

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Докт. проф. Жанказиев С.В.



2017 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Лихачёва Дмитрия Сергеевича

«Особенности вибронагруженности и пути снижения крутильных колебаний в трансмиссии автомобиля с комбинированной энергоустановкой»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

### Актуальность темы исследования.

Повышение технического уровня современных автомобилей, связанное с увеличением мощностных показателей двигателя внутреннего сгорания (ДВС), применением комбинированных энергоустановок (КЭУ), совершенствованием конструкции трансмиссии, непосредственно связано с проблемами снижения динамических нагрузок в колесной машине. Число отказов, связанных с вибрацией, в машиностроении достигает высоких показателей. Учитывая стоимость современных изделий и дополнительные затраты на восстановление их в течение ресурса машины, исключение колебаний в трансмиссии транспортного средства (ТС) является важной и актуальной проблемой современного машиностроения.

Выбор средства уменьшения крутильных колебаний трансмиссии в каждом случае определяется конкретными характеристиками системы и условиями ее эксплуатации. В связи с тем, что ранее в исследованиях не рассматривался полигармонический характер возмущения от КЭУ, не учитывалось наличие электродвигателя как дополнительного элемента динамической системы с собственными упруго-инерционными параметрами и наличие автоматической ко-

робки передач (АКП) без гидротрансформатора, использование методического подхода в решении проблем вибронагруженности позволит сократить большой объем экспериментальных и доводочных работ, когда внесение изменений в конструкцию ТС требует существенных затрат времени, труда и материалов.

В связи с этим снижение вибронагруженности трансмиссии на ранних стадиях проектирования ТС с КЭУ, а не в процессе доводки конструкции является одной из важных научно-технических и практических задач отечественного и зарубежного автомобилестроения.

### **Научная новизна исследования.**

В качестве основных результатов работы, относящихся к научной новизне, в диссертации вынесены следующие положения:

1. Разработан метод, позволяющий на ранних этапах проектирования автоматических трансмиссий без гидротрансформатора для ТС с КЭУ прогнозировать резонансные режимы работы и снижать уровень динамической нагруженности элементов трансмиссии путем определения необходимого места расположения гасителя крутильных колебаний и его параметров.

2. В рамках разработанного метода для определения допустимого уровня динамической нагруженности трансмиссии предложен и научно обоснован критерий оценки по угловому ускорению инерционных масс механической системы, получаемый по результатам анализа процесса буксования фрикционных муфт и определения закладываемого в конструкции коэффициента запаса сцепления.

3. На основе выполненного методом корневого годографа анализа устойчивости периодических решений при варьировании параметров механической системы трансмиссии автомобиля с КЭУ обоснованы конструктивные решения по выбору типа гасителя крутильных колебаний, его параметров и места установки.

4. Разработана имитационная модель динамической нагруженности механической системы «ДВС – ЭД – АКП – ТС» на установившихся режимах рабо-

ты, в которой на основе использования методов статистической динамики и спектрального анализа учтены полигармонические возмущения от КЭУ и виброзащитные свойства трансмиссии.

5. Получены новые экспериментальные данные о динамических процессах, протекающих в системе «ДВС – ЭД –АКП–ТС» при различных режимах работы трансмиссии, на основе которых выявлены условия возникновения резонансов в эксплуатационном диапазоне рабочих частот силовой установки.

### **Достоверность научных положений, результатов и выводов.**

Достоверность основных положений, изложенных в диссертации, основана на фундаментальных законах и уравнениях теоретической механики, методах имитационного моделирования и вычислительной математики. Результаты расчетных исследований подтверждены большим объемом лабораторно-дорожных испытаний, выполненных с использованием поверенного информационно-измерительного оборудования.

### **Практическая ценность исследования.**

Разработанный метод прогнозирования динамической нагруженности трансмиссии ТС с КЭУ на основе анализа устойчивости периодических решений исследуемой системы по корневому годографу и использования критерия оценки допустимого уровня вибонагруженности трансмиссии по значениям угловых ускорений инерционных масс механической системы позволяет на ранних стадиях проектирования автомобиля с КЭУ определить необходимое место расположения гасителя крутильных колебаний и его упруго-инерционные параметры.

Кроме того, практическая значимость работы заключается в возможности использования имитационной модели динамики механической системы для проведения виртуально-физических испытаний, позволяющих сократить существенные затраты труда и материалов на проведение большого объема натуральных экспериментальных работ.

Работа прошла апробацию на многих международных научно-практических и научно-технических конференциях, а результаты исследований, проведенных в ходе ее подготовки, опубликованы в 7 печатных работах.

Теоретические положения и практические рекомендации, изложенные в диссертации, могут быть использованы в учебном процессе подготовки студентов технических ВУЗов, а также при проектировании перспективных трансмиссий ТС с КЭУ.

### **Общее содержание диссертационной работы.**

Диссертация состоит из четырех глав основного текста, выводов, списка использованных источников и приложений. Содержание работы изложено на 135 страницах машинописного текста, включающих 65 рисунков, 16 таблиц, список использованных источников из 80 наименований и приложение на 56 стр.

В первой главе проведен аналитический обзор современных конструкций КЭУ, выявлены особенности их интеграции с трансмиссией, рассмотрены основные достоинства и недостатки известных средств уменьшения крутильных колебаний. На основе анализа научных работ, посвященных исследованию динамической нагруженности трансмиссий и проектированию гасителей крутильных колебаний, сделан вывод о необходимости проведения теоретического и экспериментального исследования по определению требуемого места расположения гасителя крутильных колебаний в трансмиссии автомобиля с КЭУ и его параметров, учитывая наличие электродвигателя как дополнительного элемента динамической системы и отсутствие в автоматической коробке передач гидротрансформатора, являющегося низкочастотным фильтром крутильных колебаний трансмиссии.

Во второй главе представлены результаты имитационного моделирования динамики механической системы «ДВС – ЭД – АКП – ТС». Выполнен расчетный анализ гармонических составляющих крутящего момента КЭУ, определены частоты и формы собственных колебаний динамической системы, выполнен

расчет динамической нагруженности на установившихся режимах работы и определены требуемые параметры гасителя крутильных колебаний.

В третьей главе представлена программа проведения экспериментального исследования, определены оцениваемые характеристики и режимы проведения испытаний. Для экспериментального определения динамической нагруженности трансмиссии и валидации имитационной модели подготовлен комплекс информационно-измерительной аппаратуры на базе АЦП L-Card E14-440, осуществлен монтаж элементов комплекса на автомобиль, выполнены калибровочные испытания отдельных датчиков и настройка измерительных каналов.

В четвертой главе проведен анализ результатов теоретического и экспериментального исследования, выполнена оценка корректности принятых допущений при моделировании, осуществлена корректировка упруго-инерционных параметров динамической системы и валидация по результатам эксперимента имитационной модели.

Общие выводы по диссертации полностью отражают суть и результаты выполненных автором исследований.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В работе не рассмотрено влияние параметров гасителя крутильных колебаний на затухающий процесс колебаний крутящего момента при переключении передач, что не позволяет произвести оценку комфорта при движении.
2. В математических моделях инерционные и упругие характеристики агрегатов и вращающихся деталей автомобиля за выходным валом АКП рассмотрены как одна масса и одна упругая связь с конкретной жесткостью. Это допущение не позволяет оптимизировать параметры гасителя крутильных колебаний при изменении характеристик прочих агрегатов трансмиссии.

## **Заключение.**

Рассматриваемая диссертация Лихачева Д.С. является завершённой научно-квалификационной работой, диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор – Лихачев Дмитрий Сергеевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины.

Диссертация и отзыв рассмотрены, а отзыв единогласно утвержден на заседании кафедры «Автомобили» от «08» июня 2017 г., протокол № 17.

Зав. кафедрой автомобили МАДИ  
Д.т.н., профессор



Иванов А.М.

### Справочные данные:

Иванов Андрей Михайлович,  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
«Автомобили»,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Московский автомобильно-  
дорожный государственный технический  
университет (МАДИ)»,  
125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.  
8 (499) 155-03-84, ivanov-am@madi.ru

Жанказиев Султан Владимирович,  
д.т.н., профессор, проректор по научной  
работе,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Московский автомобильно-  
дорожный государственный технический  
университет (МАДИ)»,  
125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.  
8 (499) 346-01-68, nauka@madi.ru