

## **О Т З Ы В**

официального оппонента

д.т.н., профессора Гребенникова Александра Сергеевича на диссертационную работу Майорова Максима Валерьевича на тему «Разработка комплексного метода диагностирования ступичных подшипников автомобиля», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта в диссертационный совет Д999.030.03

Рассматриваемая диссертационная работа изложена на 120 страницах основного машинописного текста, содержит 39 рисунков и 7 таблиц. Она состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников, включающего 92 наименования и 5 приложений.

### **1. Актуальность темы диссертации**

Оценка технического состояния элементов ходовой части автомобиля, непосредственно влияющих на безопасность дорожного движения, является важной операцией в работе служб автосервисных предприятий.

Локализация предотказных состояний некоторых деталей и узлов, входящих в подвеску легковых автомобилей, представляет определенную сложность. К таким элементам ступичный узел с герметичными подшипниками, конструкция которых не предусматривает регулировочных и смазочных работ. Современная тенденция по интеграции и объединению составных элементов ходовой части, рулевого управления, тормозной системы в единый ступично-тормозной узел колеса автомобиля влечет за собой повышение требований к достоверности поэлементного его контроля, поскольку ремонтпригодность таких узлов сведена к минимуму, а стоимость их замены значительна.

В настоящее время состояний контроль состояния ступичных узлов, в основном устанавливается при помощи субъективных факторов. Имеющиеся средства их диагностирования малоэффективны. При этом достоверность и трудоёмкость диагностирования, во многом определяются опытом специалиста-диагноста.

Представленный в диссертации анализ методов и устройств контроля подшипников качения привел соискателя к выводу о целесообразности комплексного подхода, то есть формирования диагноза о работоспособности подшипников ступичного узла по совокупности получаемых параметров при вибрационном и электрофлуктуационном методах диагностирования.

В связи с изложенным, диссертационная работа Майорова М. В., направленная на разработку комплексного метода контроля работоспособности ступичного подшипника, обеспечивающего повышение достоверности и оперативности диагноза, является актуальной.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

На основании рассмотренных материалов диссертации заключаю: основные результаты, выводы и рекомендации соответствуют содержанию диссертации и согласуются с отдельными ее разделами.

Отдельно по разделам диссертации:

1. В работе проведен подробный анализ нормативной и законодательной базы, обеспечивающей контроль ступичных подшипников. Проанализированы и определены их конструктивные особенности, классифицированы возможные дефекты с учетом особенностей эксплуатации транспортных средств, а также известные методы оценки их технического состояния. Анализ выполнен с привлечением достаточного количества нормативных и научных публикаций, как отечественных, так и зарубежных ученых.

На основании этих исследований автор делает вывод о целесообразности применения комплексного метода диагностирования, сочетающего в себе информативные составляющие вибрационных и электрофлуктуационных процессов в трибосопряжениях ступичного подшипника с дальнейшей обработкой информации интеллектуальным модулем на основе искусственной нейронной сети, обучаемой с учителем.

Обоснованность данного не вызывает сомнения.

2. На основе теоретических предпосылок соискателем разработаны математические модели сопротивления и вибрации двухрядного ступичного радиально-упорного шарикоподшипника с учетом кинематики и наличия локальных дефектов на поверхностях качения.

Решение уравнений статического равновесия подшипника автор произвел относительно деформаций, возникающих в местах контакта шариков с кольцами при наличии моделирования дефектов дорожек или элементов качения, что позволило определить параметры изменения жесткостей и сил, вынуждающих вибрацию шарикоподшипника.

При расчете общей силы упругого взаимодействия тел качения с наружным и внутренним кольцом учтены свойства смазочного материала, которые значительно влияют на параметры матрицы демпфирования и жесткости подшипника. В математической модели отражены специфические особенности условий функционирования ступичного подшипника - наличие волнистости и локальных дефектов поверхностей внутреннего и наружного колец.

3. Важным результатом диссертационной работы является разработанная математическая модель электрического сопротивления ступичного подшипника с учетом двухрядности подшипника. Она представлена эквивалентной схемой замещения ступичного подшипника в виде параллельно соединенных сопротивлений контактов по каждому ряду тел качений с кольцами подшипника и сепаратором. При этом контакт тела качения рассматривается как отдельные электрические сопротивления с внутренним и с наружным кольцом.

В качестве критерия режима трения трибосопряжения ступичного подшипника выбран  $\lambda$ - параметр, значения которого в пределах  $0 < \lambda < 1$  характеризует состояние смазочного материала, соответствующему граничному режиму трения; в границах  $1 \leq \lambda < 3$  - смешанному; при  $\lambda \geq 3$  – жидкостному.

При моделировании локальных дефектов подшипника автором выявлено: повышение первой гармоники на частоте близкой к частоте прохождения шариков через зону нагружения наружного кольца подшипника;

увеличение сигнала в низкочастотной области с изменением волнистости дорожек колец;

отсутствие чувствительности вибрационных параметров на изменение количества смазочного материала в трибосопряжении ступичного подшипника;

изменение сопротивления относительно количества смазочного слоя достаточна для его характеристики, так как при недостаточности смазочного материала сопротивление трибосопряжения стремится к нулю.

По этим причинам использование параметров вибрационных и электрофлукуационных процессов для формирования комплексного вектор-параметра оценки технического состояния ступичного подшипника считаю обоснованным.

4. Автором предложен комплексный метод, заключающийся в обработке информации, получаемой при совместном измерении параметров вибрации и сопротивления трибосопряжения ступичного подшипника, с последующей ее кластеризацией и ассоциацией к конкретному техническому состоянию заранее обученной искусственной нейронной сети (классификатора). Комплексный вектор-параметр, далее использующийся интеллектуальной системой на основе искусственной нейронной сети, состоит из статистических оценок (математического ожидания, дисперсии, среднеквадратического отклонения, корреляционная функция, спектральная плотность) сигналов сопротивления и виброускорения ступичного подшипника.

Задача, решаемая нейросетью, заключается в кластеризации входного вектора диагностических признаков, т.е. разбиении множества состояний объекта на несколько групп со сходными параметрами. На основании априорной информации выдается суждение о том, какому техническому состоянию подшипника соответствует каждая группа. Для задачи кластеризации использована сеть Кохонена с применением алгоритма обучения с учителем.

Тренировочная выборка формируется на основе результатов математического моделирования вибрации и электрического сопротивления ступичного подшипника с учетом наличия заданных дефектов, волнистости дорожек качения и состояния смазочного материала.

Данный научный результат реализован в разработанном новом программном обеспечении - свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612849.

Считаю разработанные метод и систему обработки информации для контроля ступичного узла автомобиля вполне обоснованными.

5. Для реализации метода оценки технического состояния ступичного подшипника по параметрам вибрационных и электрофлукуационных процес-

сов в трибосопряжениях, соискателем разработаны устройство и методика его контроля, защищенные патентами на изобретение №133300 и № 133299.

6. Для реализации предложенных алгоритмов сбора и обработки диагностической информации соискателем разработано программное обеспечение, которое позволяет выбирать типы диагностируемых ступичных подшипников, а также пользовательский интерфейс.

Работоспособность разработанного устройства и методики диагностирования ступичных подшипников автомобиля подтверждается результатами экспериментов в ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание» (г. Орел), МУП «Трамвайно-троллейбусное предприятие».

### **3. Достоверность и новизна**

Достоверность научных положений работы обеспечивается использованием теоретических положений и зависимостей, используемых в технической эксплуатации автомобилей и электрофизике, общепринятых элементов теории трибологии, методов механики твердых тел, методов нейросетевой обработки информации, статистического и корреляционного анализа, метрологическими показателями средств измерения, сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований, в том числе с данными работ других авторов.

Новизна результатов исследований подтверждается приоритетными публикациями по рассмотренным вопросам, в том числе 6-ти в изданиях из перечня ВАК. Результаты работы получили одобрение на 10 профильных научно-технических конференциях и семинарах, в том числе международных, подтвержденных публикацией материалов. Новизна технических решений подтверждается тремя патентами Российской Федерации на изобретение и двумя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

### **4. Замечания**

1. В названии диссертации следовало бы заменить слово диагностирование на контроль, поскольку ранжирование параметров технического состояния ступичного подшипника происходит только по критерию “годен - не годен”, что не в полной мере отвечает общепринятому определению диагностирования, как процесса определения технического состояния с прогнозированием ресурса их исправной работы.

2. Цель работы не должна повторять название диссертации.

3. Приведенная в первой главе диссертационной работы классификация ступичных подшипников с точки зрения цели проводимого исследования является избыточной, при этом не отражена динамика изменения технического состояния подшипников по пробегу.

4. Вывод о том, что наибольшее влияние на техническое состояние ступичного подшипника оказывает режим смазывания, является весьма декларативным. Возникает вопрос, зачем при комплексном диагностировании дополнительно использовать вибрационный метод?

5. В заключении выводы по (п. 5) и (п. 6) очень кратки и неконкретны. В п. 5 не указаны выбранные параметры оценки вибрационных и электрофлуктуационных процессов для создания вектор-параметра, а в п. 6 отсутствуют численные значения обозначенных границ.

6. В заключении отсутствует непосредственный ответ на одну из поставленных задач исследования - «разработать алгоритм диагностирования ступичного подшипника с применением комплексного диагностического параметра». Нигде по тексту не упоминается слово «алгоритм».

### **5. Заключение о соответствии диссертации критериям Положения о присуждении ученых степеней**

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненной работы.

В целом текст диссертации «Разработка комплексного метода диагностирования ступичных подшипников автомобиля» изложен технически грамотно, лаконично и состоит из 5 классических глав. Используются общепринятые термины и определения. Графические материалы достаточно полно и четко отображают результаты исследований. На используемые заимствованные материалы приведены необходимые ссылки. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

Предложенные автором решения достаточно аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. В диссертации приведены рекомендации по использованию полученных автором теоретических и практических результатов.

Автореферат диссертации отражает основное содержание работы.

Диссертационная работа «Разработка комплексного метода диагностирования ступичных подшипников автомобиля» по тематике, содержанию и результатам соответствует области исследования специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта по п. 13 паспорта специальности – технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта и сервиса; методы диагностики технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов.

Диссертационное исследование является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения по разработке комплексного метода и средств диагностирования ступичных подшипников, имеющих существенное значение для увеличения эффективности технического обслуживания и сервиса автомобильного транспорта, путем повышения достоверности диагностирования, разработки новых инструментальных средств контроля.

Диссертационная работа «Разработка комплексного метода диагностирования ступичных подшипников автомобиля» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, а

