

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Денисова Александра Сергеевича на диссертационную работу Родичева Алексея Юрьевича на тему «Увеличение ресурса грузовых автомобилей на основе функционального тюнинга подшипников скольжения балансирных подвесок», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта.

### Актуальность темы диссертации

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения ресурсного равенства ключевых элементов грузовых автомобилей, где балансирная подвеска, воспринимающая значительные динамические нагрузки, критически влияет на эксплуатационные параметры. Особую проблему представляет оценка ресурса опор скольжения оси балансира, работающих в условиях экстремальных многокомпонентных нагрузок и сложной кинематики (комбинированные возвратно-вращательные и радиальные перемещения в смазочной среде). Анализ выявил недостаточную изученность гидродинамических, контактных процессов, механизмов изнашивания и методов прогнозирования ресурса этих подшипников при комплексном динамическом нагружении, что ограничивает возможность повышения их долговечности и увеличения межремонтных интервалов. В этой связи актуальна разработка новых подходов, включая применение биметаллических подшипников, твердосмазочных антифрикционных покрытий и систем предиктивной диагностики для мониторинга состояния в реальном времени, направленных на минимизацию потерь, оптимизацию функционирования и снижение эксплуатационных затрат. Тематика соответствует приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ и Перечню критических технологий (2024 г.) в части совершенствования транспортных систем и внедрения передовых наукоемких решений.

Следовательно, можно сделать вывод, что тема диссертационной работы Родичева А.Ю. относится к актуальной, полученные результаты обусловлены применением современных научных методов для решения проблем надежности узлов трения. Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием статистических и регрессионных методов. Теоретические исследования базировались на современном математическом моделировании трибологических процессов, необходимых для прогнозирования поведения рассматриваемой системы. Решение уравнений гидродинамической смазки осуществлено передовыми численными методами, критически важными для точного расчета подшипниковых узлов. Разработка новых технических решений подшипников скольжения осей балансиров и систем контроля



изнашивания проведена методами конструктивного синтеза, отвечая на запросы повышения долговечности. Особую актуальность имеют результаты внедрения методов машинного обучения для оценки остаточного ресурса подшипников скольжения по износу, что соответствует трендам цифровизации и предиктивного обслуживания.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций,  
сформулированных в диссертации

В ходе проведенных исследований Родичев А.Ю. использовал большой объем теоретического материала, рассматривая научные труды, как отечественных, так и зарубежных ученых. На базе рассмотренного материала производилось обоснование сформированных научных положений, отраженных во всех главах диссертации.

Научные положения, полностью соответствуют определенным задачам диссертации, связаны и выстроены между собой грамотно, что позволяет достигнуть поставленной цели исследования – увеличение ресурса работы грузовых автомобилей на основе функционального тюнинга подшипников скольжения балансирных подвесок.

Анализ обширных экспериментальных данных с применением методов математической статистики позволил установить статистические закономерности изнашивания подшипников скольжения в различных условиях эксплуатации, что стало основой для последующего моделирования. Решение уравнений гидродинамической смазки апробированными численными методами и верификация комплексом вычислительных экспериментов обеспечили разработку и обоснование математической модели подшипников балансирной подвески, описывающей зависимость грузоподъемности и потерь на трение от эксцентриситета. Установленные статистические закономерности и параметры трибологических процессов, полученные из этой модели, дали возможность создать математическую модель оценки ресурса подшипников в зависимости от скорости, нагрузки и параметров дорожного полотна для прогнозирования внепланового ТО и ТР. Использование реальных эксплуатационных данных и принципов предыдущих моделей позволило разработать нейросетевую модель прогнозирования остаточного ресурса работы балансирной подвески. Применение оригинального комплекса методов (выбор состава модификаторов, оптимизация режимов) позволило провести экспериментальные исследования, в ходе которых лабораторные испытания на сдвиг и микроструктурный анализ подтвердили эффективность предложенных способов повышения прочности сцепления антифрикционных покрытий со стальной основой в условиях ТО и ТР. Параллельно были выявлены ключевые структурно-механические особенности формирования твердосмазочных покрытий, а ресурсные испытания обосновали их влияние на долговечность. Синтез знаний, полученных при моделировании и исследованиях материалов, позволил Родичеву А.Ю. предложить комплекс технических решений и программных средств диагностики балансирной подвески, работоспособность и



эффективность, которых подтверждены испытаниями и апробацией на опытных образцах, что способствует совершенствованию системы ТО и ТР.

Представленные в заключении диссертации выводы коррелируют с исходными научными положениями и основными задачами исследования, являясь их логическим следствием и дальнейшим развитием применительно к решению конкретных исследовательских задач.

### Достоверность и новизна научных положений и выводов диссертации

Достоверность научных положений подтверждается большим объемом проведенных экспериментальных исследований, выполненных Родичевым А.Ю. на территории Орловской и Белгородской областей. Значительный объем докладов на международных конференциях подтверждает обсуждение широкой научной аудиторией, представленной как отечественными, так и зарубежными учеными.

Основные положения диссертации опубликованы в научных трудах: 77 статьях, в том числе 22 статьи в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 14 в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных Web of Science и Scopus. Результатом проведения исследований являются опубликованные научные работы: 1 монография, 10 патентов на изобретение, 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 свидетельство о регистрации базы данных.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлены режимы смазки сложно нагруженного подшипника скольжения балансирной подвески грузового автомобиля, работающего в условиях возвратно-вращательного режима работы, определены: поля давлений, минимальная толщина смазочного слоя, грузоподъемность, моменты трения и потери мощности на основе оригинальной методики, заключающейся в реализации математической, алгоритмической и программной модели.

2. На основе моделирования выявлено определяющее влияние эффекта гидродинамического сдавливания смазочной пленки на величину несущей способности и формирование режима смазки в подшипнике скольжения балансирной подвески грузового автомобиля. Установлено, что в данных подшипниках существует принципиальная возможность реализации гидродинамического режима смазки на отдельных этапах движения. Теоретически обосновано, что данный режим, характеризующийся отсутствием контактного взаимодействия опорных поверхностей подшипника скольжения и оси балансира, реализуем при определенном сочетании геометрических, кинематических и силовых параметров в установленных диапазонах.

3. Установлены теоретические зависимости скорости изнашивания опорной поверхности подшипника скольжения башмака балансира грузового автомобиля от скорости движения транспортного средства и состояния



## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Денисова Александра Сергеевича на диссертационную работу Родичева Алексея Юрьевича на тему «Увеличение ресурса грузовых автомобилей на основе функционального тюнинга подшипников скольжения балансирных подвесок», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта.

### Актуальность темы диссертации

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения ресурсного равенства ключевых элементов грузовых автомобилей, где балансирная подвеска, воспринимающая значительные динамические нагрузки, критически влияет на эксплуатационные параметры. Особую проблему представляет оценка ресурса опор скольжения оси балансира, работающих в условиях экстремальных многокомпонентных нагрузок и сложной кинематики (комбинированные возвратно-вращательные и радиальные перемещения в смазочной среде). Анализ выявил недостаточную изученность гидродинамических, контактных процессов, механизмов изнашивания и методов прогнозирования ресурса этих подшипников при комплексном динамическом нагружении, что ограничивает возможность повышения их долговечности и увеличения межремонтных интервалов. В этой связи актуальна разработка новых подходов, включая применение биметаллических подшипников, твердосмазочных антифрикционных покрытий и систем предиктивной диагностики для мониторинга состояния в реальном времени, направленных на минимизацию потерь, оптимизацию функционирования и снижение эксплуатационных затрат. Тематика соответствует приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ и Перечню критических технологий (2024 г.) в части совершенствования транспортных систем и внедрения передовых наукоемких решений.

Следовательно, можно сделать вывод, что тема диссертационной работы Родичева А.Ю. относится к актуальной, полученные результаты обусловлены применением современных научных методов для решения проблем надежности узлов трения. Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием статистических и регрессионных методов. Теоретические исследования базировались на современном математическом моделировании трибологических процессов, необходимых для прогнозирования поведения рассматриваемой системы. Решение уравнений гидродинамической смазки осуществлено передовыми численными методами, критически важными для точного расчета подшипниковых узлов. Разработка новых технических решений подшипников скольжения осей балансиров и систем контроля



изнашивания проведена методами конструктивного синтеза, отвечая на запросы повышения долговечности. Особую актуальность имеют результаты внедрения методов машинного обучения для оценки остаточного ресурса подшипников скольжения по износу, что соответствует трендам цифровизации и предиктивного обслуживания.

#### Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В ходе проведенных исследований Родичев А.Ю. использовал большой объем теоретического материала, рассматривая научные труды, как отечественных, так и зарубежных ученых. На базе рассмотренного материала производилось обоснование сформированных научных положений, отраженных во всех главах диссертации.

Научные положения, полностью соответствуют определенным задачам диссертации, связаны и выстроены между собой грамотно, что позволяет достигнуть поставленной цели исследования – увеличение ресурса работы грузовых автомобилей на основе функционального тюнинга подшипников скольжения балансирных подвесок.

Анализ обширных экспериментальных данных с применением методов математической статистики позволил установить статистические закономерности изнашивания подшипников скольжения в различных условиях эксплуатации, что стало основой для последующего моделирования. Решение уравнений гидродинамической смазки апробированными численными методами и верификация комплексом вычислительных экспериментов обеспечили разработку и обоснование математической модели подшипников балансирной подвески, описывающей зависимость грузоподъемности и потерь на трение от эксцентриситета. Установленные статистические закономерности и параметры трибологических процессов, полученные из этой модели, дали возможность создать математическую модель оценки ресурса подшипников в зависимости от скорости, нагрузки и параметров дорожного полотна для прогнозирования внепланового ТО и ТР. Использование реальных эксплуатационных данных и принципов предыдущих моделей позволило разработать нейросетевую модель прогнозирования остаточного ресурса работы балансирной подвески. Применение оригинального комплекса методов (выбор состава модификаторов, оптимизация режимов) позволило провести экспериментальные исследования, в ходе которых лабораторные испытания на сдвиг и микроструктурный анализ подтвердили эффективность предложенных способов повышения прочности сцепления антифрикционных покрытий со стальной основой в условиях ТО и ТР. Параллельно были выявлены ключевые структурно-механические особенности формирования твердосмазочных покрытий, а ресурсные испытания обосновали их влияние на долговечность. Синтез знаний, полученных при моделировании и исследованиях материалов, позволил Родичеву А.Ю. предложить комплекс технических решений и программных средств диагностики балансирной подвески, работоспособность и



эффективность, которых подтверждены испытаниями и апробацией на опытных образцах, что способствует совершенствованию системы ТО и ТР.

Представленные в заключении диссертации выводы коррелируют с исходными научными положениями и основными задачами исследования, являясь их логическим следствием и дальнейшим развитием применительно к решению конкретных исследовательских задач.

### Достоверность и новизна научных положений и выводов диссертации

Достоверность научных положений подтверждается большим объемом проведенных экспериментальных исследований, выполненных Родичевым А.Ю. на территории Орловской и Белгородской областей. Значительный объем докладов на международных конференциях подтверждает обсуждение широкой научной аудиторией, представленной как отечественными, так и зарубежными учеными.

Основные положения диссертации опубликованы в научных трудах: 77 статьях, в том числе 22 статьи в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 14 в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных Web of Science и Scopus. Результатом проведения исследований являются опубликованные научные работы: 1 монография, 10 патентов на изобретение, 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 свидетельство о регистрации базы данных.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлены режимы смазки сложно нагруженного подшипника скольжения балансирной подвески грузового автомобиля, работающего в условиях возвратно-вращательного режима работы, определены: поля давлений, минимальная толщина смазочного слоя, грузоподъемность, моменты трения и потери мощности на основе оригинальной методики, заключающейся в реализации математической, алгоритмической и программной модели.

2. На основе моделирования выявлено определяющее влияние эффекта гидродинамического сдавливания смазочной пленки на величину несущей способности и формирование режима смазки в подшипнике скольжения балансирной подвески грузового автомобиля. Установлено, что в данных подшипниках существует принципиальная возможность реализации гидродинамического режима смазки на отдельных этапах движения. Теоретически обосновано, что данный режим, характеризующийся отсутствием контактного взаимодействия опорных поверхностей подшипника скольжения и оси балансира, реализуем при определенном сочетании геометрических, кинематических и силовых параметров в установленных диапазонах.

3. Установлены теоретические зависимости скорости изнашивания опорной поверхности подшипника скольжения башмака балансира грузового автомобиля от скорости движения транспортного средства и состояния



дорожного полотна на основе оригинальной модифицированной методики оценки ресурса подшипника скольжения балансирной подвески с использованием уравнения Арчарда с введенным в него коэффициентом дорожного полотна и экспериментально уточненным безразмерным коэффициентом износа.

4. На основе оригинального комплекса методов, направленных на повышение прочности сцепления антифрикционного покрытия подшипника скольжения балансирной подвески грузового автомобиля в процессе ТО и ТР, формирование структуры, выбор оптимального состава модификаторов и технологических режимов, установлено, что рациональный выбор технологических параметров (расстояние, давление, угол нанесения покрытия) увеличивает прочность сцепления антифрикционных покрытий с основой не более 4 %, доказана эффективность использования термореагирующих порошков в качестве подслоя в составе антифрикционного покрытия, обеспечивающая увеличение прочности сцепления с основой не более 12,5 %, выявлено, что послойное деформирование материала сопровождается упрочнением структуры: микротвердость поверхности возрастает как в приконтактной зоне, так и в глубинных слоях, при этом происходит увеличение прочности сцепления антифрикционного покрытия с основой не более 7 %. Установлено, что применение полного комплекса методов увеличивает прочность сцепления антифрикционного покрытия с основанием не более чем на 20 %.

5. Установлены факторы, влияющие на прочность сцепления твердосмазочного покрытия с основой, определены структурно-механические особенности формирования покрытий, выявлена зависимость изменения толщины твердосмазочного покрытия от процесса приработки; на основе комплекса методов установлены и уточнены технологические параметры нанесения твердосмазочных антифрикционных покрытий (дистанции нанесения покрытия, давление (скорость потока), угол нанесения покрытия).

#### Практическая значимость результатов диссертации

Результаты исследований применены органами исполнительной власти, коммерческими предприятиями и федеральными структурами на уровне субъекта, подтверждены актами внедрения, которые выданы: автобаза № 9 ФАО «Орелдорстрой» г. Орла; ООО «АПК Юность» г. Орла; ООО «Белмаг» г. Белгород; ООО «Белдорстрой» г. Белгород; ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» г. Орел; ФГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова» г. Белгород.



## Оценка содержания диссертации, её завершенности и качества оформления

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка принятых сокращений и условных обозначений, списка литературы из 281 источников, включает 151 рисунка, 15 таблиц и 11 приложений. Общий объем работы составляет 384 страницы.

Оформление и структура диссертации и автореферата соответствуют ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыта научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ эксплуатационных характеристик подвесок грузовых автомобилей, выявивший снижение надежности и рост затрат из-за нарушений регламентов ТО и ремонта. Подвеска идентифицирована как критический узел с высокой частотой отказов. Ключевой проблемой является изнашивание подшипников скольжения балансирной подвески, являющейся доминирующим фактором ухудшения управляемости и возникновения вторичных дефектов, повышающих риск аварий. Разработана методика оценки изнашивания, основанная на анализе дефектов поверхностей, классификации по условиям эксплуатации и статистической обработке данных, с фокусом на контроль критического зазора, превышение которого ведет к ускоренному разрушению узла. На основе анализа предложена концепция функционального тюнинга, интегрирующая применение биметаллических подшипников, антифрикционных покрытий и встроенных систем мониторинга для повышения ресурса, и перехода к предиктивному обслуживанию.

Во второй главе реализуется комплексное моделирование работы подшипников скольжения балансирной подвески грузовых автомобилей. На первом этапе разработана гидродинамическая модель, основанная на модифицированном уравнении Рейнольдса для расчета полей давления, грузоподъемности и момента трения в смазочном слое. Модель, учитывающая цилиндрическую геометрию узла и движение втулки относительно неподвижной оси, выявила преобладание смешанного режима трения с зонами граничной смазки. Ключевым выводом является подтверждение возможности гидродинамического режима только при комбинированном воздействии сдвига поверхностей и радиального сжатия смазочного слоя динамическими нагрузками. На втором этапе построена модель прогнозирования изнашивания на основе уравнения Арчарда, интегрирующая влияние скорости, нагрузки, типа дорожного полотна (через коэффициент сопротивления) и частоты колебаний. Валидация модели показала нелинейную зависимость скорости изнашивания от скорости движения и существенное снижение ресурса при эксплуатации на участках с высоким коэффициентом дорожного полотна и перегрузках. На третьем этапе разработана предиктивная нейросетевая модель



(многослойный перцептрон) для оценки остаточного ресурса в реальных условиях эксплуатации, использующая входные параметры скорости, массы груза и коэффициента дорожного полотна. Модель дополнена алгоритмом коррекции прогноза по данным измерений износа во время технического обслуживания. Совокупность методов обеспечивает комплексную оценку долговечности узла и формирует основу для оптимизации режимов эксплуатации и перехода к предиктивному обслуживанию.

Третья глава посвящена исследованию и разработке биметаллических подшипников скольжения для балансирных подвесок грузовых автомобилей, направленных на повышение ресурса узла. Основное внимание уделено усилению адгезионной прочности соединения между стальной основой и антифрикционным слоем на медной основе. Экспериментально обоснован комплекс методов модификации поверхности: формирование регулярного микрорельефа на стальной втулке, использование термореагирующих никельсодержащих подслоев и послойное пластическое деформирование нанесенных антифрикционных покрытий. Применение этих методов в синергии обеспечило значительное увеличение прочности сцепления покрытия с подложкой и повышение его микротвердости по всему объему. Микроструктурный анализ подтвердил формирование упрочненных зон и улучшение механического зацепления. Результаты эксплуатационных испытаний демонстрируют существенное повышение ресурса подшипников при различных условиях эксплуатации, подтверждая экономическую эффективность предложенного технического решения для применения в автотранспортных предприятиях.

Четвертая глава посвящена исследованию формирования и свойств твердосмазочных антифрикционных покрытий для подшипников балансирных подвесок. Установлены ключевые факторы, влияющие на адгезионную прочность покрытия, включая технологические параметры нанесения и состояние подложки. Определены оптимальные режимы распыления, обеспечивающие формирование равномерного слоя. Комплексная оценка морфологии и структуры покрытий выявила закономерности их послойного формирования: начальные слои компенсируют рельеф подложки, последующие создают износостойкую матрицу, при этом установлена минимальная эффективная толщина покрытия. Регрессионный анализ подтвердил доминирующее влияние дистанции нанесения и шероховатости подложки на адгезию, с выявлением зоны максимальной прочности. Сравнительные испытания продемонстрировали превосходство одного из покрытий по адгезионной прочности. Трибологические испытания методом анализа кривых выбега ротора выявили значительное снижение трения в подшипниках с покрытиями по сравнению с базовым материалом, что коррелировало с оптимизацией микрорельефа и формированием адаптивного слоя. Микроструктурный и спектроскопический анализ подтвердили структурные изменения покрытий в процессе приработки, требующие компенсации при нанесении. Эксплуатационные испытания



подтвердили существенное повышение ресурса подшипников с твердосмазочными покрытиями и их экономическую эффективность.

Пятая глава посвящена разработке и внедрению интеллектуальных систем мониторинга состояния подшипников скольжения балансирных подвесок. В главе изложены алгоритмические принципы функционирования контрольно-измерительной системы, проанализированы конструктивные решения узлов с интегрированными датчиками и предложена технологическая методика их производства. Разработаны четыре ключевых алгоритма контроля изнашивания: фиксация предельного состояния, многопозиционная оценка изнашивания, регистрация изменений параметров электрической цепи и нейросетевое прогнозное моделирование. На основе этих алгоритмов созданы, запатентованы и реализованы экспериментальные образцы подшипниковых узлов со встроенными датчиками, включая функциональные схемы подключения к бортовой сети для передачи данных в реальном времени. Предложенная технология обеспечивает точную интеграцию измерительных элементов в антифрикционный слой при изготовлении, минимизируя погрешности монтажа и сохраняя функциональность под нагрузкой. Для управления данными разработаны специализированные программы. Эффективность решений подтверждена экспериментом с использованием трех параллельных контрольно-измерительных систем (включая интегрированные датчики, внешние датчики вибрации/температуры и тепловизионный контроль). Согласованность результатов всех систем, анализ данных с применением искусственной нейронной сети и возможность удаленного мониторинга подтвердили функциональную состоятельность, корректность калибровки и воспроизводимость предложенных диагностических решений.

В заключении представлены выводы и результаты диссертационной работы.

#### Соответствие паспорту научной специальности

Диссертация Родичева Алексея Юрьевича соответствует паспорту научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно, пункт 12 «Закономерности изменения технического состояния автомобилей, их агрегатов и систем, технологического оборудования предприятий, совершенствование на их основе систем технического обслуживания и ремонта, определение нормативов технической эксплуатации»; пункт 15 «Технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта; методы диагностирования технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов»; пункт 18 «Совершенствование методов восстановления деталей, агрегатов и управление авторемонтным производством», пункт 23 «Тюнинг конструкций автотранспортных средств в эксплуатации на основе применения новых материалов, технического совершенствования деталей, узлов и агрегатов, программного обеспечения».



### Замечания по диссертации

1. Каким образом эмпирически установленное критическое значение зазора (1,0 мм) в подшипниках скольжения балансирной подвески соотносится с расчетными предельными состояниями узла (усталостная прочность материалов, критические напряжения) и может ли данный порог считаться универсальным для различных модификаций подвески.

2. Учитывая принятые в гидродинамической модели допущения (идеально гладкие поверхности, изотермичность, несжимаемость смазки, пренебрежение инерцией), встает вопрос — насколько корректно она описывает реальные условия смешанного трения при значительных ударных нагрузках, характерных для эксплуатации в экстремальных условиях (карьеры, бездорожье).

3. Учитывает ли представленный расчет экономической эффективности биметаллических подшипников и твердосмазочных покрытий капитальные затраты на внедрение специализированных технологий для модификации поверхности (газопламенное напыление, накатка, термообработка), изменение трудоемкости ТО и масштабируемость результатов для разных автотранспортных предприятий.

4. Сравнительные испытания выявили превосходство покрытия MODENGY по триботехническим характеристикам над аналогичными покрытиями иностранных производителей, но учитывались ли в анализе его рыночная стоимость, доступность для российских потребителей и технологичность нанесения в условиях автотранспортных предприятий.

5. Экспериментальные исследования подтвердили краткосрочную функциональность интегрированных датчиков на стенде, но каков ожидаемый ресурс и надежность этих электронных компонентов при длительном воздействии реальных эксплуатационных факторов: интенсивной вибрации, запыленности, влажности, значительных температурных перепадов ( $-40^{\circ}\text{C}$  ...  $+80^{\circ}\text{C}$ ) и электрохимической коррозии.

6. Предложены три перспективных направления модернизации (биметаллические подшипники, твердосмазочные покрытия, системы интеллектуального мониторинга). Существуют ли разработанные критерии или методика выбора оптимальной комбинации этих решений (или применения одного из них) для конкретных эксплуатационных сценариев (междугородные перевозки, городская доставка, карьерные работы) с учетом баланса ресурса, стоимости и сложности внедрения.

Представленные замечания не снижают ценности выполненного исследования Родичева А.Ю.




## Общее заключение

Рассмотренная диссертация Родичева Алексея Юрьевича является сформированной и законченной научно-квалификационной работой, в которой предложен научно обоснованный комплекс взаимосвязанных решений для повышения ресурса и эффективности использования балансирных подвесок грузовых автомобилей, включающий: разработку математических, алгоритмических и программных моделей прогнозирования ресурса подвески в зависимости от скорости, нагрузки и параметров дорожного полотна; наряду с реализацией комплекса методов функционального тюнинга подшипников скольжения, предусматривающего использование биметаллических подшипников, нанесение твердосмазочных антифрикционных покрытий на рабочие поверхности и интеграцию систем предиктивной диагностики, обеспечивающих непрерывный мониторинг температуры, вибрации и износа в реальном времени. Реализация предложенных решений направлена на минимизацию энергетических потерь, точное прогнозирование износа и снижение эксплуатационных затрат за счет оптимизации условий функционирования подшипниковых узлов скольжения, что полностью отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по п. 9-11, 13 и 14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (ред. 25.01.2024), а ее автор Родичев Алексей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта.

### **Официальный оппонент**

Доктор технических наук (специальность 4.3.1 (05.20.03) – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве), профессор кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

 А.С. Денисов  
24.10.2025

Подпись доктора технических наук,  
профессора Денисова А.С. заверяю:  
Ученый секретарь Ученого совета СГТУ  
имени Гагарина Ю.А.



 А.В. Потапова

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», тел/факс +7 (8452) 99-86-03, e-mail: sstu\_office@sstu.ru