

ОТЗЫВ

официального оппонента Нестерова Сергея Александровича на диссертационную работу Горячкина Александра Александровича на тему «Электромеханическая система виброзащиты и стабилизации поперечной устойчивости легкового автомобиля», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы»

Актуальность работы

Актуальность диссертации обусловлена необходимостью повышения безопасности и комфорта в современной автомобильной индустрии за счёт совершенствования систем виброзащиты и стабилизации поперечной устойчивости транспортных средств. Вибрации при движении и недопустимые углы крена при маневрировании негативно влияют на комфорт пассажиров, сохранность грузов, а также устойчивость и управляемость автомобиля. Перспективным решением выступает внедрение управляемых подвесок с линейными электромеханическими преобразователями – они отличаются высоким быстродействием и точностью, простотой обслуживания, отсутствием дополнительных ступеней преобразования энергии, а также позволяют точно регулировать положение кузова.

Считаю, что проблема, выявленная Горячкиным А.А. – актуальна.

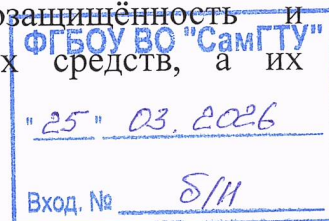
Новизна исследований и полученных результатов

Научная новизна. К наиболее существенным и принципиально новым научным результатам, полученным в работе, следует отнести:

– математические модели электромеханических систем виброзащиты и стабилизации поперечной устойчивости легкового автомобиля;

– методика параметрического синтеза регуляторов систем виброзащиты и стабилизации угла крена кузова легкового автомобиля.

Практическая значимость. Работа вносит вклад в развитие теории и практики управления динамическими характеристиками транспортных средств за счёт разработки обобщённой и частных математических моделей легкового автомобиля как объекта виброзащиты и стабилизации поперечной устойчивости, а также создания методик структурно-параметрического синтеза систем с заданными показателями качества регулирования. Практическая ценность исследования состоит в том, что предложенные решения позволяют существенно улучшить виброзащитённость и стабилизацию поперечной устойчивости транспортных средств, а их



эффективность подтверждена экспериментально – на макетной установке с линейной машиной постоянного тока, что создаёт основу для внедрения разработанных систем в реальное производство, что подтверждено соответствующим Актом использования результатов работы.

Соответствие паспорту научной специальности

По предмету исследования и решаемым задачам диссертация соответствует специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» в части: п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления», п. 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов»

Диссертация Горячкина А.А. состоит из введения, четырех разделов, заключения, библиографического списка и четырех приложений.

Во введении подробно обоснована актуальность диссертационного исследования, поставлены цели и задачи, указана степень разработанности темы, изложены научная новизна и практическая значимость диссертационного исследования.

Первый раздел содержит научно-технический анализ развития систем виброзащиты и подвесок транспортных средств. Рассмотрены актуальные решения в области активных подвесок: конструкции с магнитореологическими демпферами, линейными двигателями и электронными регуляторами. Детально исследованы проблемы стабилизации поперечной устойчивости автомобилей – от классических механических стабилизаторов до современных активных систем с регулируемой жёсткостью, включая варианты с гидроцилиндрами. Представлены известные конструктивные схемы, математические модели и расчётные методики для систем на базе пневматических опор, электромеханических и гидравлических приводов. Определены ключевые противоречия в требованиях к подвескам (баланс комфорта и управляемости) и намечены пути их преодоления за счёт внедрения адаптивных и активных технологий, особенно актуальных в контексте роста популярности электромобилей.

Во втором разделе автор представляет обобщённую и частные математические модели автомобиля как объекта управления углом крена и виброзащиты. В рамках разработки подробно рассмотрена расчётная схема объекта управления, а также выполнено исследование силовых воздействий на подвеску автомобиля в условиях установившегося движения в повороте. На основе проведённого анализа получены дифференциальные и

операторные уравнения движения объекта управления. При моделировании учтены ключевые факторы, влияющие на динамику транспортного средства: центробежная сила, возникающая при повороте и маневрировании; кинематические воздействия со стороны дорожного покрытия; упруго-диссипативные свойства подвески; дополнительное силовое усилие, создаваемое исполнительным элементом системы. Кроме того, в разделе разработаны структурные схемы объекта управления и получены его передаточные функции по управляющему и возмущающему воздействиям. Это позволяет анализировать реакцию системы на различные типы входных сигналов и закладывает основу для синтеза эффективных алгоритмов управления подвеской с целью обеспечения требуемых показателей устойчивости и виброзащитности.

В третьем разделе рассматривается разработка методик синтеза регуляторов для системы стабилизации угла крена и системы виброзащиты. Выполнено компьютерное моделирование динамических характеристик данных систем, позволившее оценить их эффективность и устойчивость в различных режимах эксплуатации.

Кроме того, детально проанализированы виброзащитные свойства активной подвески с линейным электромеханическим преобразователем (ЛМПП) в пассивном режиме работы: исследованы показатели подавления колебаний и вибраций, оценена способность системы снижать динамические нагрузки на кузов и подвеску при типовых воздействиях со стороны дорожного покрытия.

Четвертый раздел посвящен описанию разработанной макетной установки, а также представлению и анализу результатов экспериментальных исследований. В рамках раздела: приведено детальное описание конструкции и функциональных возможностей макетной установки; представлены результаты исследования статических и динамических характеристик линейного электромеханического преобразователя включая оценку его быстродействия, точности позиционирования и нагрузочной способности; изложены результаты экспериментального исследования системы стабилизации угла крена – продемонстрирована её работоспособность и эффективность в различных режимах эксплуатации; приведены данные моделирования работы активной подвески в режиме виброзащиты, отражающие динамику системы при типовых внешних воздействиях. Завершающим этапом работы стало сопоставление расчётных и экспериментальных параметров и характеристик системы автоматического управления подвеской. Проведённый сравнительный анализ подтвердил адекватность разработанных математических моделей и позволил оценить точность теоретических прогнозов, а также выявить возможные направления доработки системы для повышения её эффективности

Таким образом, цель, поставленная в работе, автором достигнута.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных результатов обеспечивается применением строгих математических методов исследования, экспериментальной проверкой, сравнением с теоретическими и практическими результатами других авторов. Результаты теоретических исследований в виде статических и динамических характеристик, были проверены на экспериментальной установке.

Диссертация имеет внутреннее единство, написана с использованием правильных технических терминов.

Основные результаты диссертации опубликованы в 7 научных работах, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 цитируемая в международной базе Scopus. Анализ публикаций автора позволяет утверждать, что содержание диссертации отражено в них с требуемой Положением ВАК полнотой. Основные результаты работы отражены в изданиях, соответствующих рекомендуемому ВАК перечню изданий для опубликования результатов кандидатских диссертаций. Содержание автореферата соответствует диссертации.

Замечания. К работе имеются следующие замечания:

1. Не ясно как учитывается направление действия центробежной силы относительно поперечной оси автомобиля на рисунке 21.

2. В работе обосновывается необходимость увеличения интегральной постоянной времени для регулятора в системе виброзащиты автомобиля, однако не приведено математического обоснования оптимальности предлагаемых значений с точки зрения баланса энергопотребления, помехоустойчивости и комфорта управления.

3. В 4 разделе представлено описание макетной установки, из которого не ясно какой элемент учитывает вязкое трение в рассматриваемой модели.

4. Одним из аргументов против использования электромеханических преобразователей в системе виброзащиты автомобиля является их повышенное энергопотребление в сравнении с гидравлическими системами, что особенно важно при использовании в электромобиле, так как оказывает влияние на один из основных его параметров – запас хода на одном заряде батареи. Однако расчёта электрической мощности, потребляемой предложенной системой виброзащиты, не проведено.

5. В работе не рассмотрен вопрос возможной нелинейности силовых характеристик демпфера и несимметричность силы сопротивления автомобильного амортизатора на сжатие и отбой поршня. На сколько учёт данных факторов усложнит настройку регулятора?

Заключение

Указанные замечания не снижают ценности выполненной работы. В целом диссертация Горячкина А.А. представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для электротехнических комплексов и систем, и соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатской диссертации в области технических наук, а Горячкин Александр Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент, заведующий кафедрой «Электромеханика» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», к.т.н., доцент



Нестеров Сергей Александрович

Подпись Нестерова С.А. заверяю

Ученый секретарь
Ученого совета университета



Ю.В. Вылгина

Ф.И.О., предоставившего отзыв: Нестеров Сергей Александрович

Почтовый адрес организации: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34

Адрес электронной почты: elmash@em.ispu.ru

Наименование организации: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Телефон: +7 (4932) 269-706

Дата составления отзыва: 13.03.2026

С отзывом ознакомлен



А.А. Горячкин

25.03.2026