

На правах рукописи



Селихов Алексей Владимирович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕНЕРАТОРА АВТОМОБИЛЯ
ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНЫМ МЕТОДОМ

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел, 2017 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Орловский государственный университет им И.С. Тургенева».

Научный руководитель:

Мишин Владислав Владимирович,
к.т.н., доцент, зав. каф. «Электроники, радио-
техники и систем связи» ФГБОУ ВО «ОГУ им.
И. С. Тургенева»

Официальные оппоненты:

Заяц Юрий Александрович
доктор технических наук, профессор Рязанского
высшего воздушно-десантного командного учи-
лища им. В.Ф. Маргелова, г. Рязань

Загородний Николай Александрович
к.т.н., доцент кафедры «Сервис транспортных и
технологических машин» Белгородского госу-
дар-ственного технологического университета
им. В.Г. Шухова

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный
университет»

Защита состоится **«20» декабря 2017 г. в 16-00 часов** на заседании объеди-
ненного диссертационного совета Д 999.111.03 по защите диссертаций на соиска-
ние ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государ-
ственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77.**

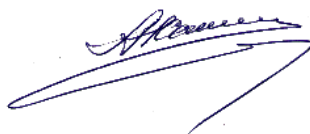
С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте
(www.oreluniver.ru) ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» и в фундамен-
тальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орел, пл. Каменская, д. 1.

Автореферат разослан **«10» ноября 2017 г.** Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (www.oreluniver.ru) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации (vak.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации в двух экземплярах направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Телефон для справок +79155080508. E-mail: katunin57@gmail.com

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.111.03



А.А. Катунин

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из задач развития автотранспортных средств является повышение эксплуатационной надёжности. Для её решения необходим выпуск более надёжных узлов и деталей, совершенствование методов эксплуатации, к чему относится повышение эффективности диагностирования автотранспортного средства.

Надёжность автотранспортного средства определяется входящими в его конструкцию узлами и деталями, выход из строя генератора повлечёт за собой невозможность дальнейшей эксплуатации транспорта и может привести к выходу из строя аккумулятора, бортовой электроники, повлечь за собой дорожно-транспортное происшествие. В связи с этим возникает необходимость повышения качества контроля технического состояния автомобильных генераторов.

Одной из причин выхода из строя генератора является отказ подшипникового узла. На автотранспортных предприятиях, авторемонтных заводах, фирмах и мастерских, станциях технического обслуживания, а также на заводах по изготовлению генераторов имеются средства, предназначенные для контроля электрических характеристик, в то время как для диагностирования подшипникового узла используется органолептический метод, который не обладает нормированными метрологическими характеристиками и позволяет выявить ограниченное количество дефектов. Определив режим трения, возможно оценить ресурс подшипников в узле. Таким образом, разработка метода и средств диагностирования подшипникового узла позволит повысить надёжность автотранспортных средств.

Наиболее перспективным является электрорезистивный метод диагностирования, но данный метод обладает недостатком: в зоне трения генерируется ЭДС (термо- и трибо-ЭДС), которая обладает неизвестными амплитудой и частотой, тем самым вносит неопределённость в результат измерения и затрудняет вынесение суждения о техническом состоянии объекта, поэтому снижение влияния ЭДС на результат измерения позволяет повысить эффективность диагностирования.

Особой сложностью является диагностирование двухопорного подшипникового узла, т.к. в настоящее время слабо проработан вопрос о выделении диагностической информации о конкретном подшипнике в узле. Предлагается подход, основанный на том, что электрическое сопротивление подшипника с худшим техническим состоянием будет меньшим, а так как подшипники в узле соединены электрически параллельно и общее сопротивление будет стремиться к меньшему из значений, то для определения дефектного подшипника достаточно определить какой из них обладает меньшим электрическим сопротивлением.

Диагностирование может проводиться на уже существующем серийном стендовом оборудовании с незначительной модернизацией.

Степень разработанности темы исследования.

Автомобильные генераторы являются частным случаем использования электрических машин. В области диагностирования как генераторов, так и электродвигателей известны работы Вейнреба К. Б., Томсона В. Т., Сарварова А. С., Девяткова В. Д.

В область исследования как подшипниковых узлов, так и контакта тел значительный вклад внесли: Тэллиан Т., Свириденко А. И., Биргер И. А., Крагельский И. В., Петрусевиц А. И., Коднир Д. С., Народецкий М. З., Дёмкин Н. Б., Чичинадзе А. В., Хольм Р., Харрис Т. А., Мишин В. В., Пахолкин Е. В., Подмастерьев К. В.

Технической диагностике автомобилей, эксплуатации и обеспечению надёжности посвящены работы таких ученых, как Болдин А. П., Власов В.М., Мирошников Л.В., Говорущенко Н.Я., Прокопьев В. Н., Пал В.И.

Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств за счёт совершенствования методики диагностирования генератора путём внедрения оценки режима трения в подшипниковом узле, выявления дефектного подшипника трибоэлектрическим методом на фоне действия ЭДС в зонах трения.

Объект исследования – подшипниковый узел генератора автомобиля.

Предмет исследования – процесс диагностирования подшипникового узла генератора автомобиля путем анализа его сигнала электрического сопротивления.

В работе решаются следующие задачи:

- 1) анализ проблемы диагностирования подшипникового узла генератора автомобиля, выбор метода диагностирования, диагностического параметра;
- 2) разработка математической модели диагностического сигнала электрического сопротивления подшипникового узла генератора автомобиля с учетом влияния внешних и внутренних факторов,
- 3) проведение экспериментальных исследований по подтверждению основных положений математической модели, анализа диагностического сигнала;
- 4) разработка метода и средств диагностирования подшипникового узла генератора автомобиля;
- 5) разработка практических рекомендаций по внедрению метода и средств диагностирования в условиях автосервисного предприятия.

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке:

- математической модели диагностического сигнала электрического сопротивления подшипникового узла генератора автомобиля для различных типоразмеров подшипников, условий работы, отличающейся возможностью моделирования двухопорного узла, учетом влияния оксидных и адгезионных слоев на рабочих поверхностях подшипников качения;
- теоретического обоснования зависимостей электрического сопротивления двухопорного подшипникового узла автомобильного генератора от условий работы, типоразмера подшипников, шероховатости их контактирующих поверхностей;
- метода диагностирования подшипникового узла генератора, позволяющего определить техническое состояние подшипников, входящих в его состав, отличающегося возможностью определения дефектного подшипника в узле, уменьшения влияния ЭДС в зоне трения подшипников на результат диагностирования.

Практическая ценность:

- разработана методика диагностирования, позволяющая проводить оценку технического состояния двухопорного подшипникового узла генератора автомобиля;
- разработано устройство диагностирования, позволяющее снизить влияние ЭДС в зоне трения подшипников генератора на результат измерения электрического сопротивления подшипникового узла генератора, а так же позволяющее определить дефектный подшипник в подшипниковом узле генератора.

Методы исследования.

Проведенные теоретические исследования основаны на положениях теорий: электропроводности контакта двух шероховатых тел, упругости, контактной гидродинамики, контакта реальных поверхностей. Для проведения исследований использовались методы математического анализа, аналитические и численные методы решения систем уравнений, методы спектрального и корреляционного анализа. Для оценки номинального и модифицированного ресурса подшипников используется методика, изложенная в ГОСТ 18555-2013 «Подшипники качения. Динамическая грузоподъемность и номинальный ресурс».

При выполнении работы использовалось стандартное и специально разработанное оборудование, для обработки данных использовались методы корреляционного, спектрального анализ, методы математической статистики, с использованием системы компьютерных вычислений из класса систем автоматизированного проектирования MathCad, а также оригинальных разработанных программ, на базе языка программирования Delphi.

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель электрического сопротивления двухопорного подшипникового узла, основанная на теоретических и экспериментальных зависимостях электропроводимости контактирующих тел в изменяющихся условиях работы и параметров микрогеометрии;
- электрорезистивный метод контроля технического состояния подшипников качения генератора на основе измерения электрического сопротивления объекта;
- средства диагностирования, реализующие разработанный метод диагностирования.

Реализация работы. Результаты исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «ОГУ им И. С. Тургенева» в рамках дисциплин «Теория измерений», «Электрофизические эффекты в контроле и диагностике», «Электрические методы трибодиагностики».

Работа выполнялась на базе НОЦ «ДИАТРАНСПРИБОР», с применением измерительного оборудования Центра коллективного пользования ФГБОУ ВО «ОГУ им И. С. Тургенева».

Метод и средства диагностирования прошли опытно-промышленную проверку и внедрение на базе ООО «НПП «Астрон Электроника», МУП «Трамвайно-троллейбусное предприятие».

Апробация работы. Теоретические и экспериментальные работы проводились в рамках проектов: № 7.2668.2011 «Теория и принципы интеллектуализации электрических методов мониторинга узлов трения»; № 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 XX, XXI, XXII Международных научно-технических конференциях «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации» (г. Алушта, 2011, 2012, 2013 гг.), Международная техническая конференция "Информационные системы и технологии" (г. Орел 2011, 2012 гг.), VI Всероссийская молодежная научно-техническая конференция "Актуальные проблемы техники и технологии машиностроительного производства" (г. Орел, 2013 г.), XV международная научно-техническая конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – ТЕХНОЛОГИЯ-2012», посвященная 120-летию со дня рождения Н.Н. Поликарпова (г. Орел, 2012 г), международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2015 г.).

Данная работа заняла первое место в областном конкурсе «Лучшая научно-исследовательская работа молодых учёных – 2014», в V молодёжном региональном конкурсе инновационных проектов «Молодёжь и наука 21-го века» по программе УМНИК.

Достоверность результатов. Достоверность и обоснованность научных положений, результатов, выводов, приведённых в диссертационной работе подтверждена экспериментальными исследованиями, результаты которых согласуются как с теоретическими положениями, так и данными, полученными другими исследователями, апробация разработанных средств диагностирования, реализующих предложенный метод, ос-

новых теоретических положений диссертации проведена в печатных трудах и на международных научных конференциях.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 28 печатных работ, в том числе 12 в изданиях, входящих в перечень ВАК, свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ – 4, патентов на полезную модель – 3.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 142 страницах основного машинописного текста, содержит 77 иллюстраций, 32 таблиц и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 147 наименований, 12 приложений.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, определена её цель и кратко изложены основные научные результаты.

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса, постановке задачи исследования. На электрооборудование приходится до 32% отказов в автомобиле, среди этого числа отказов на генератор приходится 21% отказов. В легковом автотранспорте на подшипники генератора приходится 7% отказов, а в грузовом до 33%. Среди легковых и грузовых автомобилей широкое распространение получили генераторы переменного тока с независимым возбуждением, 14 В, параллельным подключением обмотки, со щётками, электромагнитом в виде индуктора. Генератор представляет собой двухопорный подшипниковый узел, состоящий из двух подшипников качения, наружные кольца которых установлены в корпусе, внутренние кольца соединены валом. Экономически целесообразным является контроль генераторов грузовых автомобилей, так как для них предусмотрен обязательный контроль генераторов на стендовом оборудовании; стоимость генераторов грузового автотранспорта выше, чем для легкового, что позволит получить больший экономический эффект.

Анализ литературных источников показал, что основными контролируемыми параметрами во время диагностики генератора являются его электрические характеристики, определяемые с помощью инструментальных средств, подшипниковый узел контролируется органолептическим методом, который позволяет выявить только явные дефекты, а их номенклатура ограничена. Также недостатком метода является зависимость точности от квалификации специалиста. Внедрение инструментальных методов и средств диагностирования позволит повысить достоверность и эффективность диагностирования, позволит использовать методику по расчету ресурса подшипников и получить прогноз по сроку их эксплуатации. С целью минимизации затрат на диагностирование подшипникового узла, данная процедура должна быть внедрена в качестве дополнительной технологической операции в стендовую диагностику электрических характеристик генератора.

Проведя анализ физических процессов явлений и процессов в зоне трения, анализ патентной деятельности, рассмотрев недостатки методов диагностирования, электрорезистивный метод был определен как перспективный и выбран для дальнейшей работы. При этом основным недостатком существующего метода является влияние ЭДС в зоне трения подшипников на результат диагностирования, а так же трудность разделения диагностической информации в двухопорном узле. В качестве диагностического параметра было предложено использовать параметр НИВ (нормированное интегральное время микроконтактирования), который позволяет рассчитать параметр смазочной плёнки λ , необходимый для расчета ресурса подшипникового узла, параметр НИВ рассчитывается на основе диагностического сигнала электрического сопротивления. Пример зависимости ресурса от текущего значения параметра НИВ показан на рисунке 1.

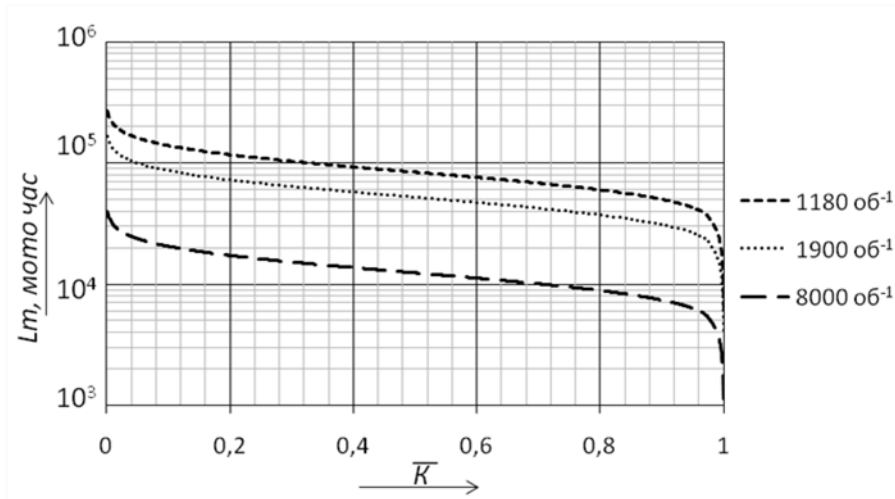


Рисунок 1 – Зависимость ресурса подшипников от параметра НИВ

Вторая глава посвящена разработке математической модели электрического сопротивления двухопорного подшипникового узла генератора, проведению теоретических исследований по получению зависимостей электрического сопротивления подшипникового узла от факторов, определяющих техническое состояние деталей подшипников.

Математическая модель двухопорного узла трения базируется на известных положениях теорий контакта реальных поверхностей, электропроводности контакта двух шероховатых тел, контактной гидродинамики, упругости, применённых к двухопорному узлу, состоит из нескольких блоков: функциональные зависимости для определения распределения нагрузки в зоне трения, толщины смазочного слоя; расчеты для определения сопротивления между шариком и прилегающей поверхностью кольца наружного, внутреннего; аналитические выражения для расчёта электрического сопротивления одного подшипника и узла трения в целом.

Параметр НИВ характеризует отношение времени, в течении которого был пробой смазочной пленки к общему времени сигнала, его значение может быть получено как через непосредственное измерение временных интервалов, так и через подсчет отношения полученных значений:

$$\bar{K}(R_{\Sigma}) = M(R_{\Sigma}) / N(R_{\Sigma}), \quad (1)$$

где $M(R_{\Sigma})$ – число значений сигнала сопротивления, которое меньше порогового значения;

$N(R_{\Sigma})$ – общее число значений сигнала.

$$R_{\Sigma}(R_1, R_2) = \frac{(R_1(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n) + R_g) \cdot (R_2(h_0, Ra_3, Ra_4, Fr, n) + R_k)}{(R_1(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n) + R_g) + (R_2(h_0, Ra_3, Ra_4, Fr, n) + R_k)}; \quad (2)$$

где $R_1(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n)$, $R_2(h_0, Ra_3, Ra_4, Fr, n)$ – сопротивление первого, второго подшипника в узле;

R_k, R_g – сопротивление корпуса и вала соответственно.

На значение электрического сопротивления подшипников оказывают условия работы (частота вращения, нагрузка, параметры смазочного материала), шероховатость контактирующих поверхностей, геометрические размеры подшипников, наличие оксидных и адгезионных слоев. Сопротивление подшипника складывается из сопротивлений контакта тел качения с наружным и внутренним кольцами:

$$R_{II}(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n) = \sum R_{K1}(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n) + \sum R_{K2}(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n), \quad (3)$$

где $R_{K1}(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n)$, $R_{K2}(h_0, Ra_2, Ra_3, Fr, n)$ – сопротивление между телом качения с наружным и внутренним кольцом соответственно.

С учетом сопротивления контактирующих тел, трибосопряжения, плёнок, сопротивление контакта тела качения с контактирующей поверхностью:

$$R_k(h_0, Ra_1, Ra_2, Fr, n) = R_M + R_{ОП} + R_A + R_T, \quad (4)$$

где R_M – электрическое сопротивления контактирующих тел,
 R_T – электрическое сопротивление трибосопряжения,
 R_A – сопротивление адгезионного слоя,
 $R_{ОП}$ – сопротивление оксидных плёнок.

Сопротивление адгезионного и оксидного слоёв:

$$R_A = \rho_A \cdot l_A / A_r \cdot n_r, \quad R_{ОП} = \rho_{ОП} \cdot l_{ОП} / A_r \cdot n_r, \quad (5)$$

где $\rho_{ОП}$ – удельное сопротивление оксидной пленки;
 $L_{ОП}$ – толщина оксидной пленки;
 ρ_A – удельное сопротивление оксидной пленки;
 l_A – толщина адгезионной пленки.

При этом, адгезионный слой имеет сложный состав, он состоит из адсорбированных газов, влаги, смазочного материала, преобладающим является слой смазочного материала. При пластическом контакте происходит разрушение поверхностных пленок, и их сопротивление не учитывается.

Электрическое сопротивление вала и корпуса узла мало, по сравнению с сопротивлениями в зоне трения, поэтому ими можно пренебречь.

Контактирующие тела разделены смазочным слоем и в зависимости от характера взаимодействия выделяют: граничное трение – толщина слоя смазочного материала значительно меньше величины шероховатости поверхностей; полужидкостной режим трения – область контакта содержит как области граничного, так и жидкостного трения; жидкостное трение – тела разделены смазочным слоем и не происходит непосредственного контакта.

$$\begin{cases} R_T = R_{CT} = \rho \cdot \sqrt{\pi} / (2 \cdot \sqrt{z \cdot A_r}); 0 < \lambda < 1 - \text{граничный режим трения;} \\ R_T = \frac{\rho_{CM}}{\rho} \cdot \frac{h_0}{r_k} \cdot \frac{A_r}{A_c - A_r} \cdot R_{CT}; 1 \leq \lambda < 3 - \text{полужидкостной режим трения;} \\ R_T = \rho_{CM} \cdot h / S_h; 3 \leq \lambda - \text{жидкостной режим трения.} \end{cases} \quad (6)$$

где R_{CT} – сопротивление стягивания;
 ρ – удельное электрическое сопротивление металла;
 z – число вероятных пятен контакта;
 A_r – фактическая площадь контакта;
 ρ_{CM} – удельное электрическое сопротивление смазочной плёнки;
 h_0 – толщина смазочной плёнки;
 r_k – радиус пятна контакта;
 A_c – контурная площадь контакта;
 λ – параметр смазочной пленки.

Числовым параметром, по которому можно определить режим трения является параметр смазочной пленки λ , определяемый на основе соотношения величин параметра шероховатостей и толщины смазочного слоя:

$$\lambda = \frac{h_0}{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}; \begin{cases} 0 < \lambda < 1 - \text{граничный режим трения;} \\ 1 \leq \lambda < 3 - \text{полужидкостной режим трения;} \\ 3 \leq \lambda - \text{жидкостной режим трения.} \end{cases} \quad (7)$$

где h_0 – толщина смазочного слоя;
 Ra_1, Ra_2 – среднее арифметическое значение шероховатости контактирующих поверхностей.

Как и любая поверхность, контактирующие поверхности обладают некоторой шероховатостью, при этом, в ходе их приработки она изменяется, пока не установится некоторое значение, оптимальное для данных условий трения, поэтому в рамках разрабатываемой модели принято допущение, что подшипники прошли режим приработки и контактирующие поверхности обладают равновесным значением. При этом, так как поверхности изначально были обработаны механически, закон распределения шероховатости выбран нормальным, так же, в рамках моделирования, сделано допущение, что после итерации расчета сопротивления для одного оборота, параметры шероховатости не изменяются.

Контактирующие тела не являются абсолютно упругими, поэтому подвержены некоторой деформации под воздействием радиальной нагрузки и контакт происходит по некоторой поверхности, принятой в рамках модели за эллипс. Расчет их сближения ведётся согласно теории Герца. Из-за наличия шероховатости контакт происходит не по всей площади эллипса, являющегося номинальной площадью контакта A_a , а по некоторым областям, где соприкасаются выступающие элементы поверхностей – фактической области контакта A_r . Значение величины фактической площади контакта определяется параметрами шероховатости, макро и микрогеометрии, механическими свойствами материалов деталей, технологических режимов обработки. Таким образом, фактическая площадь контакта является величиной случайной, зависящей от законов распределения материала по высоте единичного выступа, по высоте шероховатости.

На площадь контакта, число контактов, на величину сближения поверхностей влияет величина максимального давления в контакте. Максимальное давление в контакте p_0 определяется из выражений:

$$p_0 = \frac{1,5}{\pi \cdot n_a \cdot n_b} \cdot \sqrt[3]{\left[E \cdot \Sigma \rho / 3 \cdot (1 - \eta^2) \right]^2 \cdot F_r}; \quad (8)$$

где R_{1m}, R_{2m} – коэффициенты, определяемые кривизной контактирующих поверхностей;

μ_0 , – динамическая вязкость;

n_v – пьезокоэффициент вязкости смазочного материала;

V – скорость относительного перемещения контактирующих поверхностей.

Так как узел двухопорный, то при приложении нагрузки, на некотором расстоянии l_n от первого подшипника, нагрузка будет действовать на первый и второй подшипник соответственно, при расстоянии между ними l_n :

$$F_{r1} = F_H \cdot (l_n + l_n) / l_n; F_{r2} = F_H \cdot l_n / l_n. \quad (9)$$

Ввиду неоднородности поверхностей, наличия шероховатостей, макроотклонений профиля контакт рабочих поверхностей происходит в некотором вероятном числе z_k контактов, число контактов поверхностей влияет на электрическое сопротивление контакта, так как различное число контактов будет создавать различное сопротивление прохождению электрического тока.

Для небольших поверхностей, когда волнистость не обнаруживается, контурная площадь контакта будет равна номинальной, т.е. $A_c = A_a$. Номинальная площадь контакта определяется:

$$A_a = \pi \cdot a_a \cdot b_a, \quad (10)$$

где a_a, b_a – полуоси эллипса контакта.

При контакте возникают деформации поверхностей: упругая, пластическая, упруго-пластическая. При этом, для упругопластического контакта расчеты ведутся как при пластическом контакте.

Вид пластической деформации определяется по критерию на базе индекса пластичности:

$$\psi = \frac{E'}{H} \sqrt{\frac{\sigma'}{r}}; \begin{cases} \psi < 0,6 - \text{упругий контакт;} \\ 0,6 \leq \psi < 1 - \text{упругопластическая деформация;} \\ 1 \leq \psi - \text{пластический контакт.} \end{cases} \quad (11)$$

где E' – приведенный модуль упругости для двух контактирующих поверхностей;
 $H = \min(H_1, H_2)$ — меньшая из микротвердостей контактирующих материалов;
 σ' – среднеквадратическое отклонение профиля относительно средней линии шероховатой поверхности;
 r – средний радиус закругления вершин.

Для проведения расчётов были разработаны программы в среде Mathcad, Delphi.

Были получены зависимости сигнала электрического сопротивления двухопорного узла от частоты вращения, радиальной нагрузки, параметра Ra шероховатости, типа подшипника, параметров смазочного материала. Для формирования сигнала используется, написанная на языке Delphi, программа планировщик. Программа задаёт диапазоны изменения Ra , частоты вращения, радиальной нагрузки и шаг их изменения для подпрограмм расчета сопротивления одного подшипника, при этом, для первого и второго подшипника значения радиальной нагрузки соответствуют рисунку 1. Выходными данными является массив данных, характеризующий зависимость электрического сопротивления узла трения от Ra первого и второго подшипника для радиальной нагрузки Fr и частоты вращения внутреннего кольца n . На рисунке 2 представлены примеры изменения электрического сопротивления двухопорного узла трения в зависимости от параметра шероховатости Ra при различных условиях работы.

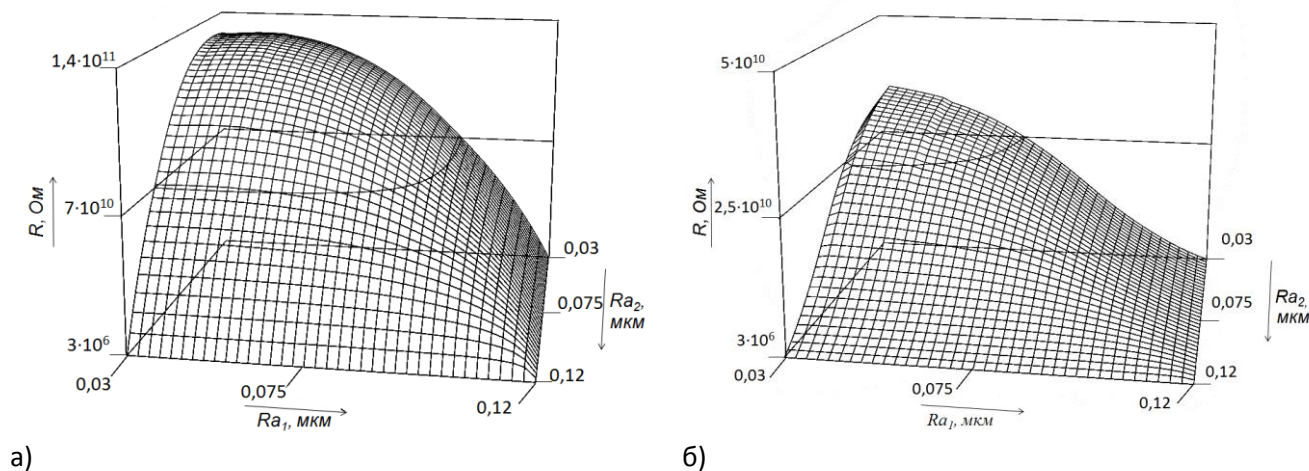


Рисунок 2 – График изменения сопротивления узла трения:

а) – $Fr=20 \text{ H}$, $n=1000 \text{ об}^{-1}$; б) а) – $Fr=60 \text{ H}$, $n=1000 \text{ об}^{-1}$

В результате проделанной работы была разработана математическая модель электрического сопротивления двухопорного подшипникового узла, на базе которой, были проведены теоретические исследования влияния условий работы и шероховатости рабочих поверхностей подшипников качения двухопорного узла трения на сигнал его электрического сопротивления, проведённые теоретические исследования показали возможность использования электрического сопротивления для мониторинга режима трения.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований правильности теоретических положений математической модели и возможности использования сигнала электрического сопротивления для диагностики двухопорного подшипникового узла.

В качестве экспериментального оборудования использовались стенды, измерительное оборудование: цифровой осциллограф DSO-2090, шумомер RM-DT-0602, микрофон Genius Mic-01/A, микроскоп поляризационный Axioskop 40, кругломер «Абрис-K10.2», инфракрасный термометр GM300.

Для проведения экспериментов требовалось регистрировать электрическое сопротивление трибосопряжений подшипников, для этого необходим преобразователь сопротивления в другой удобный для регистрации, хранения и дальнейшей обработки сигнал. Был выбран преобразователь сопротивление-напряжение на основе закона Ома, когда трибосопряжение подключено к источнику постоянного напряжения. Конечным объектом диагностики является двухопорный узел трения, в котором подшипники электрически соединены параллельно, а их составные части последовательно, из-за того, что сопротивление будет флуктуирующим и полная электрическая схема замещения предполагает наличие емкостей в цепи замещения подшипника, и так как при этом трибосопряжение заменяется на упрощенную модель, в виде эквивалентного сопротивления, экспериментально было показано, что данная операция является приемлемой.

Далее были проведены эксперименты по подтверждению правильности теоретических положений, заложенных в основе математической модели. Эксперименты проводились для одного подшипника. На рисунке 3 показан пример теоретического и экспериментального графиков для одинаковых условий 300 об^{-1} , 20 Н , подшипник тип 6302RS ГОСТ 8338-75.

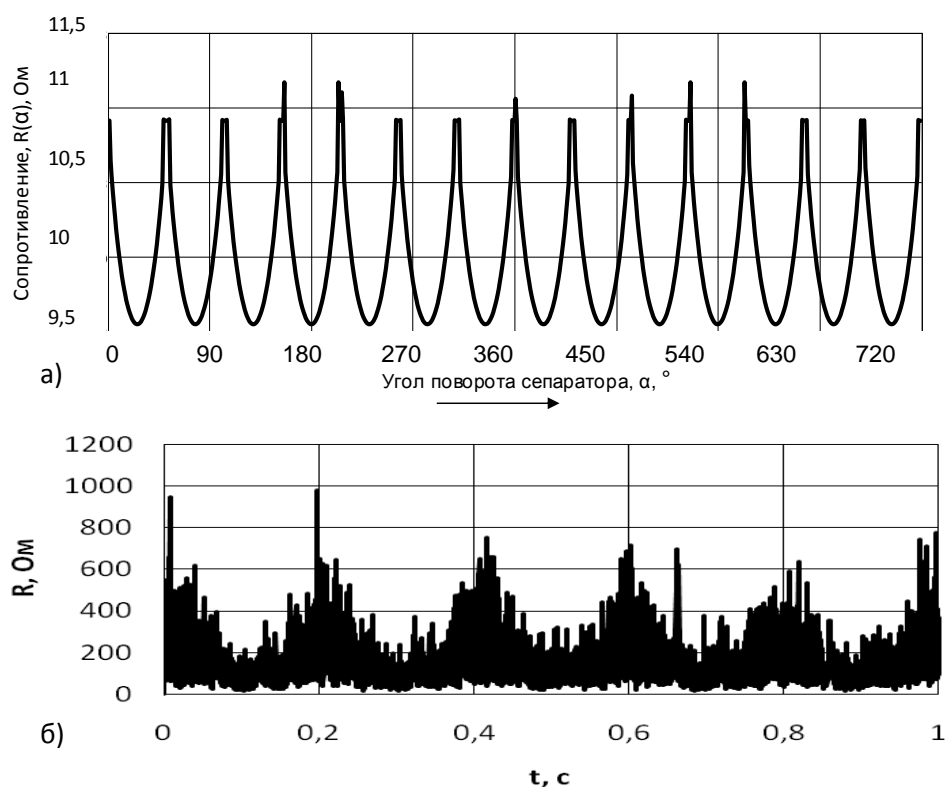


Рисунок 3 – Сравнение сигналов:

а – теоретический, б - экспериментальный

между которой и теоретическим сигналом составляет 0,85, что позволяет говорить об адекватности полученной модели.

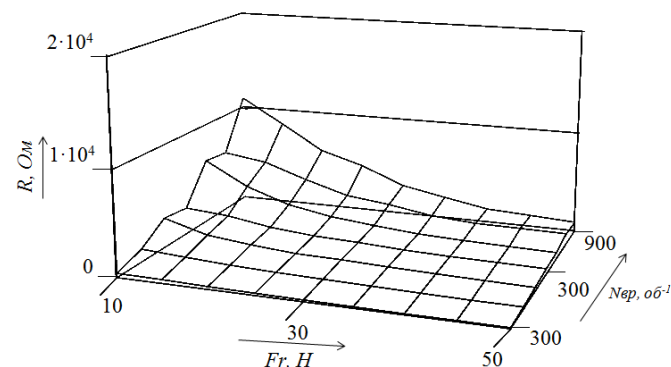
Далее был проведен комплексный эксперимент, направленный на исследование влияния различных объемов смазочного материала, частоты вращения и радиальной нагрузки на электрическое сопротивление подшипника (рисунок 4, а-г). Характер изменения экспериментальных зависимостей электрического сопротивления подшипника ка-

При моделировании учитывается только среднее арифметическое значение шероховатости, в результате сигнал получается усреднённым, сигнал же полученный в ходе эксперимента характеризует более полно шероховатость контактирующих поверхностей, чтобы можно было сравнивать эти два сигнала, была получена автокорреляционная функция сигнала сопротивления, коэффициент корреляции

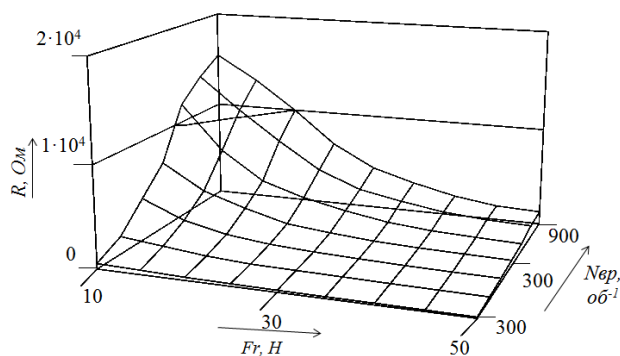
чения от условий работы говорит о возможности использовать сигнал сопротивления для контроля состояния режиме трения.



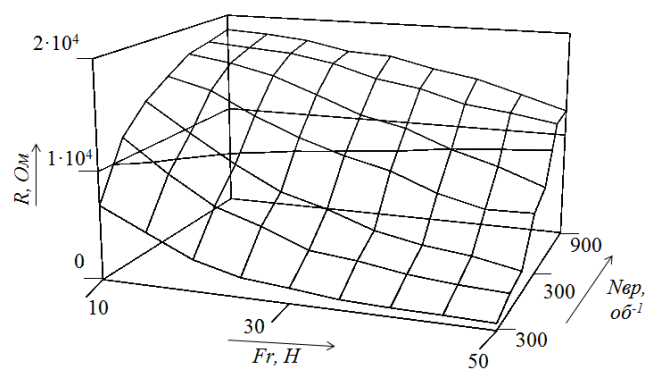
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – График изменения сопротивления:

а) – схема эксперимента, б) – зависимость функции $Q_R(Fr, n)$ при 0 мл масла, в) – зависимость функции $Q_R(Fr, n)$ при $0,1$ мл масла, г) – зависимость функции $Q_R(Fr, n)$ при $0,2$ мл масла

При проведении указанных выше экспериментов одновременно с сигналом сопротивления измерялся сигнал виброускорения, анализ спектров этих сигналов показал, что они имеют одинаковые спектральные составляющие, а так как априорно известно, что сигнал виброускорения достоверно описывает процессы в зоне трения, то этим же свойством обладает и сигнал электрического сопротивления. При этом, сигнал сопротивления обладает большей информативностью, за счет широкого частотного диапазона, рисунок 5.

Дополнительно были проведены эксперименты по сравнению сигналов, полученных с помощью электрорезистивного, акустического, вибрационного, температурного методов. Анализ показал, что сигнал сопротивления обладает малой инерционностью, информативен в широком диапазоне частот, вплоть до 1 МГц, в то время, как диапазон частот вибрационного метода ограничен частотой 100 кГц, акустического – 60 кГц.

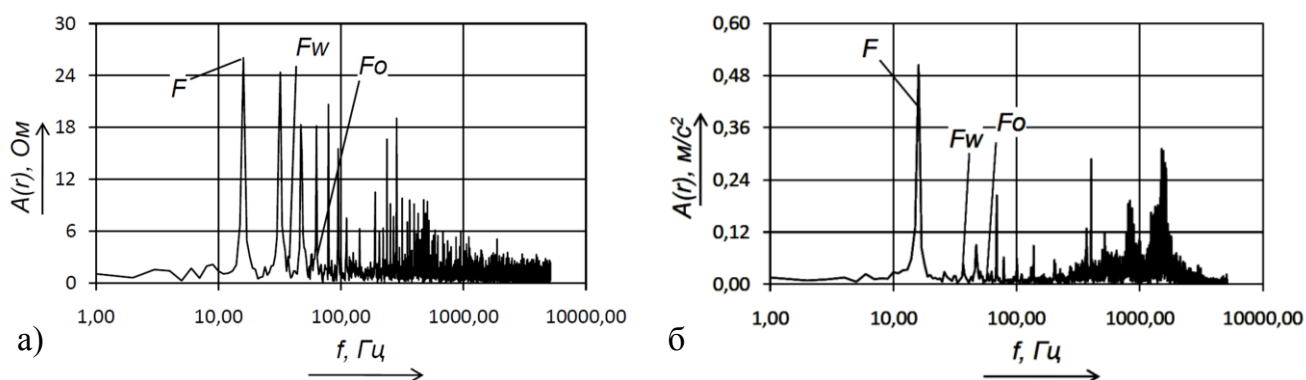


Рисунок 5 – Спектры сигналов:
а – сопротивления, б – виброускорения

Четвертая глава посвящена разработке метода и средств диагностирования.

Сигнал электрического сопротивления имеет много параметров, которые в той или иной степени зависят от внешних факторов для того, чтобы вынести суждение о состоянии узла подшипников генератора требуется некий единый параметр, в качестве такого было предложено использовать параметр НИВ. Он получается из сигнала сопротивления расчётным путём и сравнивается с заданным значением. Использование вместо непосредственного измерения параметра расчёт из временной функции сопротивления обусловлен следующим: метод измерения сопротивления позволит снизить влияние ЭДС, сигнал сопротивления обладает избыточной информацией и может быть выявлена дополнительная диагностическая информация.

Взаимосвязь и подчинённость элементов изображены на рисунке 6, методика диагностирования, представленная в виде последовательности действий, показана в виде структурной схемы на рисунке 7.

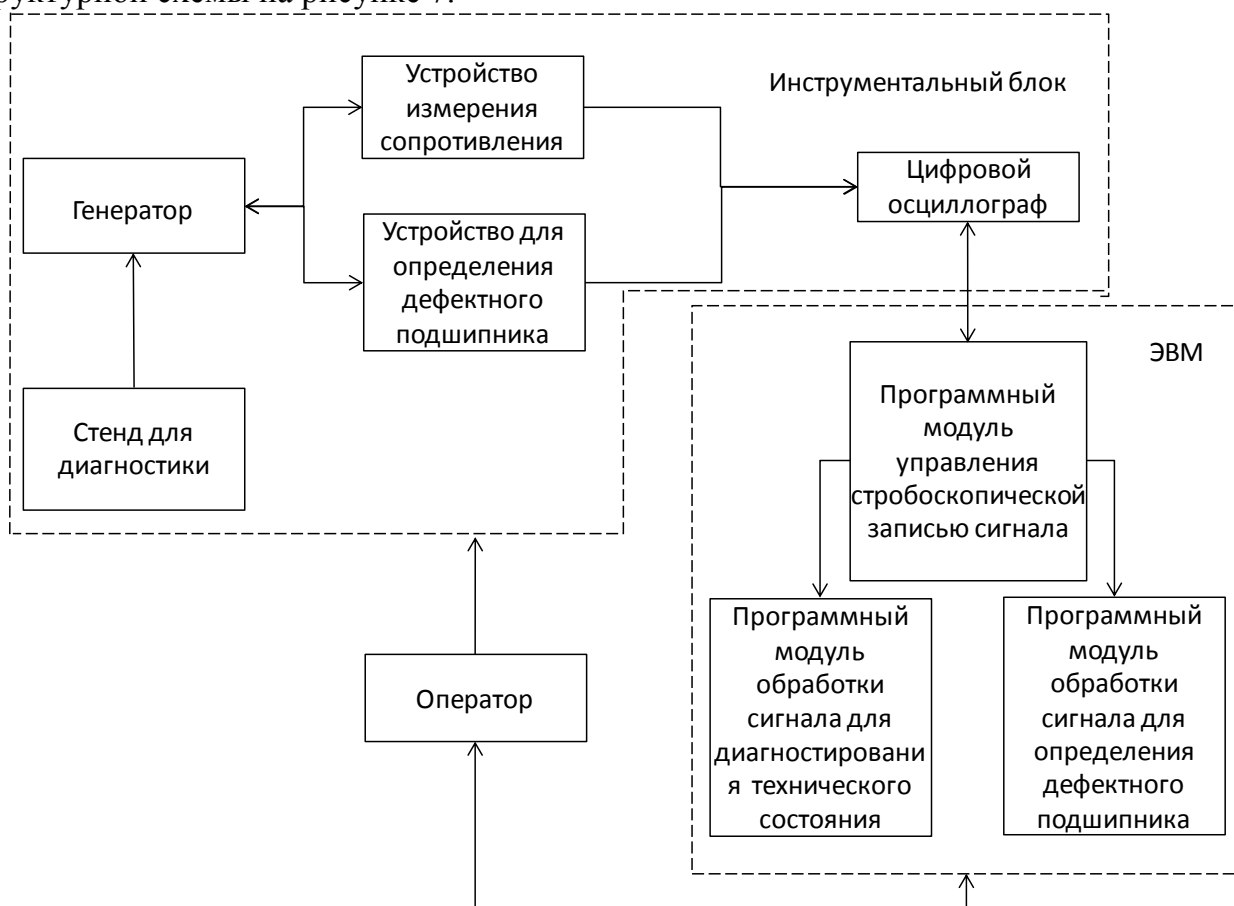


Рисунок 6 – Структурная схема диагностирования

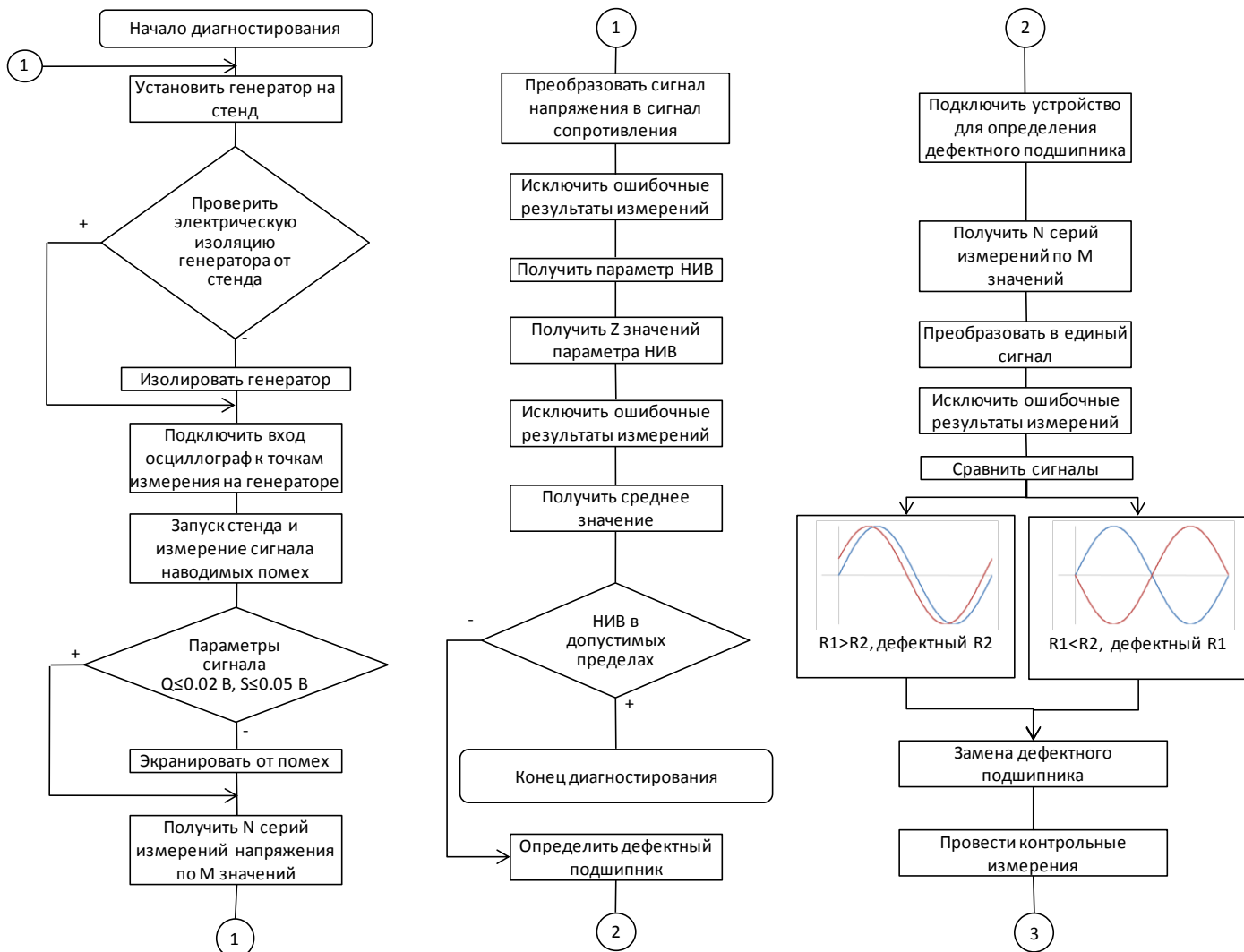
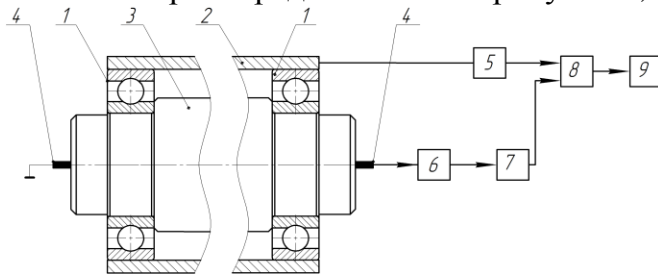


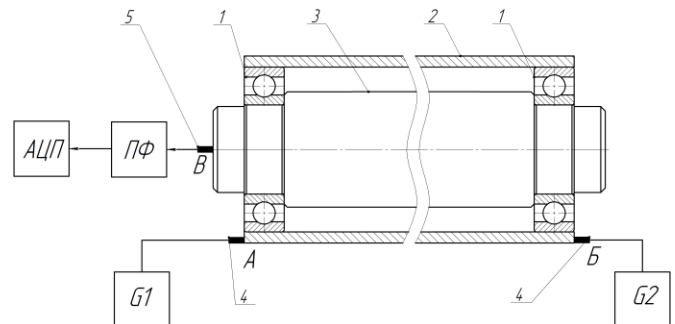
Рисунок 7 – Структурная схема методики диагностирования

Для реализации данного метода требуются устройства по измерению электрического сопротивления узла и для определения дефектного подшипника, структурные схемы которых представлены на рисунке 8, 9.



1 – подшипник, 2 – корпус, 3 – вал, 4 – токосъемник, 5 – генератор синусоидального напряжения, 6 – фазовый фильтр, 7 – полосовой фильтр, 8 – перемножитель, 9 – АЦП

Рисунок 8 – Устройство для измерения электрического сопротивления



1 – подшипник, 2 – корпус, 3 – вал, 4 – токосъемник с корпуса, 5 – токосъемник с вала, ПФ – полосовой фильтр, G1, G2 – генераторы синусоидального напряжения

Рисунок 9 – Устройство для определения дефектного подшипника

Так как требуется определить только техническое состояние и определить дефектный подшипник, без определения причины, то можно воспользоваться следующим решением. Так как узел двухопорный и подшипники соединены электрически через вал

и корпус, то они электрически соединены параллельно, значит, суммарное сопротивление стремиться к меньшему из значений, так как сопротивление пересчитывается в НИВ, то и оно будет стремиться к худшему из значений двух подшипников, значит, о неблагоприятном техническом состоянии, присутствующем в узле можно судить по общему сопротивлению. Если состояние одного или обоих подшипников одновременно является неудовлетворительным, то таким же является состояние узла в целом.

Снижение влияния ЭДС осуществляется за счёт следующего решения: двухопорный узел включен в обратную связь фазового фильтра, таким образом, его электрическое сопротивление влияет на разность фаз входного и выходного сигнала, а ЭДС только на среднее значение выходного сигнала, играя роль напряжения смещения. Сделано допущение, что сигнал ЭДС изменяется в диапазоне от 0 Гц до 1 МГц, если в качестве несущего сигнала с генератора использовать сигнал с частотой 10 МГц и настроить полосовой фильтр на это значение, то удастся значительно снизить погрешность от влияния ЭДС, при этом, считается, что на данной частоте её влияние незначительно. Относительная погрешность устройства, рассчитанного в качестве примера, составляет 3,1 %.

Так как дефектный подшипник обладает меньшим сопротивлением, то устройство должно выполнять функцию индикации соотношения сопротивлений. Если подключить разнополярные источники постоянного напряжения вместо генераторов G_1 , G_2 , согласно рисунку 8, то сигнал напряжения с токосъемника в точке В будет отрицательным, когда сопротивление левого подшипника больше сопротивления правого. Действующее при этом ЭДС вносит значительную погрешность. Используя принятое ранее допущение о частоте сигнала ЭДС, частота сигналов генераторов должна быть 10 МГц, для сохранения работоспособности устройства они должны быть в противофазе, тогда используя полосовой фильтр возможно существенно снизить погрешность от ЭДС.

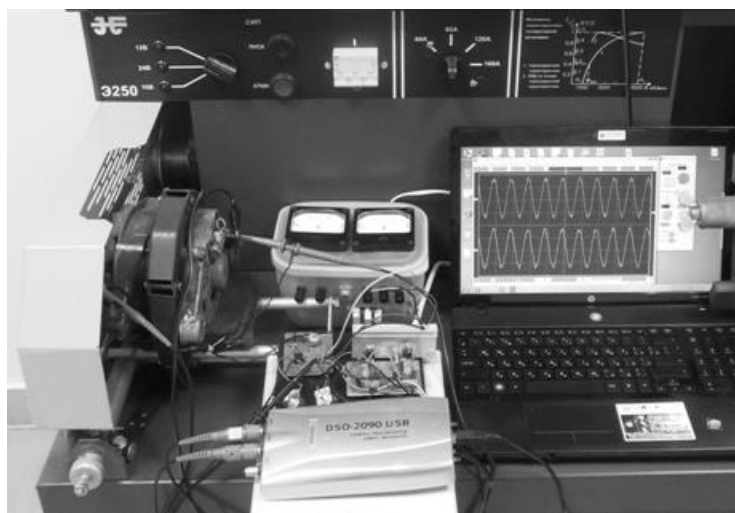


Рисунок 10 – Диагностический стенд Э-250-02 с оборудованием для электрорезистивной диагностики

Когда сопротивление левого больше правого разность фаз между сигналами, получаемых с точки Б и В будет равна нулю, в противном случае равна 180° .

Метод может быть реализован на уже существующем серийном оборудовании, рисунок 10.

Так же были сформулированы алгоритмы методики диагностирования, для решения конкретных задач, представлены требования к проведению эксперимента, алгоритм записи сигнала, алгоритм обработки полученных данных.

Метрологический анализ показал, что чувствительность первичного

преобразователя является наибольшей в области значений, от 0 до 50 кОм и изменяется от $-0,042\text{ }^\circ/\text{Ом}$ до $-0,002\text{ }^\circ/\text{Ом}$, что является достаточным для получения достоверного результата измерения. Диагностический сигнал является информативным и позволяет получить достоверный результат, информативность электрорезистивного метода $I_R=1,314$ выше, чем вибродиагностического метода $I_a=2,698$. Контролепригодность электрорезистивного метода диагностирования $K_{KR}=0,32$ выше, чем вибродиагностического $K_{Ka}=0,51$.

Режимы диагностирования, на примере генератора Г-288Е: тип генератора – ав-

томобильный генератор переменного тока с двухопорным подшипниковым узлом; частота вращения вала 1180 об⁻¹, 1900 об⁻¹, 8000 об⁻¹; радиальная нагрузка на вал 10±0,2 Н, место приложения нагрузки – шкив; подводимое напряжение – не более 100 мВ; диапазон измерения НИВ - от 0 до 1, порог срабатывания по сопротивлению R_n - 100±10 Ом; время (T_n) измерения диагностических параметров - 0,01; 0,1; 1; 10 с; минимальная длительность учитываемых импульсов микроконтактирования – не более 1 мкс; вывод данных на персональный компьютер – COM, USB; режимы измерения - автоматический, ручной запуск; вид питания – автономное, сетевое.

Значению параметра НИВ $1 \leq \bar{K} < 0,969$ соответствует граничный режим трения, предельное состояние, $0,969 \leq \bar{K} < 1,016 \cdot 10^{-3}$ – полужидкостной режим трения, неисправное состояние, когда эксплуатация возможна, но параметры не соответствуют заданным значениям, $1,016 \cdot 10^{-3} \leq \bar{K}$ – жидкостной режим трения.

Пятая глава посвящена внедрению в процесс технического обслуживания и расчёту экономического эффекта от внедрения метода.

Были разработаны практические рекомендации по внедрению процедуры диагностирования подшипникового узла, которые определяют последовательность действий, расположение измерительного оборудования, регламентируют время операций. Тестирование необходимо проводить на всем диапазоне рабочих частот вращения генератора, условия работы должны быть нормальными.

Себестоимость устройства рассчитывалась исходя из того, что устройства, являются вновь разрабатываемым. Наибольшую трудоемкость имеет раздел разработки метода и средств – 500 н/ч; стоимость материальных затрат 19067,4; затраты на оплату труда 6824,4 руб.; полная себестоимость 34298,22 руб.; отпускная цена без НДС 41157,86 руб; годовые текущие затраты 13347,37 руб.

Экономический эффект рассчитывался исходя из того, насколько внедряемый метод эффективнее позволяет определять дефектные изделия, по сравнению с органолептическим методом. В результате экономический эффект составляет для легковых автомобилей $K \in [12543; 73173]$ руб./год, для грузовых $K \in [115479; 536306]$ руб./год, таким образом, ограничением области применения метода является его применение для грузового автотранспорта.

Используя экономико-вероятностный метод была определена периодичность диагностирования: первое диагностирование рекомендуется проводить при наработке $L_d^1 = 128$ тыс. км, последующие с периодичностью 48 тыс. км для вероятности безотказной работы 0,9.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе достигнута поставленная цель работы, на основе решения сформулированных задач повышения надёжности автотранспортных средств за счёт улучшения эффективности диагностирования генератора путём оценки режима трения в подшипниковом узле, выявления дефектного подшипника по электрическому сопротивлению узла на фоне действия ЭДС в зонах трения.

Основные результаты и выводы диссертационной работы:

1. Проведённый анализ проблемы диагностики технического состояния подшипниковых узлов показал, что перспективным является электрорезистивный метод диагностирования, а так же показал необходимость разработки метода и средств диагностирования, направленных на уменьшение влияния ЭДС на результат измерения, совершенствования

ование методов выделения диагностической информации в двухопорном подшипниковом узле.

2. Для двухопорного подшипникового узла электрогенератора автомобиля была разработана математическая модель для проведения расчётов сигналов его электрического сопротивления, в зависимости от различных условий работы, основанная на положениях теорий упругости, контактной гидродинамики, электропроводности контакта двух шероховатых тел, контакта реальных поверхностей, отличающаяся учётом влияния оксидных и адгезионных слоев рабочих поверхностей на сигнал электрического сопротивления, возможностью проведения расчётов для двухопорного подшипникового узла.

3. Проведённые теоретические исследования показали чувствительность сигнала электрического сопротивления трибосопряжения подшипникового узла электрогенератора к условиям работы, влияющим на режим трения (частота вращения, радиальная нагрузка, смазочный материал, качество контактирующих поверхностей), что позволяет использовать его для диагностирования режима трения.

4. Экспериментальные исследования подтвердили, что сигнал сопротивления двухопорного подшипникового узла будет стремиться к значениям сигнала подшипника с худшим техническим состоянием; сравнение теоретических и экспериментальных графиков для одинаковых условий показали, что различие в значениях составляет до двух порядков, формы сигналов совпадают, коэффициент корреляции составляет 0,85, что говорит о правильности положений математической модели и её пригодности для анализа и формирования диагностического параметра, метода диагностирования.

Так же экспериментальные исследования показали преимущество электрорезистивного метода диагностирования перед вибрационным, акустическим, тепловым ввиду большей информативности и быстродействия.

5. Разработан метод и средства диагностирования, а так же методика диагностирования, включающая в себя алгоритмы проведения операции диагностирования, режимы и нормативные значения параметра НИВ. На основе измерения параметра НИВ выносится суждение о техническом состоянии подшипникового узла, проводится расчёт его ресурса. Погрешность устройства измерения сигнала сопротивления составляет 3,1%, что меньше чем у известного образца с погрешностью 6%, устройства определения дефектного подшипника – 14,8%, коэффициент ослабления паразитного ЭДС $k_o=1/867$.

6. Разработаны практические рекомендации по внедрению процедуры диагностирования подшипникового узла, которые определяют последовательность действий, расположение измерительного оборудования, регламентируют время операций.

Для обнаружения дефектов предлагаемым методом необходимо первое диагностирование генератора проводить через 128 тыс. км, пробега, а в дальнейшем каждые 48 тыс. км пробега.

7. Метрологический анализ показал, что в диапазоне от 0 до 50 кОм чувствительность первичного преобразователя изменяется от -0,042 °/Ом до -0,002 °/Ом, что является достаточным для фиксирования пробоя смазочной пленки. Диагностический сигнал является информативным и позволяет получить достоверный результат, информативность электрорезистивного метода $I_R=1,314$ выше, чем вибродиагностического метода $I_a=2,698$. Контролепригодность электрорезистивного метода диагностирования $K_{KR}=0,32$ выше, чем вибродиагностического $K_{Ka}=0,51$.

8. На основе экономических показателей, было определено, что экономически выгодно ограничить область применения метода грузовым автотранспортом, экономический эффект для грузовых автомобилей $K \in [115479; 536306]$ руб./год.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) в рецензируемых научных журналах из «Перечня ...» ВАК:

1. **Селихов, А. В.** Экспериментальное исследование электрического сопротивления (проводимости) подшипника качения как диагностического параметра [Текст] / А. В. Селихов, В. В. Мишин, М. В. Майоров, А. А. Катыхин, К. В. Шаталов, В. И. Некрасов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2010. – №6-2/(284). – С. 25-34.
2. **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, М. В. Майоров, В. Н. Чернышов, А. К. Подмастерьев, В. В. Мишин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2011. – №-2/2(286). – С. 137-142.
3. Чернышов, В. Н. Моделирование активного сопротивления подшипникового узла [Текст] / **А. В. Селихов**, В. Н. Чернышов, В. В. Мишин, А. В. Пальчевский // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2011. - №-2/2(286). – С. 18-24.
4. **Селихов, А. В.** Результаты экспериментального исследования параметров комплексной оценки технического состояния подшипника качения [Текст] / А. В. Селихов, В. В. Мишин, В. В. Семенов, Е. И. Родькин, С. Н. Тулин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 1(291). – С. 112-121.
5. **Селихов, А. В.** Система контроля качества опоры качения [Текст] / А. В. Селихов, М. В. Майоров, В. Н. Чернышов, В. В. Мишин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 3 (293). – С.108–112.
6. **Селихов, А. В.** Экспериментальное исследование работы подшипника качения при различных режимах трения на основе сигналов электрического сопротивления и виброускорения [Текст] / А. В. Селихов, М. В. Мишин, В. Н. Чернышов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 6-2 (296). – С.151– 58.
7. **Селихов, А. В.** Анализ особенностей технического диагностирования подшипниковых опор качения по характеру статистического распределения значений их электрического сопротивления [Текст] / А. В. Селихов, В. Я. Варгашкин, В. В. Мишин, С. Н. Тулин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2013. – № 3-2(299). – С. 68-77.
8. **Селихов, А. В.** Разработка обобщенной математической модели подшипника качения [Текст] / А. В. Селихов, А. В. Козюра, С. Г. Пузырев, В. И. Некрасов, Р. В. Шатеев // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – № 5(301). 2013. – С. 150-158.
9. Майоров М. В. Исследование особенностей диагностирования ступичного подшипника автомобиля [Текст] / М. В. Майоров, К. В. Подмастерьев, **А. В. Селихов**, Е.Б. Андросова // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2014. – №2 (45). – С.8–14.
10. **Селихов, А. В.** Метод и средства диагностирования генератора автомобиля по параметрам электрического сопротивления смазочного слоя [Текст] / А.В. Селихов // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2015. – №3. – С. 34-45.
11. **Селихов, А. В.** Устройство диагностирования дефектного подшипника в двухопорном узле трения [Текст] / А. В. Селихов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2015. – №5-2 (313). – С. 285-291.
12. **Селихов, А. В.** Методика диагностирования двухопорного подшипникового узла генератора автотранспорта [Текст] / А. В. Селихов, Мишин В. В., К. В. Подмастерьев, Е. В. Пахолкин // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2016. – №1. – С. 32-41.

б) статьи в сборниках материалов научных конференций:

13. **Селихов, А.В.** Анализ особенностей технического диагностирования двухопорного узла трения [Электронный ресурс] // Информационные ресурсы, системы и технологии – 2013: II международная научно-техническая интернет-конференция, 01.04.2013–31.05.2013; материалы конференции. – Текстовое (символьное) электрон.изд. Номер свидетельства ЭЛ № ФС 77 - 51946 / А.В. Селихов – г. Орел, ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК».
14. **Селихов, А.В.** Система контроля качества опоры качения [Электронный ресурс] // Информационные ресурсы, системы и технологии – 2012: V международная научно-техническая конференция, 17.05.2012–18.05.2012; материалы конференции. – Текстовое (символьное) электрон.изд. Номер свидетельства ЭЛ № ФС 77 - 51946 / М.В. Майоров, А.В. Селихов, В.Н. Чернышов, В.В. Мишин – г. Орел, ФГБОУ «Государственный университет – УНПК».
15. **Селихов, А. В.** Использование электрического сопротивления для диагностики опор качения [Текст] / В. В. Мишин, А. В. Селихов // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сборник трудов XXI Международного научно-технического семинара, 18-25 сентября 2012 г., Алушта – Москва: Изд-во ГУП Академиздат центр «Наука» РАН, 2012 г. – С. 69.
16. **Селихов, А. В.** Анализ особенностей технического диагностирования подшипниковых опор качения по характеру статистического распределения значений их электрического сопротивления [Текст] / А. В. Селихов, В. Я. Варгашкин, В. В. Мишин, С. Н. Тулин // Актуальные проблемы техники и технологии машиностроительного производства: сборник материалов VI всероссийской молодежной научно-технической конференции, 28 февраля – 19 апреля 2013 г. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК», 2013. – С. 47-48.
17. **Селихов, А. В.** Акустический контроль подшипников качения [Текст] / А. В. Селихов, М. В. Майоров, В. Н. Чернышов, В. В. Мишин // Фундаментальные проблемы техники и технологии - Технология-2012: Сборник тезисов и аннотаций научных докладов XV международной научно-технической конференции, 5-8 июня 2012 г. – Москва-Орел: Издательский дом «Спектр», 2012. – С. 382-383.
18. Мишин, В. В. Результаты экспериментальных исследований современных методов контроля физических процессов в зоне трения подшипника качения [Текст] / **А. В. Селихов**, В. В. Мишин // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: тез. Докладов XX Междунар. научн.-техн. семинара, г. Алушта, 18-24 сентября 2011 г. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – С. 129-130.
19. **Селихов, А. В.** К вопросу о математическом моделировании двух- и многоопорных узлов трения [Текст] / А. В. Селихов // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: тез. Докладов XXII международного научно-практического семинара, г. Алушта, 18-24 сентября 2013 г. – Москва: Изд-во МГУПИ, 2013. – С. 260-261.
20. **Селихов, А. В.** Метод диагностирования двухопорных узлов трения автотранспорта [Текст] / А. В. Селихов // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы международной научно-практической конференции. – Орел, 19–20 мая 2015 года. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», 2015. – С. 308-314.
21. Селихов, А. В. Концепция применения метода диагностирования подшипникового узла электрогенераторов автотранспорта [Текст] / А. В. Селихов, М. В. Мишин // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы международной научно-практической конференции. – Орел, 17–18 мая 2016 года. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», 2016. – С. 306-314.

в) свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

22. Статистический и спектральный анализ сигналов вибрации и электрического сопротивления : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **А. В. Селихов**, В. В. Мишин. - № 2013661441 ; заявл. 22.10.2013 ; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 09.12.2013. – 1 с. (личное участие 60%)
 23. Определение постоянной времени термодатчика : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **А. В. Селихов**, В. В. Мишин – № 2013661441 ; заявл. 22.10.2013. зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 09.12.2013. – 1 с. (личное участие 60%)
 24. Программа управления платой ESP8266: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **А. В. Селихов**, В. В. Мишин, С. Н. Тулин – № 2017613506; заявл. 27.01.2017. зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 21.03.2017. – 1 с. (личное участие 60%)
 25. Программа для моделирования сигнала электрического сопротивления: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **А. В. Селихов**, В. В. Мишин – № 2017613292; заявл. 27.01.2017. зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 14.03.2017. – 1 с. (личное участие 60%)
- г) патенты на полезную модель:**
26. Пат. Российской Федерации № 133298 *G 01 M 13/04* Устройство измерения сопротивления трибосопряжения подшипника качения / М. В. Майоров, В. В. Мишин, **А. В. Селихов**, Н. В. Рыбакова— № 2013118870/28 ; заявл. 23.04.2013 ; опубл. 10.10.2013. – 1 с. (личное участие 15%).
 27. Пат. Российской Федерации № 143182 *G 01 M 13/04* Устройство диагностирования подшипников качения / **А. В. Селихов**, М. В. Майоров, В. Н. Чернышов, В. В. Мишин — № 2013151967/28 ; заявл. 21.11.2013 ; опубл. 20.07.2014. - 1 с. (личное участие 50%).
 28. Пат. Российской Федерации № 141804 *G 01 M 13/04* Устройство диагностирования подшипников качения / **А. В. Селихов**, М. В. Майоров, В. Н. Чернышов, В. В. Мишин — №2013151965/28 ; заявл. 21.11.2013 ; опубл. 10.06.2014. – 1 с. (личное участие 50%).

Подписано в печать «___» _____ 20___ г. Формат _____

Усл. Печ.л 1,0.

Тираж 100 экз.

Заказ №_____.

ФГБОУ ВО Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева