

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Максимова Романа Олеговича на тему «Повышение виброизолирующих свойств системы поддрессоривания кабины грузового автомобиля за счет управления демпфированием», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

1. Название диссертации

Название диссертации соответствует тематике и содержанию выполненной диссертационной работы.

2. Актуальность темы диссертации

Повышение виброзащитных свойств систем поддрессоривания кабин грузовых автомобилей продолжает оставаться актуальной темой для машин, в особенности для седельных тягачей, водители которых во время дальних поездок продолжительное время оказываются под влиянием вибронагрузок, источниками генерации которых являются двигатель, ходовая система и агрегаты трансмиссии. Эта вторичная система поддрессоривания является своеобразным фильтром, который должен в максимальной степени ограничивать воздействие комплекса полиамплитудных и многочастотных вибровоздействий со стороны рамы на пол кабины. Поэтому работа, в которой предложен и научно обоснован новый метод повышения виброзащитных свойств подвески кабины за счет адаптивного изменения демпфирующих свойств ее элементов, является актуальной.

2. Оценка цели работы, научной новизны, практической ценности и достоверности результатов исследования

2.1. Оценка цели работы

Автором сформулировано в качестве цели улучшение комфорта и безопасности водителей и пассажиров в кабинах магистральных грузовых транспортных средств за счет исключения условий для возникновения явлений внутренних резонансов и дребезга и внедрения нелинейного управления демпфированием в переменных структурах нелинейных систем поддрессоривания кабин. Комплекс представленных в диссертации исследований и разработок свидетельствует о том, что цель работы достигнута.

2.2. Оценка научной новизны

Автором довольно пространно, из 6 пунктов, сформулирована научная новизна работы. Если более кратко, то, по-моему, ее суть заключается в том, что:

– предложен новый метод повышения виброзащитных свойств систем поддрессоривания кабин грузовых автомобилей, обеспечивающий улучшение комфорта и безопасности в кабине, основанный на комплексном синтезе тре-

буемых нагрузочных характеристик упруго-демпфирующих элементов подвески кабины и закона управления демпфированием в них;

– предложен новый способ анализа колебательных систем подрессоривания кабин на основе виртуальных стендовых испытаний, отличающийся тем, что обеспечивает возможность выполнения анализа причин появления резонансных явлений и анализа совместимости технических характеристик систем вторичного подрессоривания с характеристиками других систем наземного транспортного средства;

– предложен новый метод формирования требуемой с точки зрения комфортабельности и вибрационной нагруженности нелинейной упруго-демпфирующей характеристики амортизаторной стойки системы подрессоривания кабины за счет целенаправленного синтеза геометрии профиля поршня пневматического упругого элемента с резинокордной оболочкой.

2.3. Оценка практической ценности

Автором для практического использования создан ряд перечисленных выше новых методов, а также комплекса программных средств, позволяющих на стадии проектирования осуществлять подбор упруго-демпфирующих элементов систем подрессоривания кабин и целенаправленный синтез их характеристик с целью формирования требуемых уровней комфорта и безопасности водителя и пассажиров. В работе показано, что использование этих методов позволяет по критерию «комфорт» достигать улучшения этого показателя, например, для конкретного автопоезда с полуприцепом полной массы от 10 до 23 % в зависимости от скорости движения.

Практическая значимость выполненных автором разработок подтверждается представленными в Приложениях пятью актами внедрения и использования их результатов как в учебном процессе, так и на конкретных значимых предприятиях.

2.4. Оценка достоверности результатов исследования

Достоверность результатов выполненных автором теоретических и расчетных исследований подтверждается их сходимостью с результатами экспериментальных исследований, полученных в ходе проведения натурных дорожных испытаний грузового магистрального автопоезда в составе седельного тягача, а также сходимостью с результатами, полученными другими авторами подобных исследований.

3. Оценка содержания работы

Диссертация Максимова Романа Олеговича состоит из Введения, шести глав, Основных результатов и выводов по работе, Списка литературы и восьми Приложений. В Приложениях приведены описание структуры и параметров созданных математических моделей, отдельные результаты расчетных исследований, копии актов внедрения и полученного патента на изобретение.

Во Введении освещены вопросы актуальности темы работы; проанализирована степень разработанности темы; перечислены российские и зарубежные ученые, труды которых прямо или косвенно затрагивают проблема-

тику работы; представлены формулировки объекта, предмета, цели, задач и новизны исследований, теоретической и практической значимости работы, методологии и методов исследований; представлены положения, выносимые на защиту; охарактеризована степень достоверности и апробации результатов; приведены сведения о публикациях, структуре и объеме диссертации.

В первой главе приведен анализ методов виброизоляции и технических решений для организации систем вторичного подрессоривания в транспортных средствах.

Проанализирован вклад в создание и развитие теории подрессоривания таких выдающихся отечественных ученых, как А.А. Хачатуров, И.Г. Пархиловский, И.Н. Успенский и А.А. Мельников, Р.В. Ротенберг, Я.М. Певзнер, Г.О. Равкин, Р.И. Фурунжиев, А.Д. Дербаремдикер и другие.

Охарактеризованы современные подходы к организации систем вторичного подрессоривания транспортных средств на этапах проектирования, в том числе выполнен критический анализ методов расчетов и моделирования, использованных российскими учеными.

Рассмотрены и критически проанализированы технические решения систем подрессоривания кабин отечественных и зарубежных тяговых и транспортных средств.

Выполнен анализ современных методов управления упруго-демпфирующими характеристиками элементов систем подрессоривания транспортных средств.

Рассмотрены методы имитационного моделирования динамики в исследованиях систем подрессоривания и комплексные динамические модели транспортных средств.

Представлено описание виртуальных имитационных стендов, предназначенных для расчетных исследований систем подрессоривания кабин.

Сформулированы выводы по главе, цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены методика и результаты исследований нелинейных резонансных явлений в системе вторичного подрессоривания кабины транспортного средства.

Автором рассмотрены требования к математической модели пространственного движения подрессоренной кабины и основные допущения, принимаемые при ее создании; приведено описание созданной математической модели. Приведены дифференциальные уравнения, описывающие движение кабины, и математическое описание сил и моментов, действующих на кабину в эксплуатации. Показано преобразование математической модели к квазилинейному виду. Все математические выкладки выполнены корректно.

С помощью созданной модели выполнено расчетное исследование неустойчивости колебаний кабины на подвеске в условиях резонанса, в результате выявлены нежелательные соотношения собственных частот колебаний системы подрессоривания кабины, которые могут приводить к возникновению в системе как внешних, так и внутренних резонансов (биений). Далее автором методами аналитических исследований показаны пути снижения

амплитуд раскачивания подрессоренной кабины при возникновении пространственных резонансов.

Приведены выводы по главе, объективно отражающие результаты исследований.

В третьей главе автором представлена методика проведения виртуальных испытаний кабин с системами подрессоривания в программных средах с целью анализа совместимости технических характеристик систем вторичного подрессоривания и других систем транспортного средства.

Автором заявлено, что для проведения анализа совместимости характеристик вторичной системы подрессоривания кабины транспортного средства и других его систем на предмет возникновения резонансных явлений необходимо разработать виртуальный имитационный стенд, способный отражать пространственные колебания кабины на подвеске. Предложена методика построения такого стенда. Выполнено определение массово-инерционных параметров кабины и геометрических параметров расположения точек ее крепления, а также параметров жесткости и демпфирования системы подрессоривания кабины, после чего выполнены расчетное определение собственных частот колебаний кабины на подвеске и анализ неблагоприятных соотношений найденных собственных частот и частот возмущающих воздействий.

Далее выполнен анализ возникновения резонансных явлений в кабине, в результате которого автором показано, что последовательным изменением характеристик компонентов системы подрессоривания кабины в несколько итераций возможно добиться минимизации количества возможностей возникновения резонансных режимов колебаний кабины, в том числе связанных с совместным функционированием этой системы с другими системами транспортного средства.

Следующим этапом выполнения заявленных автором задач работы стало исследование с помощью виртуального стенда колебаний подрессоренной кабины конкретного магистрального седельного тягача при его движении по дорогам 1-ой и 2-ой категорий неровностей как в одиночном состоянии, так и с полуприцепом. Автором определены необходимые геометрические, инерционные, упругие и демпфирующие параметры элементов, получены собственные частоты колебаний подрессоренной кабины тягача и выполнен анализ неблагоприятных соотношений этих частот с частотами возмущающих воздействий. В результате расчетных исследований получены необходимые значения параметров подвески кабины для изменения собственных частот ее колебаний с целью исключения возможных резонансов.

Выводы по главе объективно отражают результаты исследований.

Четвертая глава посвящена разработке модели движения магистрального автопоезда, седельный тягач которого оснащен системой подрессоривания кабины, для прогнозирования его эксплуатационных свойств.

Автором в качестве инструментария для имитационного моделирования динамики автопоезда разработана комплексная модель его пространственного движения по различным типам опорной поверхности, учитывающая совместную работу всех его основных систем, узлов и агрегатов. Комплекс-

ная модель автопоезда представляет собой детализированный набор моделей подсистем и связей между ними для передачи физических многопараметрических взаимодействий и включает в себя следующие компоненты:

- модель виртуального полигона неровностей опорной поверхности;
- модели колесных движителей и их взаимодействия с опорной поверхностью;
- модель шасси;
- модель кабины и ее системы подрессоривания;
- модель формирования влияния колебаний рамы на кабину;
- модель передней рессорной подвески;
- модель задней пневматической подвески;
- модель ведущего моста задней оси тягача;
- модель подсистемы передней управляемой оси тягача;
- модель формирования аэродинамического сопротивления движению;
- модель формирования силовых факторов по 6-ти степеням свободы;
- модель полуприцепа;
- модели осей и подсистем пневматических подвесок полуприцепа;
- модель силовой установки тягача;
- модель тормозной системы тягача;
- модель системы управления тягово-тормозной динамикой тягача.

Автором приведено математическое описание каждого из перечисленных компонентов комплексной модели. Все необходимые выкладки выполнены корректно.

С помощью комплексной модели выполнено прогнозирование безопасности в кабине седельного тягача и определение ряда тормозных свойств магистрального автопоезда в режиме прямолинейного торможения, в режиме поворота R35 и в режиме переставки.

К сожалению, полученные в результате этих исследований цифровые данные не отражены в Выводах по главе.

В пятой главе автором представлены методика и результаты экспериментального исследования процессов виброускорений в кабине с системой подрессоривания седельного тягача магистрального автопоезда и валидация модели его движения.

С целью валидации модели движения тягача КАМАЗ-54901 в составе автопоезда проведен эксперимент, включающий в себя 4 заезда по прямолинейному участку дороги с неровностями 1-й категории со скоростями 20 км/ч, 40 км/ч, 60 км/ч и 80 км/ч соответственно. В результате обработки результатов натуральных и виртуальных испытаний выявлены незначительные (менее 10 %) расхождения в значениях уровней «комфорта» в кабине тягача.

В данной главе приведены также результаты исследований спектрального состава процессов виброускорений в местах крепления системы подрессоривания кабины к шасси тягача. Результаты натуральных исследований свидетельствует о совпадении частотного состава возмущающих воздействий с составом, использованным в динамической модели движения автопоезда. В ма-

териале главы приведены также спектры виброускорений колебаний в каждой точке крепления в трех направлениях.

В выводах по главе объективно отражены результаты исследований.

В шестой главе автором описан метод синтеза закона управления демпфированием и нагрузочными характеристиками системы подрессоривания кабины для повышения ее виброизолирующих свойств.

Метод основан на корректном выборе основных упруго-демпфирующих элементов системы подрессоривания кабины, функционирующих преимущественно в вертикальном направлении колебаний, и комплексном синтезе их упругих и демпфирующих характеристик. Автор показывает, что в подвесках кабин должны использоваться упруго-демпфирующие элементы с нелинейной прогрессивной нагрузочной характеристикой, обеспечивающей околонулевую жесткость в положениях, близких к положению статического равновесия, но при этом прогрессивно нарастающей при ходе сжатия и прогрессивно убывающей при ходе отбоя соответственно. По утверждению автора, такого рода упругую характеристику технически возможно реализовать применением пневматического упругого элемента с резинокордной оболочкой и профилированной формой его поршня.

Приведено описание разработанной математической модели колебаний амортизаторной стойки, методики синтеза упругодемпфирующих характеристик амортизаторных стоек и закона управления демпфированием в них.

Представлена модель пневматического упругого элемента с резинокордной оболочкой и профилированной формой поршня.

Автором показано, что в результате использования разработанной математической модели пневматического элемента с профилированной формой поршня имеется возможность синтезировать его нелинейные прогрессивные нагрузочные характеристики, обеспечивающие околонулевую жесткость в положениях, близких к положению статического равновесия упругого элемента, но при этом прогрессивно нарастающие при ходе сжатия и прогрессивно убывающие при ходе отбоя. В соответствии с этим автором получены требуемая упругая характеристика амортизаторной стойки и требуемый закон управления демпфированием в амортизаторных стойках. Соответствующие математические выкладки выполнены корректно. На их основе выполнен синтез требуемых характеристик и закона управления демпфированием в амортизаторных стойках для исследуемого седельного тягача.

В результате проведения моделирования динамики автопоезда в режимах для оценки его эксплуатационных свойств по критерию «комфорт» получены значения показателей уровней «комфорта» для базовой конфигурации автопоезда и для модернизированной – с управляемой системой подрессоривания кабины, что отражено на соответствующих графиках. При этом показано, что при движении одиночного магистрального тягача, а также автопоезда с полуприцепом снаряженной массы достигнуто улучшение показателей «комфорта» в диапазоне от 2 до 5 % в зависимости от скорости движе-

ния, а с полуприцепом полной массы – в диапазоне от 10 до 23 % также в зависимости от скорости движения.

По критерию «вибрационная безопасность» достигнуто снижение уровней вибронегруженности в вертикальном направлении колебаний кабины седельного тягача по всем 5-ти октавным полосам частот в диапазоне от 0,7 Гц до 22,4 Гц на всех скоростях движения и во всех рассмотренных весовых состояниях в диапазоне от 1 до 10 %.

В материалах главы приведено описание предложенного технического решения для конструктивной реализации предложенных методов, на которое получен патент Российской Федерации.

Приведены подробные Выводы по главе, адекватно отображающие результаты выполненных разработок и исследований.

В Основных результатах и выводах по работе подробно представлены обобщенные результаты выполненных автором разработок и исследований, свидетельствующие о достижении цели работы и выполнении заявленных задач исследований.

Список литературы включает в себя 130 позиций, в том числе 46 позиций на иностранных языках, что свидетельствует о хорошей проработке автором современных российских и зарубежных научно-технических источников.

4. Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат соответствует материалу диссертации и отражает в обобщенном виде содержание и результаты выполненных автором разработок.

5. Публикации

Автором по результатам выполненных исследований опубликовано 12 печатных работ, из них 7 в научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 3 в изданиях базы данных Scopus, 3 материала научных конференций, 1 патент РФ на изобретение. Таким образом, результаты выполненных автором исследований известны российской и зарубежной научной общественности.

6. Замечания по диссертации и автореферату

1. На странице 175 диссертации указано: «Валидация модели движения транспортного средства осуществлена на основе результатов проведенного натурного эксперимента, включающего в себя 4 испытания по прямолинейным участкам дороги 1-й категории неровностей с постоянными скоростями движения 20 км/ч, 40 км/ч, 60 км/ч и 80 км/ч соответственно». Почему именно на прямолинейных участках и с постоянными скоростями? Ведь именно на переходных режимах движения (разгон-торможение-поворот) подвеска кабины испытывает наибольшие возмущающие воздействия как со стороны рамы, так и от инерционных сил и моментов со стороны кабины. То есть использован упрощенный подход к валидации модели.

2. На странице 228 диссертации указано: «Реализуемость и работоспособность управляемых АС с применением в их конструкции обозначенных клапанов непрерывного электронного регулирования доказывается воз-

возможностями функционирования таких клапанов при изменениях управляющих воздействий с частотами, не превышающими в среднем 15 Гц [122]». В 5 главе на рисунках 5.9-5.12 показаны экспериментально полученные спектры виброускорений в 4-х точках крепления кабины, на которых максимальные пики PSD расположены в области частот от 15 до 20 Гц и в области от 28 до 34 Гц. Как обеспечится гашение колебаний с этими частотами?

7. Заключение


Перечисленные выше замечания не снижают в целом высокий научный уровень и положительную оценку представленной на отзыв диссертации. По актуальности темы, постановке и решению задач исследований, новизне научных результатов и их практической значимости диссертация является законченной, самостоятельной научно-квалификационной работой. В диссертации на основании выполненных автором исследований и разработок решена задача повышения виброизолирующих свойств системы поддресоривания кабины грузового автомобиля за счет управления демпфированием, имеющая важное хозяйственное значение для транспортной отрасли страны.

По своему содержанию и наполнению диссертация соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Автор диссертационной работы, Максимов Роман Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.

Официальный оппонент,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры

«Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей» ВолгГТУ

 Виктор Викторович Шеховцов

400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28. Волгоградский государственный технический университет.

E-mail: shehovtsov@vstu.ru

Тел (8442)-24-81-16

Докторская диссертация Шеховцова В.В. по специальности
05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

