частоты вращения и количества смазочного материала на сопротивление подшипника типа 1000900. Также подтверждена динамика сигнала — наличие кратных частоте вращения

гармоник в спектре сигнала и периодичностей высокочастотных нестационарных компонент в вейвлет образах (рисунок 3).

Таблица 3 — Влияние частоты вращения внутреннего кольца на сигнал сопротивление подшипника типа 1000900 при радиальной нагрузке 45 Н

Гистограмма распределения	Дисперсия	Коэффициент формы
При количестве смазочного материала 0,09 мл		
При количестве смазочного материала 0,06 мл		
Примечание: В качестве смазочного материала использовалось масло И-20.		

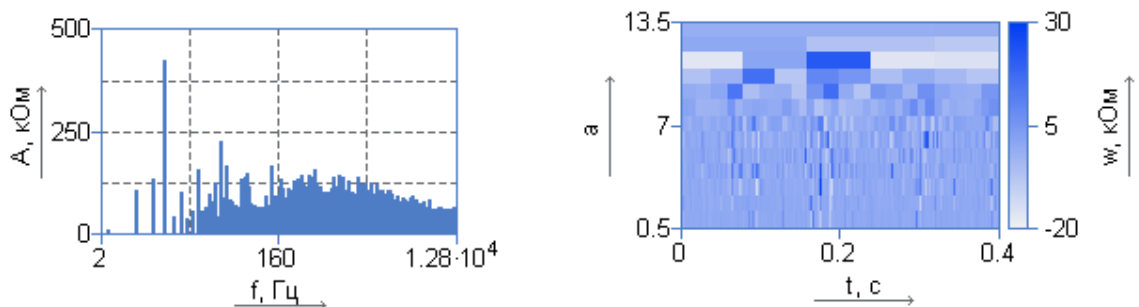


Рисунок 3 — Пример спектра и вейвлет образа (разложение по вейвлетам Добеши 2) сигнала сопротивления при радиальной нагрузке 30 Н и частоте вращения внутреннего кольца $n = 500 \text{ мин}^{-1}$

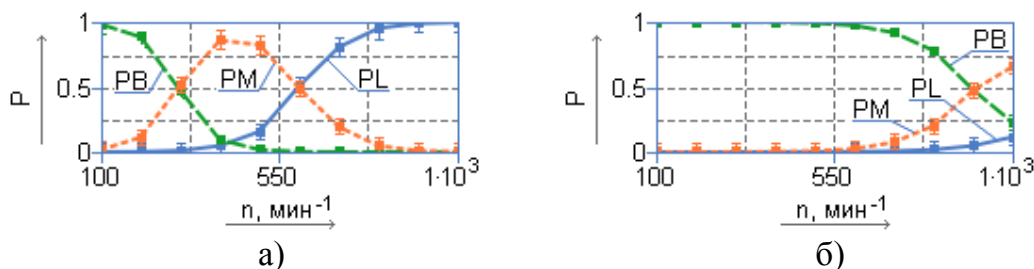


Рисунок 4 — Изменение режима трения от частоты вращения внутреннего кольца при радиальной нагрузке 45 Н и количестве смазочного материала 0,09 мл (а) и 0,06 мл (б).

Проведена эмпирическая оценка точности диагностических моделей с применением скользящего контроля (кросс-проверки) для различных способов векторного описания сигнала сопротивления (статистические моменты, гистограмма распределения, спектр, скаллограмма). Установлено, что наименьшей погрешностью оценки PL и PB обладают модели, описывающие режим трения с помощью гистограммы распределения логарифма сопротивления. Например, для подшипника типа 1000900 и смазочного материала И-20 с доверительной вероятности 0,95, обеспечивается оценка вероятности граничного, жидкостного и смешанного трения с точностью 10 % .

Подтверждена работоспособность предложенного метода при изменении количества смазочного материала, что достигается отсутствием в векторе признаков компонент, идентифицирующих режим работы (частота вращения, радиальная нагрузка).

На рисунке 4, в качестве примера, показаны зависимости PB , PM и PL от частоты вращения, полученные с использованием предложенного метода. Применяемые при этом диагностические модели построены на обучающих выборках, прецеденты в которой получены для количества смазочного материала 0,09 мл.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Анализ проблемы оценки режима трения трибосопряжений подшипника качения показал, что для ее решения целесообразно использование в качестве источника диагностической информации сигнал активного электрического сопротивление.

2. Разработана математическая модель электрического сопротивления подшипника качения, отличающаяся учетом различия режима трения и вида деформации нагруженных трибосопряжений при работе подшипника;

3. Получены зависимости вероятностей работы трибосопряжений подшипника в граничном и жидкостном режимах трения от частоты вращения внутреннего кольца. Установлено, что для их построения достаточно исследования функций дисперсии и коэффициента формы сигнала сопротивления от частоты.

4. Проведенные теоретические исследования гистограммы распределения, спектра и вейвлет образов сигнала сопротивления подшипника показали их качественное и количественное изменения от режима трения трибосопряжений и обосновали целесообразность использования диагностических моделей, оперирующие набором информативных признаков и построенных на основе теорий алгоритмического обучения.

5. Разработаны электрорезистивный метод и методика контроля режима трения трибосопряжений подшипников качения, согласно которой режим трения определяется с использованием двух диагностических моделей в виде комитетов решающих деревьев, которые отображают гистограмму распределения логарифма сигнала сопротивления в статистическую частоту возникновения

соответствующего режима трения.

6. Проведенный сравнительный анализ точности диагностических моделей при различных способах векторного описания сигнала сопротивления (статистические моменты, гистограмма распределения, спектр, скаллограмма) подтвердил целесообразность использования гистограмм распределения для оценки режима трения, при этом для доверительной вероятности 0,95, обеспечивается оценка вероятности граничного, жидкостного и смешанного трения с точностью 10 % .

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Мишин, В.В. Исследование работы подшипника по параметрам его электрического сопротивления [Текст] / В.В. Мишин, К.В. Подмастерьев, В.В. Семенов, М.В. Майоров, **В.Н. Чернышов**, А.В. Селихов, К.В. Шаталов // «Известия ОрёлГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» — Орёл: ОрёлГТУ. — 2010. — № 5-2. — С. 108-116. (личное участие 20%)

2. **Чернышов, В.Н.** Программное обеспечение для регистрации и комплексной обработки диагностических электрических параметров подшипника [Текст] / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин // «Информационные системы и технологии» — Орёл: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2011. — № 1. — С. 15-22. (личное участие 60%)

3. Селихов, А.В. Экспериментальное исследование состояния смазочного слоя и температурного режима при различных условиях смазывания и установки подшипника качения в посадочное место [Текст] / А.В. Селихов, В.В. Мишин, **В.Н. Чернышов** // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» — Орёл: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2011. — № 2/2 С.137-147. (личное участие 25%)

4. **Чернышов, В.Н.** Моделирование активного сопротивления подшипникового узла [Текст] / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, А.В. Пальчевский // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» — Орёл: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2011. — № 2/2 С. 18-24. (личное участие 50%)

5. **Чернышов, В.Н.** Исследование закона распределения активного сопротивления подшипника при различных режимах трения [Текст] / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, А.В. Селихов, Н.В. Рыбакова // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» — ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2012. — № 6 — С. 143-149. (личное участие 50%)

6. **Чернышов, В.Н.** Экспериментальное исследование работы подшипника при различных режимах трения на основе сигналов электрического сопротивления и виброускорения [Текст] / В.Н. Чернышов, А.В. Селихов, В.В. Мишин // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» —

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2012. — № 6/2 — С. 151-158. (личное участие 50%)

7. **Чернышов, В.Н.** Экспериментальное исследование сигнала активного сопротивления подшипника в режиме сухого трения [Текст] / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, М.В. Майоров, // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» — ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2013. — № 1. — С. 145-151. (личное участие 50%)

8. Майоров, М.В. Диагностирование ступичных подшипников автомобиля [Текст] / М.В. Майоров, В.В. Мишин, **В.Н. Чернышов** // «Мир транспорта и технологических машин» — Орёл: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2013. — № 3(41) — С. 9-16. (личное участие 25%)

9. **Чернышов, В.Н.** Исследование эффективности применения нормированного интегрального времени микроконтактирования для оценки режима трения режима трибосопряжений подшипника качения [Текст] / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, К.В. Подмастерьев // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» — ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». — 2013. — № 4 — С. 122-130. (личное участие 50%)

Публикации в сборниках международных и всероссийских конференций:

10. **Чернышов, В.Н.** Программа для идентификации законов распределения случайных величин [Текст] / В.Н. Чернышов // Труды XVIII междунар. науч.-техн. семин. «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Алушта. 2009. — С. 196

11. **Чернышов, В.Н.** Анализ тенденций развития систем диагностики подшипниковых узлов [Текст] / В.Н. Чернышов // Труды XXI междунар. науч.-техн. семин. «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Алушта. 2012. — С. 72

12. **Чернышов, В.Н.** Программное обеспечение для диагностики подшипниковых узлов [Текст] / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин // Информационные системы и технологии: материалы Международной научно-технической конференции: г.Орел, апрель-май 2011. В 3 т. Т.2. Орел: ФГОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК», 2011. — С. 105-109 (личное участие 60%)

13. **Чернышов, В.Н.** Система прогнозирования остаточного ресурса подшипников и подшипниковых узлов [Электронный ресурс] / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин // Интернет-журнал «Информационные ресурсы, системы и технологии». Режим доступа: <http://irsit.ru/article247> (дата обращения: 12.10.2012) (личное участие 60%)

14. Селихов, А.В. Система контроля качества опоры качения [Электронный ресурс] / А.В. Селихов, М.В. Майоров, **В.Н. Чернышов**, В.В. Мишин // Интернет-журнал «Информационные ресурсы, системы и технологии». Режим доступа: <http://irsit.ru/article256> (дата обращения: 12.10.2012) (личное участие 20%)

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

15. **Чернышов, В.Н.** Класс для описания подшипника качения / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, Н.А. Потеев. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612498. Заявл. 14.01.2013. рег. 04.03.2013. (личное участие 60%)

16. **Чернышов, В.Н.** Расчет распределения давления в подшипнике качения / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, Н.В. Рыбакова. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612751 Заявл. 14.01.2013. рег. 13.03.2013. (личное участие 60%)

17. **Чернышов, В.Н.** Расчет распределения толщины смазочного слоя в подшипнике качения / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, А.В. Жидков. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612548 Заявл. 14.01.2013. рег. 05.03.2013. (личное участие 60%)

18. **Чернышов, В.Н.** Расчет активного электрического сопротивления подшипника качения / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, Н.А. Потеев. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612750 Заявл. 14.01.2013. рег. 13.03.2013. (личное участие 60%)

Патенты на полезную модель:

19. Пат. Российской Федерации № 133299 МКИ G 01 M17/04 Стенд для диагностики и испытания ступичных подшипников / Майоров М.В., **Чернышов В.Н.**, Мишин В. В., Рыбакова Н. В. — №2013118864/11; заявл. 23.04.2013; опубл. 10.10.2013 (личное участие 20%).

20. Пат. Российской Федерации № 133300 МКИ G 01 M17/04 Устройство диагностики состояния ступичного подшипника / Майоров М.В., **Чернышов В.Н.**, Мишин В. В., Подмастерьев К. В., Рыбакова Н. В., Крутикова В. Ю. — №2013118873/11; заявл. 23.04.2013; опубл. 10.10.2013 (личное участие 20%).

Подписано к печати 19.11.2013 г. Формат 60x84 1/16.

Объем 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 1459

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29.