

Председателю диссертационного совета
Д 217.014.01 при ФГУП «НАМИ»
доктору технических наук, профессору
Гирукому Ольгерту Ивановичу
Россия, 125438, г. Москва, ул.
Автомоторная, д. 2.

О Т З Ы В

официального оппонента Горобцова Александра Сергеевича
(ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»)
на диссертацию Тараторкина Александра Игоревича «Научные
методы снижения динамической и вибраакустической нагруженности
силовых передач колёсных и гусеничных машин путём вариации
модальных свойств», представленной на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 05.05.03 - «Колёсные и
гусеничные машины»

Актуальность темы исследования.

В существующих методиках, программном обеспечении вопросы ограничения динамической, вибраакустической нагруженности и комфортабельности современных транспортных средств на установившихся режимах и при переходных процессах не нашли достаточного отражения. Современные силовые передачи являются мехатронными динамическими системами, исследование которых предполагает разработку сложных математических моделей, включающих в себя блоки моделирования электронных систем управления, гидравлических, механических и др. Одновременно с этим приведенные в

диссертации результаты исследований отечественных и зарубежных ученых свидетельствуют об общности подходов, базирующихся на определении и оптимизации модальных характеристик динамических систем при исследовании и разработке методов прогнозирования и снижения низко- и высокочастотных колебаний в силовых передачах колесных и гусеничных машин. Данный подход строится на применении математического аппарата для решения линейных задач. В то же время анализ результатов испытаний опытных образцов силовых передач перспективных колёсных и гусеничных машин показал, что при решении приведённого выше класса задач существенное значение имеет проявление нелинейностей, приводящих к значительному росту динамической и вибраакустической нагруженности, определяемой малоизученными динамическими эффектами.

В связи с этим, решаемая в диссертационной работе проблема снижения динамической и вибраакустической нагруженности силовых передач перспективных колёсных и гусеничных машин на основе совершенствования их модальных свойств с учетом не исследованных ранее динамических эффектов **является актуальной**.

В диссертационной работе сформулирована цель исследования: решение научной проблемы обеспечения необходимого уровня динамической и вибраакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин на основе совершенствования модальных свойств.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Разработка метода снижения динамической и вибраакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин (на установившихся режимах работы и при переходных процессах) на основе совершенствования их модальных свойств с использованием современных инструментов CAD-CAE (виртуального образца - модальной модели).

2. Создание новых моделей исследуемых силовых передач колёсных и гусеничных машин, трансмиссионных систем, учитывающих переменность структуры и нелинейность свойств объектов исследования на установившихся и переходных режимах работы.

3. Проведение теоретических и экспериментальных исследований, установление новых закономерностей, разработка научно обоснованных методов, способов снижения динамической нагруженности и повышения долговечности элементов конструкции объектов исследования:

- при проектировании элементов конструкции и назначении режимов работы элементов управления - фрикционных дисков в планетарных трансмиссиях;
- при обосновании типов, выборе места установки и определении параметров гасителей крутильных колебаний трансмиссий в составе различных силовых передач, в том числе гибридных, оснащенных мехатронными системами управления двигателем и коробкой передач (перспективная быстроходная гусеничная машина (БГМ), автомобили категории М1, Н2 и Н3, специальные колёсные шасси (СКШ));
- при проектировании силовой передачи привода водометных движителей амфибийных гусеничных машин.

4. Создание новых модальных моделей с использованием современных средств CAD-CAE, комплекса методик по их верификации, алгоритма совершенствования вибраакустических параметров для гаммы перспективных трансмиссий (планетарных и валько-планетарных) силовых передач колёсных и гусеничных машин.

5. Разработка технических решений по снижению вибраакустической нагруженности трансмиссий на основе реализации предложенного метода прогнозирования шума и вибраций силовых передач колёсных и гусеничных машин применительно к трансмиссиям легковых и грузовых автомобилей.

6. Оценка эффективности предложенных технических решений по снижению динамической и вибраакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин.

7. Обоснование требований к конструкции, функциональным возможностям испытательных стендов и комплекса информационно-измерительной аппаратуры, обеспечивающих решение поставленных задач по снижению динамической и вибраакустической нагруженности.

Научная новизна работы заключается:

- **в разработке нового расчёто-экспериментального метода решения научной проблемы прогнозирования, снижения динамической и вибраакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин;** **в разработке** сложных механических систем с использованием современных средств CAD-CAE; **в разработке новых моделей исследуемых мехатронных трансмиссионных систем,** учитывающих нелинейность свойств объектов исследования на установившихся и переходных режимах работы с учётом «**конфликтов задач**», возникающих при совместной реализации алгоритмов управления структурными составляющими силовых передач колёсных и гусеничных машин; **в разработке** метода перераспределения **силового** противофазного управляющего воздействия (при возбуждении низкочастотных энергоёмких колебаний на собственной частоте системы при управлении переключением передач после окончания фазы кинематического выравнивания скоростей ведущих и ведомых элементов - эффект «Бонанса»); **в разработке новых математических моделей и обосновании технических решений** по снижению динамической нагруженности силовых передач привода в различных узлах и агрегатах колёсных и гусеничных машин; **в разработке алгоритма структурно-динамического моделирования** для обеспечения требуемого уровня вибраакустических параметров силовых передач колёсных и гусеничных машин с использованием современных инструментов CAD-CAE на этапе создания виртуального образца; **в установлении новых результатов экспериментальной и количественной оценки малоизученных явлений возникновения высокомоментного и высокочастотного**

полигармонического возбуждения, формируемого нелинейными свойствами гидравлических и механических систем (кавитационными процессами в полостях масляных насосов и боковыми зазорами в зубчатых зацеплениях редукторов и др.).

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в повышении достоверности прогнозирования динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин на ранних стадиях проектирования. Разработанные автором метод верификации модальных моделей для прогнозирования и оптимизации динамической и виброакустической нагруженности силовых передач энергосиловых блоков колесных и гусеничных машин; метод силового перераспределения управляющих воздействий с учетом идентификации начальных условий; метод определения приведенных моментов инерции с учетом присоединенных масс жидкости в механогидравлических системах; метод точного экспериментального определения модальных параметров фрикционных дисков и др. позволяют на высоком научно-техническом уровне решать задачи снижения динамической и виброакустической нагруженности энергосиловых блоков колесных и гусеничных машин, различных силовых передач. Подтверждением этого являются акты внедрения головных разработчиков трансмиссий перспективных машин в рамках федеральных программ РФ.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях динамики гусеничных и колесных машин и их сопоставления, а также подтверждается:

- результатами экспериментальных исследований, актами о внедрении, в том числе ИМАШ УрО РАН, АО «СКБМ», ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», ООО «Миконт», ООО «КАТЕ», ФГБОУ Курганский государственный университет.
- корректностью формулировки цели, постановки задач исследования,

применяемых методов нелинейной теории колебаний, изложенных в фундаментальных трудах отечественных и зарубежных учёных, методов динамического анализа сложных механических и мехатронных систем, численных методов решения систем дифференциальных уравнений, методов конечных элементов и конечных разностей, методов модального анализа динамических систем, экспериментальных методов исследования динамической и виброакустической нагруженности транспортных средств. При решении поставленных задач эффективно используются результаты имитационного моделирования на ЭВМ и экспериментальных исследований.

Таким образом, анализ перечисленных выше положений – цели, задач, пунктов научной новизны, практической значимости, достоверности и обоснованности позволяют сделать **заключение о том, что рецензируемая работа обладает научной новизной, а выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации являются обоснованными.**

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы заслушивались и обсуждались на многих научно-технических семинарах и научно-технических конференциях, часть исследований выполнялась в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских учёных МК-5809.2018.8 «Научное обоснование и разработка метода гашения колебаний при переходных процессах в трансмиссиях перспективных транспортных машин на основе модального представления объекта управления».

Публикации по теме диссертации.

Основные положения диссертации изложены в достаточном числе публикаций, автореферат в основном соответствует её содержанию.

Публикации, приведённые в автореферате, включают материалы по

основным разделам диссертации. Основные положения и результаты исследований изложены в 76 публикациях, в том числе 13 в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций на соискание учёной степени доктора наук, в изданиях, входящих в международные системы цитирования SCOPUS и Web of Science – 23, одной монографии. По результатам работы получено 19 патентов РФ на изобретения и полезные модели.

Количество и качество публикаций соответствует требованиям ВАК РФ.

Структура работы. Диссертационная работа Тараторкина А.И. состоит из введения, пяти глав, основных результатов работы и выводов по работе, списка литературы из 137 наименований. Работа содержит 371 страницу машинописного текста, включая 195 рисунков, 43 таблицы. В приложении приведены акты внедрения. Соискателем сформулированы выводы после каждой из пяти глав, в заключении перечислены результаты всей работы.

Во введении обоснована актуальность работы, приведена краткая характеристика состояния проблемы, поставлена цель и задачи исследования. Излагается предложенный подход решения научной проблемы, сформулированы научная новизна и практическая ценность результатов, основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе (Состояние вопроса, обоснование задач исследования и предлагаемые подходы их решения) проведён анализ состояния проблемы, выполненный на основе обзора отечественных и зарубежных литературных источников, в которых приводятся результаты исследования по теме диссертации. Проведён анализ математических и модальных моделей динамики силовых передач, методов их верификации и необходимого программного и аппаратного обеспечения. Обоснована целесообразность единого подхода к решению проблемы прогнозирования и снижения

динамической и вибраакустической нагруженности трансмиссий транспортных машин на основе модального представления систем и совершенствования их модальных свойств в широком диапазоне частот.

Во второй главе (Теоретическое обоснование путей снижения динамической и вибраакустической нагруженности трансмиссий на установившихся и переходных режимах) излагаются теоретические основы разрабатываемого метода прогнозирования динамической и вибраакустической нагруженности при модальном представлении динамической системы, позволяющем при выполнении модального анализа наиболее полно реализовать технологию исследования и оценки параметров, описывающих ее динамическое поведение. Суть метода заключается в определении модальных параметров на основе знания частотных характеристик, вычисляемых либо на основе расчёта с использованием матриц распределения масс, жёсткости и демпфирования, либо по результатам определения частотных характеристик по отношению между параметрами реакции и входного воздействия как функции частоты при экспериментальном исследовании. Изложенная последовательность действий как при аналитическом, так и при экспериментальном подходах, а также при их совокупности позволяет определить модальные характеристики динамической системы, в том числе вклад отдельных форм колебаний при известном возмущении.

В третьей главе (Совершенствование параметров динамической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин) излагается реализация предлагаемого метода для прогнозирования динамической нагруженности различных силовых передач модернизируемых и вновь разрабатываемых колёсных и гусеничных машин.

Автор приводит примеры реализации разработанного метода для прогнозирования динамической нагруженности в области низких частот различных силовых передач модернизируемых и вновь разрабатываемых колёсных и гусеничных машин на установившихся и переходных режимах

работы. Метод реализован при исследовании динамической нагруженности силовых передач нескольких типов машин – легкового автомобиля премиального класса, грузовых автомобилей категорий N2, N3 и перспективных быстроходных гусеничных машин. Приводятся результаты исследования различных малоисследованных эффектов, в том числе нелинейных, оказывающих существенное влияние на динамическую нагруженность силовых передач. Подробно излагается метод перераспределения силового противофазного управляющего воздействия при возбуждении низкочастотных энергоёмких колебаний при управлении переключением передач после окончания фазы выравнивания скоростей, ведущих и ведомых элементов, приводятся результаты расчетно-экспериментального исследования и обоснованные технические решения по снижению динамической нагруженности привода водомётного движителя амфибийной машины при возбуждении резонансных параметрических колебаний.

В четвертой главе (Прогнозирование и снижение параметров виброакустической нагруженности силовых передач колесных и гусеничных машин) излагаются результаты реализации предлагаемого метода прогнозирования и снижения виброакустической нагруженности силовых передач транспортных машин на основе разработанного метода структурно-динамического анализа сложных механических систем и совершенствования их модальных свойств с использованием современных программно-аппаратных средств. Обосновываются технические решения по снижению виброакустической нагруженности валько-планетарной АКП автомобилей категории N2, N3 и планетарной АКП автомобиля премиального класса.

В пятой главе (Программно-аппаратное обеспечение экспериментальных исследований динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колесных и гусеничных машин) обосновываются и формулируются цели и задачи экспериментального исследования динамической и виброакустической нагруженности силовых

передач колесных и гусеничных машин, перечень необходимого испытательного оборудования и программно-аппаратного обеспечения для проведения ходовых и стендовых испытаний. Разрабатывается комплекс программ и методик испытаний на различных этапах выполняемого расчетно-экспериментального исследования в рамках реализации предложенного метода оценки и совершенствования динамической и виброакустической нагруженности на основе метода модального представления динамических систем.

Основные замечания по содержанию диссертации:

1. В работе рассмотрены самые общие уравнения для теоретического определения модальных характеристик колебательных систем, учитывающие произвольную матрицу демпфирования. Однако в работе не указано, в каких случаях, для моделей каких агрегатов целесообразно введение такого демпфирования.
2. Подробно обсуждаются существующие методы управления моментом при включении трансмиссии, в частности, ZV и ZVD Shaper. Однако рациональные параметры для них не предложены.
3. При рассмотрении колебаний в узле соединения двигателя и трансмиссии одна из рекомендаций – уменьшение собственной частоты за счет уменьшения диаметра торсионного вала. Выполняются ли при этом условия прочности?
4. В работе сделана попытка представления колебаний в трансмиссии как параметрических. При этом на непонятном основании утверждается, что нелинейное уравнение системы с одной степенью свободы сводится к параметрическому уравнению Матье (уравнения Матье это способ редукции степеней свободы многомерной нелинейной системы). Однако экспериментальных данных существования параметрических резонансов не

приводится. Неясно, за счет чего конструктивно можно уменьшение глубину модуляции параметрического возмущения и демпфирование.

5. При экспериментальном определении форм колебаний трения дисков непонятно, при каких граничных условиях выполнились измерения, как осуществлялось возмущение. Насколько эти граничные условия отличаются от реальных.

6. В работе рассматривается конечно элементная модель корпуса трансмиссии в сборе. Неясно, каким образом учитывалась масса остальных элементов трансмиссии и насколько эти элементы влияют на модальные свойства корпуса. Непонятно для чего определялись статические формы корпуса. Ничего не говорится о представлении в КЭМ прокладок и их влиянии на динамику.

7. Сравнение по критерию модальной достоверности расчетных и экспериментальных форм колебаний крышки сцепления показало неполное соответствие расчетных и экспериментальных форм и носит описательный характер – нет показателей погрешности частот форм. Цель экспериментального модального анализа так же неясна – эти результаты использовались затем для коррекции полной модели?

8. В работе есть оформительские и терминологические некорректности. Спектограммы называются различными жаргонными терминами – трехмерной спектральной плотностью - таблица 3.2, АЧХ – частотным представлением ускорений – рис. 3.24 и др. Вызывает вопросы термин «модальные формы колебаний». Для обозначения матриц используется устаревший стиль с квадратными и фигурными скобками.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК РФ

Диссертация Тараторкина Александра Игоревича на соискание ученой степени доктора технических наук «Научные методы снижения

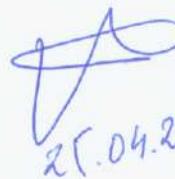
динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин путём вариации модальных свойств» выполнена на актуальную тему и является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей паспорту научной специальности 05.05.03 - «Колесные и гусеничные машины».

Диссертация Тараторкина Александра Игоревича соответствует требованиям

п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а сам соискатель, решивший важную научную проблему снижения и обеспечения необходимого уровня динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин на основе совершенствования модальных свойств, обосновавший и разработавший комплекс научных методов для снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин путём вариации модальных свойств, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.03 - «Колесные и гусеничные машины».

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой «Высшая математика», д.т.н.

 А.С. Горобцов
25.04.2022

Россия, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28

Тел.: (8442) 23-00-76. Эл. почта: rector@vstu.ru

Подпись Горобцова А.С. удостоверяю:

