

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 217.014.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ - «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
АВТОМОБИЛЬНЫЙ И АВТОМОТОРНЫЙ ИНСТИТУТ «НАМИ»  
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 25.05.2022 № 04

О присуждении Тараторкину Александру Игоревичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Научные методы снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин путём вариации модальных свойств» по специальности 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины» принята к защите 21.02.2022 г., протокол № 01 диссертационным советом Д 217.014.01, созданным на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ») Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 11 апреля 2012 г., № 105/НК.

Соискатель Тараторкин Александр Игоревич, 15 апреля 1990 года рождения, диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук «Снижение динамической нагруженности фрикционных элементов управления трансмиссии транспортных машин методом исключения параметрических колебаний» защитил в 2015 г. в диссертационном совете, созданном на базе Федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», работает в отделе механики транспортных машин федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения им. Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук» с 2015 г., с 1-го июня 2018 г. и по настоящее время в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в отделе механики транспортных машин федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения им. Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук» и в конструкторском отделе ООО «КАТЕ», г. Москва.

**Официальные оппоненты:**

Годжаев Захид Адыгезалович, доктор технических наук (специальность 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины»), профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по инновационной и внедренческой деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»;

Ишин Николай Николаевич, доктор технических наук (специальность 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»), доцент, начальник научно-технического центра «Карьерная техника» Объединённого института машиностроения Национальной академии наук Беларуси;

Горобцов Александр Сергеевич, доктор технических наук (специальность 05.02.18 – «Теория механизмов и машин»), старший научный сотрудник, заведующий кафедрой «Высшая математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

**- дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана (национальный

исследовательский университет)», в своем положительном отзыве, подписанном: доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой СМ-10 «Колёсные машины» Котиевым Георгием Олеговичем; доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой СМ-9 «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы» Гореловым Василием Александровичем; кандидатом технических наук, доцентом кафедры СМ-9 «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы» Ципилевым Александром Анатольевичем и утверждённым доктором экономических наук, профессором, проректором по науке и стратегическим коммуникациям Дрогозовом Павлом Анатольевичем, **указала, что** диссертация Тараторкина Александра Игоревича «Научные методы снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин путём вариации модальных свойств» выполнена на актуальную тему и является завершённым трудом, в котором на основании выполненных автором исследований и разработок представлено решение научной проблемы обеспечения необходимого уровня динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин на основе совершенствования модальных свойств, имеющей важное значение для отрасли транспортного машиностроения, а также обоснованы и разработаны комплекс научных методов, направленных на снижение динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин. Диссертационная работа Тараторкина Александра Игоревича «Научные методы снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин путём вариации модальных свойств» соответствует паспорту научной специальности 05.05.03 - «Колесные и гусеничные машины» и требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.05.03 - «Колесные и гусеничные машины».

В диссертацию включены результаты, полученные автором лично. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных

соискателем ученой степени работах.

Соискатель имеет 85 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 76 работ, из них 13 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертаций на соискание учёной степени доктора наук, в изданиях, входящих в международные системы цитирования SCOPUS и Web of Science – 23 (из них 5 с квартилем Q2–Q3), 1 монография. По результатам работы получено 19 патентов РФ на изобретения и полезные модели. Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Тараторкин А. И. Прогнозирование и снижение динамической и виброакустической нагруженности энергосиловых блоков колесных и гусеничных машин на основе совершенствования модальных свойств / А. И. Тараторкин. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2021. – 200 с. (200 с./200 с.)

2. Виды разрушения фрикционных дисков, используемых в планетарных коробках передач в качестве элементов управления / А.И. Тараторкин, С.А. Харитонов, П.А. Дроздов, М.М. Нагайцев // Труды НАМИ. – 2016. – № 3 (266). – С. 55–63. (9 с./3 с.)

3. Гашение колебаний в энергосиловом блоке при пуске современного двигателя / А.И. Тараторкин, С.В. Абдулов, В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин, А.А. Волков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 5–14. (10 с./2 с.)

4. Taratorkin A., Derzhanskii V., Taratorkin I. Improving the Quality of Transmission Shifting Transients Due to Controlling Torque Redistribution // Journal of Vibration Engineering & Technologies. – 2020. – Vol. 8. – Iss. 3. – P. 431–441. – DOI: 10.1007/s42417-019-00183-4. (11 с./ 4 с.).

5. А.И. Тараторкин. Обеспечение точности реализации требуемого закона управления фрикционными трансмиссии регулированием объёма рабочей жидкости в компенсационной камере гидроцилиндра / А.И. Тараторкин, А.В. Жук, А.И. Руднев [и др.] // Труды НАМИ. – 2021. – № 3 (286). – С. 67–80. (14 с./5 с.)

6. И.А. Трусевич, С.В. Абдулов, В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин, А.И. Тараторкин, А.А. Волков. Алгоритм оптимизации вибрационных нагрузок,

формируемых зубчатыми зацеплениями перспективной коробки передач грузового автомобиля // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 5-14. (10 с./2 с.)

7. И.А. Трусевич, С.В. Абдулов, В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин, А.И. Тараторкин, А.А. Волков. Верификация модальной модели трансмиссии с целью прогнозирования NVH-параметров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 61-68. (8 с./2 с.)

8. П.Н. Ненашев, С.В. Абдулов, А.И. Тараторкин. Экспериментальное исследование динамической нагруженности привода водомётных движителей амфибийной гусеничной машины // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – № 1 (132). – С. 70–77. (8 с./3 с.)

9. Taratorkin A., Derzhankii V., Taratorkin I. Increasing the Quality of Transient Processes in the Vehicle Transmission // Science & Technique. 00 – 2019. – Vol. 18. – No. 6. – P. 509-518. – <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-6-509-518>. (10 с./3 с.)

10. Taratorkin, A., Zhuk, A., Rudnev, A., Chernyshev, N. et al. Elimination of Off-Design Operating Modes for Multiplate Clutches of Vehicle Transmission // SAE Technical Paper 2022-01-5012, 2022. – DOI: 10.4271/2022-01-5012 (8 с./3 с.)

11. Taratorkin A., Taratorkin I., Derzhanskii V. Prediction of the Parametrical Resonance Oscillations of Transmission Friction Discs on the Basis of High Precision Determination of Their Modal Characteristics // AIP Conf. Proc. 1785, 040086 (2016). – <http://dx.doi.org/10.1063/1.4967143>.

12. Taratorkin A., Derzhankii V., Taratorkin I. Optimization of transport vehicle transmission vibroacoustic characteristics // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 287. – 03004. – <https://doi.org/10.1051/matecconf/201928703004>.

13. Способ гашения низкочастотных колебаний в трансмиссии транспортной машины: пат. 2735455 Рос. Федерация / Тараторкин А.И., Держанский В.Б., Тараторкин И.А. – № 2019127072: заявл. 29.08.2019/

На диссертацию и автореферат поступило 19 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение «38 научно-исследовательский испытательный институт бронетанкового вооружения и техники» Министерства обороны Российской Федерации ФГБУ «38 НИИИ БТВТ» Минобороны России, Кузнецов Андрей Александрович, главный сотрудник 2 научно-исследовательского испытательного управления, доктор технических наук, профессор, Макоклюев Анатолий Иванович, ведущий научный сотрудник 21 научно-исследовательского испытательного отдела, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

В отзыве имеются следующие замечания:

- из материала автореферата не ясно, учитывались ли при определении динамической нагруженности силовых передач колебания корпуса машины при движении по неровному профилю дорог, а также вибрация устройств, передающих мощность в элементах ходовой части гусеничных машин;

- в автореферате недостаточно внимания уделено вопросу оценки адекватности разработанных математических моделей.

2. Открытое акционерное общество «Минский завод колёсных тягачей» (ОАО «МЗКТ»), Бурьян Василий Анатольевич, главный конструктор ОАО «Минский завод колёсных тягачей», Белабенко Дмитрий Сергеевич, начальник отдела гидромеханических передач управления главного конструктора, кандидат технических наук.

В отзыве имеются следующие замечания:

- из автореферата не ясно, новые динамические явления, показанные на рисунке 2, были установлены только при проведении испытаний или были обнаружены и в результате математического моделирования? Не приводится информация о степени детализации действий системы управления при математическом моделировании;

- на страницах 15 и 19 автореферата приводятся достигнутые значения коэффициента динамичности. Однако, отсутствуют значения коэффициента динамичности, которые имелись до реализации предлагаемого метода, что не позволяет оценить эффективность проведённых мероприятий;

- в автореферате не приводится сравнение результатов эксперимента и математического моделирования, что не позволяет определить точность моделирования при использовании предлагаемых методов снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач;

- для публикации 11 не указано, что издание входит в перечень ВАК РФ.

3. Акционерное общество «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» (АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»), Калимулин Марат Равильевич, советник заместителя генерального директора по вопросам средств обеспечения подвижности ВВСТ, кандидат технических наук.

В отзыве имеются следующие замечания:

- из материала автореферата не ясно учтены ли в модели возмущения, создаваемые внешними нагрузками на коробку передач при изменениях микро- и макрорельефа местности;

- в автореферате не представлены данные о конструктивных особенностях трансмиссий, используемых при выполнении экспериментальных исследований.

4. Акционерное общество «Машиностроительная компания «Витязь» (АО «МК «Витязь»), Забелин Сергей Николаевич, технический директор.

В отзыве имеются следующие замечания:

- решение уравнений (1) – (4) с  $N$  степенями свободы обладает конечным, но достаточно большим числом полюсов системы, и, соответственно, форм колебаний. Из работы не ясно каким образом следует выполнять выбор числа точек измерений и воздействий на элементы с учётом сложности структуры, чтобы добиться положительного результата эксперимента;

- из автореферата следует, что неотъемлемой частью предлагаемых разработанных программ и методик экспериментального определения виброакустических параметров АКП являются автономные модальные испытания корпусных деталей трансмиссии для определения частотных характеристик системы. Следует пояснить происходит ли при этом определение диссипативных свойств материалов, из которых изготавливаются элементы объектов испытаний.

5. Общество с ограниченной ответственностью ООО «Военно-инженерный центр» (ООО «ВИЦ»), Тукмаков Владимир Васильевич, заместитель директора департамента проектирования продукции, кандидат технических наук.

В отзыве имеются следующие замечания:

- данное исследование выполнено на основе модального представления сложных динамических систем, которые могут включать по отдельности разнообразные конструктивные элементы, такие как фрикционные диски, зубчатые колёса, гидро- и пневмоустройства. Каждое из этих элементов будет влиять по-своему на модальные характеристики систем. Автореферат не даёт представления, как расчётный метод учитывает разнообразие конструктивных систем;

- снижение динамической и виброакустической нагруженности осуществляется на основе методов вариации их модальных свойств. В автореферате отсутствует информация как расчётный метод обеспечивает ограничения по допустимому изменению модальных характеристик систем, за пределами которого может наступить снижение основных технических характеристик.

6. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ФГБУ ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова), Саламандра Константин Борисович, ведущий научный сотрудник лаборатории вибротехнических систем отдела «Механика машин и управления машинами», доктор технических наук.

В отзыве имеются следующие замечания:

- согласно автореферату, все теоретические выкладки в обобщённом виде сосредоточены во второй главе, а главы 3 – 5 описывают применение предложенных методов для прогнозирования динамической и виброакустической нагруженности силовых передач и их экспериментальное исследования. В результате, сопоставить выведенные аналитические зависимости с описываемыми результатами весьма затруднительно;



- из автореферата не ясно в чём заключалось уточнение предложенного метода снижения динамической нагруженности силовых передач, связанных с нелинейностью упругой системы (второй абзац на стр. 19);

- недостатком автореферата является отсутствие аналитического описания динамических явлений, установленных автором при проведении экспериментальных исследований и доводочных испытаний.

7. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), Вахидов Умар Шахидович, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины», профессор, доктор технических наук, Макаров Владимир Сергеевич, профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», доктор технических наук, доцент.

В отзыве имеются следующие замечания:

- из автореферата не видно рассматривались ли работы по виброакустической нагруженности трансмиссий автомобилей учёных и исследователей из НГТУ им. Р.Е. Алексеева, например, Лелиовского К.Я.;

- автореферат имеет большой объём 37 страниц;

- на наш взгляд в работе не совсем верно выбран объект исследования – процесс динамического и виброакустического нагружения. Наверное, нужно было выбрать силовые передачи колёсных и гусеничных машин;

- для большей наглядности, необходимо было привести блок-схему предлагаемого метода снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных.

8. Федеральное государственное бюджетное учреждение 21 Научно-исследовательский испытательный институт военной автомобильной техники Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «21 НИИИ ВАТ» МО РФ»), Покутний Владимир Васильевич, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

В отзыве имеются следующие замечания:

- автор использует некорректные технические термины, такие как «обороты двигателя» вместо «частоты вращения коленчатого вала двигателя» или «тепловой двигатель», а не «двигатель внутреннего сгорания»;

- не указано на основании какого нормативного документа проведена автором классификация АКП по категориям М1, N2, N3 и ПКП;

- в материалах не представлены данные о погрешности проведённых теоретических и экспериментальных исследований.

9. Акционерное Общество «Завод «Универсалмаш» - ПАО «Кировский завод», Скоробогатов Андрей Сергеевич, заместитель начальника конструкторского отдела по выполнению ГОЗ.

В отзыве имеется следующее замечание:

- из текста автореферата не следует, что соискателем рассматривалась системы «двигатель – трансмиссия – корпус» гусеничных машин, которая имеет жёсткие связи (жёсткие опоры корпуса), без применения амортизирующих виброгасящих механизмов и область влияния, передаваемого виброакустического воздействия на экипаж и электронную аппаратуру, а также возможности по разработке виброзащитных систем. Направление научного исследования в таком ключе позволило бы установить закономерности в предлагаемых соискателем мероприятиях в отношении силовых передач к уровню комфорта для экипажа и необходимости применения средств гашения вибраций для аппаратуры, как дополнительных конечных элементов системы.

10. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (ФГБОУ ВО «СибАДИ»), Корчагин Павел Александрович, проректор по научной работе, доктор технических наук, профессор, Тетерина Ирина Алексеевна, старший научный сотрудник, кандидат технических наук.

В отзыве имеются следующие замечания:

- на рисунках 2 и 3 подписи и значения осей абсцисс, а также подписи внутри рисунка 8 нечитабельны, что осложняет их восприятие;

- в заключении следовало отразить направления дальнейших исследований

11. Публичное акционерное общество Курганский машиностроительный завод, Акционерное общество «Специальное конструкторское бюро машиностроения» (ПАО КМЗ, АО «СКБМ»), Абдулов Сергей Владимирович, главный конструктор, кандидат технических наук, Нефедов Александр Васильевич, начальник отдела инженерных расчётов.

В отзыве имеются следующие замечания:

- в тексте автореферата не до конца раскрыта идея предлагаемого автором модального подхода, единого для низкочастотного и высокочастотного диапазона;

- в тексте автореферата автор многократно упоминает о верификации, но даже обзорно не раскрывает её сути.

12. Акционерное общество «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения» (АО «УКБТМ»), Яковлев Анатолий Борисович, заместитель главного конструктора, Перевозчиков Юрий Анатольевич, начальник отдела НТР, кандидат технических наук, Бадртдинов Мирхат Ахметзияевич, начальник сектора, кандидат технических наук.

Замечаний нет.

13. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)), Кондаков Сергей Владимирович, профессор кафедры «Колёсные и гусеничные машины», доктор технических, доцент.

В отзыве имеются следующие замечания:

- в автореферате в явном виде не показан вклад автора в развитие математического описания исследуемых процессов. Какие новые зависимости среди уравнений (1) ... (13) принадлежит автору и выносятся на защиту;

- следует пояснить почему «Из анализа собственных форм колебаний системы (рисунок 1) следует ..., что ... необходимо взять за основу двухузловую форму колебаний», так как на указанном рисунке не видно параметра по оси ординат.

14. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ»), Верещагин Сергей Борисович, заведующий кафедрой «Тягачи и амфибийные машины», кандидат технических наук, доцент.

Замечаний нет.

15. Публичное акционерное общество «КАМАЗ» (ПАО «КАМАЗ»), Карабцев Владимир Сергеевич, руководитель Службы конструкторских и научно-исследовательских расчётов, кандидат технических наук, доцент.

В отзыве имеются следующие замечания:

- в тексте автореферата не приведены начальные и граничные условия, параметры конечно-элементной сетки разработанных математических моделей, также не указаны допущения, принятые для математического описания динамической и виброакустической нагруженности;

- по тексту автореферата отсутствует однозначная информация каким образом были получены упруго-демпфирующие характеристики подшипников при исследовании виброакустической нагруженности. Также отсутствует информация по верификации по другим показателям (вибрации, перемещения, уровни звукового давления и т.д.). Верификация модальных моделей не означает верификацию полученных значений вибрации и уровня звукового давления;

- для разрабатываемых вально-планетарных АКП грузовых автомобилей не приведено техническое предложение по изменению масляного насоса для исключения возникновения кавитационных процессов.

16. Объединённый институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси (ОИМ НАН Беларуси), Красневский Леонид Григорьевич, главный научный сотрудник Лаборатории бортовых мехатронных систем Научно-инжинирингового центра «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин», доктор технических наук, профессор член-корреспондент Национальной Академии Наук Беларуси.

В отзыве имеются следующие замечания:

- при переходе на силовые установки с интегрированными система управления двигателем (тепловым и/или электрическим) и автоматической трансмиссией появляется возможность участия двигателя в процессе синхронизации соединяемых инерционных масс совместно с включаемым фрикционом с помощью соответствующих алгоритмов переключения ступеней. В этом случае вероятность «конфликта систем управления» снижается;

- одной из решаемых задач гашения низкочастотных колебаний выходного момента трансмиссии путём создания противофазного управляющего воздействия является ограничение перерегулирования момента после замыкания фрикциона в процессе переключения ступеней для исключения так называемого эффекта «Бонанца» (скачкообразное приращение крутящего момента, возбуждающее последующий колебательный процесс – например, при трогании автомобиля с места). Такие условия характерны для трансмиссий предыдущих поколений с системами управления невысокого уровня. В перспективных системах, особенно в интегрированных, одна из приоритетных задач – реализация оптимального закона возрастания момента трения фрикциона для понижения динамических нагрузок, то есть для исключения перерегулирования.

17. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» (ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»), Филькин Николай Михайлович, заведующий кафедрой «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», доктор технических наук, профессор.

В отзыве имеются следующие замечания:

- целью работы является снижение (а не обеспечение необходимого уровня) динамической и виброакустической нагруженности. Необходимый уровень, определяемый ГОСТом, у выпускаемых машин обеспечен. В названии диссертации отсутствует действие: Разработка..., Оптимизация..., Совершенствование... и т. п.;

- из автореферата непонятно как учитываются демпфирующие свойства участков трансмиссии, как задаются граничные и начальные условия при исследовании методом конечных элементов;

- отсутствуют методические разработки выполнения исследований, направленных на снижение динамической и виброакустической нагруженности, то есть отсутствует изложение в виде методики (последовательности действий);

- более конкретно необходимо было изложить в чём заключается совершенствование модальных свойств силовых передач колёсных и гусеничных машин; дать научные рекомендации направлений совершенствования модальных характеристик.

18. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), Худорожков Сергей Иванович, профессор Высшей школы транспорта, доктор технических наук, старший научный сотрудник.

В отзыве имеются следующие замечания:

- в обзоре литературных источников не упоминаются работы Митропольского Ю.А., который на основе методов Крылова Н.М. и Боголюбова Н.Н. впервые в отечественной практике заложил основы изучения нестационарных процессов в нелинейных колебательных системах, возникающих при изменении частот, масс и других параметров нелинейной системы, в частности, исследовал прохождение через резонанс нелинейных систем со многими степенями свободы;

- в автореферате отмечается, что автором рассматриваются модели с распределёнными параметрами, а том числе с распределённой массой. Следует уточнить, как в исследовании автора разграничиваются многомассовые системы с конечным числом степеней свободы и объекты с распределёнными параметрами (термин, который использует автор, см. стр. 28, п.3). последние с бесконечно большим степеней свободы отличаются от динамических объектов с сосредоточенными параметрами, прежде всего тем, что вместо дифференциальных уравнений они описываются уравнениями в частных производных (волновые уравнения).

19. Белорусский национальный технический университет (БНТУ), Бойков Владимир Петрович, заведующий кафедрой «Тракторы», доктор технических наук, профессор.

В отзыве имеются следующие замечания:

- в цели исследования делается акцент на «...обеспечение необходимого уровня,...», но далее в работе не конкретизируются показатели и их критерии, которыми будет достигаться этот уровень и при каких условиях. А это уже практическая реализация в конкретном изделии;

- важнейшим элементом ходовой системы мобильной машины, и даже той же трансмиссии, является движитель – особенно колёсный для рассматриваемой проблемы. Пневмошина участвует в формировании многих факторов нагруженности. Однако в автореферате об этом ничего не говорится, даже в порядке принятых допущений (что было бы неправильно);

- хотелось бы увидеть конкретные примеры узлов и агрегатов в конкретных изделиях предприятий.

Выбор официальных оппонентов, доктора технических наук, профессора, член-корреспондента РАН Годжаева Захида Адыгезаловича, доктора технических наук, доцента Ишина Николая Николаевича, доктора технических наук Горобцова Александра Сергеевича обосновывается высокой компетенцией учёных и имеющимися у них многочисленными публикациями в области вопросов снижения и исследования динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин и соответствует требованиям постановления правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

Выбор ведущей организации обосновывается широко известными достижениями ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» в области расчётных и экспериментальных исследований силовых передач и соответствует требованиям постановления правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения учёных степеней».

Выбранные оппоненты и ведущая организация являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в соответствующем направлении. Работы оппонентов и ведущей организации опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2017 по 2021 гг., и свидетельствуют об их осведомленности в современных тенденциях развития в области динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колесных и гусеничных машин, а также об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских работ.

**Диссертационный совет отмечает, что** на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** новая научная концепция прогнозирования и снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин на основе единого подхода совершенствования модальных свойств систем как для низкочастотных (динамическая нагруженность), так и высокочастотных (виброакустическая нагруженность) процессов, позволяющая выявить новые закономерности формирования динамической и виброакустической нагруженности, повысить точность прогнозирования и эффективность предлагаемых технических решений за счёт обоснованной идентификации и коррекции наиболее значимых форм колебаний;

**предложены** нетрадиционный подход и оригинальные суждения по заявленной проблеме прогнозирования и снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин на основе как расчетных, так и экспериментальных методов оценки вклада форм колебаний;

**доказана** перспективность использования идеи структурно-динамического анализа сложных механических систем и вариации их модальных свойств с использованием современных инструментов CAD-CAE, позволяющей исследовать на новом уровне как низко- так и высокочастотные процессы в силовых передачах колёсных и гусеничных машин с учетом нелинейных свойств сложных мехатронных систем;



**введены** уточнения в понимании и использовании представления о перечне модальных свойствах механических систем, их применении для прогнозирования и снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** целесообразность применения метода модального представления сложных механических систем, позволяющего существенно расширить знание об изучаемых явлениях формирования динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** методы модального представления и структурно-динамического анализа сложных механических систем, позволяющие наиболее полно реализовать технологию исследования и оценки параметров, описывающих их динамическое поведение;

**изложена** концепция метода динамического и виброакустического анализа, заключающаяся в определении модальных свойств - собственных частот, форм колебаний, коэффициентов демпфирования на основе знания частотных характеристик, определяемых либо на основе расчёта с использованием матриц распределения масс, жёсткости и демпфирования, либо по результатам определения отношения между параметрами реакции и входного воздействия, как функции частоты, при экспериментальном исследовании;

**раскрыты** взаимосвязи формирования высокой динамической нагруженности: при управлении фрикционными элементами управления трансмиссией; при возбуждении низкочастотных энергоёмких колебаний на собственной частоте системы в процессе управления переключением передач после окончания фазы выравнивания скоростей ведущих и ведомых элементов; при возбуждении резонансных параметрических колебаний в силовых передачах;

**изучены** результаты экспериментальной и количественной оценки новых 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.).

**проведена** адаптация математических моделей, исследуемых мехатронных трансмиссионных систем, учитывающих переменность структуры и нелинейность свойств объектов исследования на установившихся и переходных режимах работы с учётом явления «конфликта задач», возникающего при совместной реализации алгоритмов управления структурными составляющими силовых передач колёсных и гусеничных машин.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** новый расчётно-экспериментальный метод снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин путем вариации модальных свойств, метод силового перераспределения управляющего воздействия, комплекс методов и методик для определения отдельных параметров, характеризующих функциональные, модальные и другие характеристики силовых передач, а также рекомендации по совершенствованию динамических и виброакустических характеристик опытных образцов трансмиссий многих машин, реализованных при их разработке. Полученные результаты и выводы в области исследования и проектирования виброзащитных систем использованы в процессе создания конструкций новых и модернизации существующих силовых передач многих колёсных и гусеничных машин (перспективных быстроходных и амфибийных гусеничных машин, специальных колёсных шасси (СКШ), автомобилей категорий М1, N2 и N3);

**определены** перспективы практического использования полученных результатов в практике проектирования силовых передач колёсных и гусеничных машин, требования, предъявляемые к программно-аппаратному обеспечению и испытательному оборудованию; запатентованные технические решения (19 патентов на изобретения и полезные модели) позволяющие снизить уровень

виброакустической нагруженности силовых передач колесных и гусеничных машин, повысить уровень их надёжности и конкурентоспособности;

**создана** система практических рекомендаций, направленных на создание математических моделей силовых передач колёсных и гусеничных машин на основе разработанного расчетно-экспериментального метода верификации модальных свойств;

**представленный** в диссертации новый подход позволяет комплексно провести динамические исследования, на основе которых могут быть разработаны рекомендации и предложения по дальнейшему совершенствованию силовых передач колёсных и гусеничных машин.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** - результаты получены в процессе стационарных и ходовых испытаний, выполненных с использованием сертифицированного оборудования по разработанным и согласованным методикам, в том числе на базе типовых отраслевых, экспериментальные исследования проводились в ведущих испытательных центрах отрасли: ФГУП «НАМИ» (г. Москва), АО «СКБМ» (г. Курган) и исследовательском центре IAV (г. Хемниц, Германия) и др.;

**теория** построена на известных и новых данных, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации, научные положения диссертации обоснованы и подтверждены сопоставлением результатов расчёта с данными экспериментальных исследований;

**идея базируется** на обобщении передового опыта ведущих отечественных и зарубежных научных центров и заключается в решении проблемы снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин методом совершенствования модальных свойств;

**использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике другими авторами;

**установлено** качественное и количественное совпадение полученных автором результатов с известными теоретическими и экспериментальными

данными, представленными в независимых источниках, что подтверждает корректность разработанных методик испытаний, расчётных методик и алгоритмов;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации по динамической и виброакустической нагруженности силовых передач, в том числе реализованные в современных программно-аппаратных комплексах.

**Личный вклад соискателя состоит в следующем:**

1. Формирование общей идеологии исследований, направленных на расширение возможностей прогнозирования динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин, обоснование способов их снижения на ранних стадиях проектирования, постановка цели и задач диссертационной работы.

2. Разработка метода построения динамических моделей сложных мехатронных систем силовых передач перспективных колёсных и гусеничных машин на основе их модального представления.

3. Создание оригинальных моделей исследуемых нелинейных систем переменной структуры, позволяющих определить динамическую и виброакустическую нагруженность на установившихся режимах и при переходных процессах.

4. Обоснование направлений совершенствования параметров, формирующих динамическую и виброакустическую нагруженность силовых передач колёсных и гусеничных машин.

5. Разработка программ и методик, а также участие в стендовых и ходовых испытаниях колёсных и гусеничных машин.

6. Обработка, анализ и обобщение полученных экспериментальных данных по динамической и виброакустической нагруженности трансмиссий различных колёсных и гусеничных машин.

7. Разработка рекомендаций по выбору рациональных параметров виброзащитных систем, совершенствованию конструкций элементов силовых передач, исследуемых колёсных и гусеничных машин.

Основные результаты, приведенные в диссертации, получены лично автором, или при непосредственном его участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны нижеследующие критические замечания.

1) В автореферате, работе и в докладе красной нитью проходит идея определения частотных характеристик рассматриваемых систем, причём как при теоретическом, так и экспериментальном исследовании. Поясните в чем суть применения частотных характеристик? Вы чем-то управляете с их помощью или это просто раздел вашего расчетно-экспериментального метода, используемый при верификации модальной модели?

2) Поясните, пожалуйста, учитывалось ли, и если да, то каким образом, и насколько существенно влияние конструктивного демпфирования на адекватность разрабатываемых модальных моделей?

3) Скажите, пожалуйста, при анализе источников шума в коробке передач выполнялась ли ранжировка по значимости этих источников? Какой источник шума является основным? Дайте ранжировку источников, хотя бы на примере легковой коробки передач. Поясните, пожалуйста, на примере слайда, демонстрирующего результаты снижения уровня звуковой мощности АКП на 8 дБ.

4) Расскажите подробнее, какие наиболее значимые внедрения и в каком виде осуществлены в предприятиях?

Соискатель Тараторкин И.А. ответил на вопросы, заданные ему в ходе заседания, и привёл обоснованную аргументацию:

1) Во-первых, на основе полученных частотных характеристик (передаточных функций) выполняется экспериментальная верификация расчётных моделей. Во-вторых, используемый в работе математический аппарат позволяет на основе знания частотных характеристик определить не только собственные частоты, формы колебаний и коэффициенты демпфирования, но также определить

значимость отдельных форм колебаний в общем интегральном уровне динамического, вибрационного или акустического излучений, а также позволяет получить достоверное представление о степени вовлеченности отдельных элементов системы в формировании тех или иных форм колебаний. Таким образом, на основе частотных характеристик, используя соответствующий математический аппарат, представляется возможным точно сказать, какие и каким образом формы колебаний нужно корректировать для снижения общего уровня, например, акустического излучения, а также какие элементы системы делать жёстче (как правило в задачах виброакустики) или податливее (как правило в задачах динамической нагруженности). В этом заключается суть совершенствования модальных свойств рассматриваемых динамических систем (силовых передач).

2) Да, при проведении экспериментального исследования в ряду прочих модальных характеристик, определяются параметры конструктивного демпфирования. Влияние конструктивного демпфирования является ключевым, поскольку имеет существенную зависимость от частот возмущений и других внешних условий и определяет отклик системы на тех или иных формах колебаний.

При рассмотрении низкочастотных систем (твердотельных моделей с малым количеством степеней свободы) демпфирование задаётся в явном виде. С учётом использования специализированных САЕ пакетов – это может быть трение в гасителе крутильных колебаний, трение в опорах и т. д. При рассмотрении высокочастотных процессов (виброакустических), вопрос определения матриц демпфирования является сложной задачей, поскольку речь идёт о внутреннем трении в материале (обусловленном рассеянием энергии в материале деформируемых элементов) и так называемом конструктивном демпфировании, возникающем вследствие действия сил сухого трения на контактных поверхностях в прессовых, болтовых, заклепочных, шлицевых и других соединениях при колебаниях механических систем. Лишь в последнее время стали появляться работы, посвящённые исследованию закономерностей рассеяния энергии при данных видах трения, оба из которых зависят от частоты колебаний, т.е. от формы колебаний. В этом собственно говоря и заключается одна из особенностей

предлагаемого расчетно-экспериментального метода. На этапе отработки – верификации прототипов, аналогов, экспериментально, по отработанным методикам с использованием современного программно-аппаратного обеспечения определяются частотные функции (экспериментально), на основе которых вычисляются в частности, коэффициенты демпфирования, которые в свою очередь используются в верифицированных модальных моделях.

3) На данном слайде указаны возмущения, которые наиболее ярко проявлялись при исследовании этой трансмиссии. Здесь приняты два основных источника возмущений: первый – это зубчатые зацепления, для которых переменная составляющая динамического момента рассчитывалась методом  $Ca_i$ . Второй источник определяется сложными газогидродинамическими процессами в масляном насосе, когда происходит вспенивание рабочей жидкости. При этом, как видно на слайде, при превышении оборотов величины 3500 об/мин, наблюдаются высокочастотные, со значительной амплитудой флуктуации давления в магистрали, что приводит к мощному виброакустическому излучению на высоких частотах – «визгу». На данном режиме масляный насос является главным источником. При этом зубчатые зацепления на втором месте. Кроме того, выполнены расчёты, которые показали каким был бы уровень излучаемой звуковой мощности от коробки передач при действии отдельных источников: от зубчатых зацеплений конкретных планетарных рядов, от насоса. Также анализировались какие именно элементы наиболее существенно реагируют на возмущение от источников возмущений, то есть отдельно анализировалась виброактивность картерных деталей.

4) Применяемая в АО «СКБМ» методика расчёта фрикционных элементов управления, предполагающая определение тепловой нагруженности, дополнена анализом возможности возбуждения резонансных колебаний. Для амфибийной гусеничной машины, разрабатываемой в этом конструкторском бюро, на основе предлагаемого метода обоснована необходимость снижения глубины модуляции жёсткости и тем самым динамическая нагруженность привода водомётного движителя. Выполнена доводка дотрансформаторной зоны на основе

предложенного метода для другой перспективной машины: обоснована требуемая жесткость торсионного вала в дотрансформаторной зоне. Как вариант предложена конструкция эластичной муфты, в этой же работе сформулированы дополнительные требования к системе управления двигателем, предотвращающая «конфликта задач». Для ООО «МИКОНТ» выполнены динамическое моделирование и виброакустические исследования перспективных коробок передач грузовых автомобилей. На основе экспериментальных и расчётных работ обоснованы требуемые характеристики гасителей крутильных колебаний, обоснована необходимость оребрения картерных деталей коробок передач для снижения уровня виброакустического излучения.

На заседании 25.05.2022 г. диссертационный совет принял заключение, за решение научной проблемы обеспечения необходимого уровня динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колёсных и гусеничных машин на основе совершенствования модальных свойств, имеющей важное хозяйственное значение, разработку новых научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить Тараторкину Александру Игоревичу учёную степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по рассматриваемой специальности, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор,  
лауреат Государственной премии РФ,  
лауреат премии Правительства РФ,  
заслуженный машиностроитель РФ

 Гируцкий Ольгерт Иванович

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

 Курмаев Ринат Ханьяфиевич

25.05.2022

