

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.09, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.04.2022 № 13

О присуждении Трусевичу Илье Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Прогнозирование и снижение виброакустической нагруженности трансмиссии колесной машины на основе совершенствования ее модальных свойств» по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» принята к защите 16.02.2022 (протокол заседания № 3) диссертационным советом Д 212.298.09, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, проспект В.И. Ленина, д. 76, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель Трусевич Илья Александрович, 03 марта 1994 года рождения. В 2018 году соискатель окончил ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет» по специальности 23.05.02 «Транспортные средства специального назначения».

В период с 01.09.2018 г. по 31.08.2021 г. Трусевич Илья Александрович освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева». С 2018 г. по настоящее время работает инженером в федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт машиноведения им. Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург.

Диссертация выполнена в отделе механики транспортных машин федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения им. Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Тараторкин Игорь Александрович, заведующий отделом механики транспортных машин федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения им. Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

1. Филькин Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

2. Вязников Максим Валерьевич – кандидат технических наук, генеральный директор, генеральный конструктор ООО «Международная инжиниринговая компания по разработке новой техники».

Дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Худорожковым Сергеем Ивановичем, доктором технических наук, профессором «Высшей

школы транспорта» Института машиностроения, материалов и транспорта ФГАОУ ВО «СПбПУ»; Грачевым Алексеем Андреевичем, кандидатом технических наук, и.о. директора «Высшей школы транспорта» Института машиностроения, материалов и транспорта ФГАОУ ВО «СПбПУ» указала, что диссертационная работа Трусевича Ильи Александровича «Прогнозирование и снижение виброакустической нагруженности трансмиссии колесной машины на основе совершенствования ее модальных свойств», соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата 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 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы, 3 работы в научных изданиях, входящих в базы данных Scopus/ WoS.

Основные работы:

1. 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.)

2. 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.)

3. A.I. Taratorkin, I.A. Taratorkin, I.A. Trusevich. Theoretical and experimental optimization of vibroacoustic parameters of MKSM-800 loader // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 709. – 022112. – doi:10.1088/1757-899X/709/2/022112. (7 с./3 с.)

4. A.I. Taratorkin, A.V. Belevich, I.A. Taratorkin, I.A. Trusevich. Strategy for optimizing the NVH parameters of the transport vehicle powertrain during its design // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 971. – 052085. – doi:10.1088/1757-899X/971/5/052085. (5 с./2 с.)

На диссертацию и автореферат поступили 12 отзывов. Все отзывы положительные. Замечания, отмеченные в отзывах:

1. Чернышев Н.В., к.т.н., главный конструктор ООО «КАТЕ».

Замечания: 1. Очевидно, что решение уравнения движения структуры 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. 2. 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.

2. Вахидов У.Ш., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»; Макаров В.С., д.т.н., доцент,

профессор кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева».

Замечания: 1. Из автореферата не видно рассматривались ли работы по виброакустической нагруженности трансмиссий автомобилей ученых и исследователей из НГТУ им Р.Е. Алексеева, например Лелиовского К.Я. 2. Исследование выполнено на основе модального представления сложных динамических систем, которые могут включать по отдельности разнообразные конструктивные элементы, такие, как фрикционные диски, зубчатые колеса, гидро- и пневмоустройства. Данные элементы будут влиять на модальные характеристики систем. Автореферат не дает представления, как расчетный метод учитывает разнообразие конструктивных систем. 3. Прогнозирование и снижение виброакустической нагруженности осуществляется на основе методов вариации их модальных свойств. В автореферате отсутствует информация, как расчетный метод обеспечивает ограничения по допустимому изменению модальных характеристики систем.

3. Корчагин П.А., д.т.н., профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «СибАДИ»; Тетерина И.А., к.т.н., старший научный сотрудник НИО НИУ ФГБОУ ВО «СибАДИ».

Замечания: 1. Из автореферата неясно, частота вращения коленчатого вала каким режимам работы колесной машины соответствует и с чем связан выбор исследуемых частот. 2. В автореферате отсутствует обоснование выбора исследуемого в диссертационной работе диапазона частот. 3. На рисунках 4, 6 подписи и значения осей абсцисс и ординат, а также подписи внутри рисунка 11 нечитабельны, что осложняет восприятие. Текст соответствующих картинок и графиков в самой диссертации также сложно разобрать.

4. Апекунов В.В., к.т.н., старший научный сотрудник 22 научно-исследовательского испытательного отдела ФГБУ «38 НИИИ БТБТ» МО РФ; Сенникова И.С., научный сотрудник 22 научно-исследовательского испытательного отдела ФГБУ «38 НИИИ БТБТ» МО РФ

Замечания: 1. Из материала автореферата не ясно, учитывает ли модель возмущения, создаваемые внешними нагрузками на коробку передач, при изменениях микро- и макрорельефа местности. 2. В автореферате не представлены данные о конструктивных особенностях АКП трансмиссии, использованной для экспериментальных исследований.

5. Дмитриев М.И., к.т.н., начальник инженерного центра – главный конструктор АО «ПТЗ»

Замечания: 1. Снижение кинематической погрешности зубчатого зацепления с сохранением передаточного отношения возможно не только с помощью угла наклона зубьев, который приводит к повышению коэффициента осевого перекрытия. Достаточно эффективен метод снижения шума с использованием зубчатых передач с целочисленными значениями коэффициента полного перекрытия, а также использования профильных модификаций головки и ножки зубьев. 2. Использование реальных характеристик подшипников качения в расчетах позволило бы повысить точность моделирования и сходимость с экспериментом. Также не стоит пренебрегать фактом, что ударное воздействие тел качения на сепаратор и кольца также являются источником шума и вибраций в трансмиссии машин.

6. Абдулов С.В., к.т.н., исполнительный директор – главный конструктор АО «СКБМ»; Нефедов А.В., начальник отдела инженерных расчетов АО «СКБМ»

Замечания: 1. Из текста автореферата не ясно, соответствует ли полученный уровень звукового давления требуемым показателям.

7. Юдинцев Д.В., к.т.н., доцент кафедры «Специальное машиностроение» НТИ (филиал) ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Замечания: 1. Из текста автореферата не следует, что соискателем рассматривалась система «двигатель-трансмиссия-корпус» колесной машины которая имеет упругие связи

(жёсткие опоры корпуса). Учет данного обстоятельства позволил бы установить важные закономерности при формировании виброакустического нагружения трансмиссии.

8. Анцынов В.Д., главный инженер АО «103 БТРЗ»

Замечания: 1. 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 колесных машин. 2. В автореферате недостаточно внимания уделено вопросу оценки адекватности разработанных математических моделей, не ясно, каким образом выполнена верификация модальных моделей, разработанных автором.

9. Ястребов Г.Ю., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Наземные транспортные системы» РИИ (филиал) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

Без замечаний.

10. Яковлев А.Б., заместитель главного конструктора АО «УКБТМ»; Перевозчиков Ю.А., к.т.н., начальник отдела НТР АО «УКБТМ»; Бадртдинов М.А., к.т.н., начальник сектора АО «УКБТМ».

Без замечаний.

11. Тараненко П.А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технической механики ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

Замечания: 1. Стр.8, рис.1. В случае близости расчетных и экспериментальных собственных форм в матрице МАС-критерия на главной диагонали стоят числа, близкие к единице. На рис.1 на главной диагонали стоят величины, существенно меньшие 0,7. Например, форма R1 не совпадает по МАС-критерию с W7, R5 с W12, R6 с W13, R7 с W15. Из текста автореферата осталось неясным, почему автор считает критерий модальной достоверности выполненным, когда у четырех пар собственных форм МАС критерий существенно меньше 0,7? 2. Стр.8. «Выполнялась верификация по МАС для остальных составных частей АКП трансмиссии.... Удовлетворительные значения позволяют сделать вывод о верификации расчетной модели». Из текста автореферата осталось неясным сколько составных частей АКП исследовано, сколько собственных частот каждой части исследовано в диапазоне до 6 кГц? И сколько из них имеют МАС критерий больше 0,7? 3. Стр. 10, формула (4). Комплексная матрица жесткости K характеризует не только вязкие, но и упругие свойства конструкции. Из текста автореферата осталось неясным, какие демпфирующие свойства реальной конструкции заложены в матрицу вязкого демпфирования В и комплексную матрицу жесткости К? Почему использованы две модели демпфирования? 4. В выводе №2 сказано: «разработаны верифицированные модальные модели ..., позволяющие обеспечить точность определения модальных свойств не хуже 15%». Осталось неясным как обеспечена точность определения модальных свойств не хуже 15% в случае, когда выше в выводе №2 под модальными характеристиками понимаются коэффициенты демпфирования, частотные функции и модальные вклады?

12. Пышный О.П., к.т.н., доцент, начальник управления ФГУ «4 ЦНИИ» МО РФ; Майсак Ю.В., д.т.н., старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ФГУ «4 ЦНИИ» МО РФ; Шигарева З.П., старший научный сотрудник ФГУ «4 ЦНИИ» МО РФ.

Замечания: 1. В автореферате не приведены основные ограничения и допущения, принятые при разработке методического обеспечения. 2. Из материалов автореферата не ясны границы применения разработанного методического обеспечения, например, возможно ли использовать разработанное методическое обеспечение для других узлов и агрегатов машин.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований по теме диссертационной работы и соответствует требованиям постановления правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых 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, представленные в информационной справке, опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2017 по 2021 гг., что свидетельствует об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских работ, а также об их осведомленности в современных тенденциях развития в области виброакустической нагруженности транспортных машин.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан метод прогнозирования и снижения виброакустической нагруженности трансмиссии колесной машины на основе совершенствования ее модальных свойств;

предложены оригинальные подходы по заявленной тематике, заключающиеся в рассмотрении в качестве модальных характеристик не только собственных частот, форм колебаний, коэффициентов демпфирования, но и частотных функций и модальных вкладов, а также учетом динамических нагрузок, возникающих вследствие проявления нелинейных эффектов в системах машин;

доказана перспективность реализации идеи снижения виброакустической нагруженности на основе разработки верифицированных модальных моделей, построенных с использованием структурно-динамического анализа сложных систем;

введена уточненная формулировка понятия модальных свойств динамической системы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана необходимость модального представления динамических систем, расширяющего знание об изучаемых явлениях формирования виброакустической нагруженности трансмиссий колесных машин;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы структурно-динамического анализа сложных механических систем, методы конечных элементов, а также результаты имитационного моделирования и экспериментальных исследований;

изложены новые этапы методики обеспечения требуемых виброакустических параметров трансмиссий колесных машин на основе совершенствования модальных свойств;

раскрыто существенное влияние нелинейных свойств отдельных элементов конструкции трансмиссий на формирование высокочастотного возмущения;

изучены причины несоответствия линейных моделей прогнозирования виброакустического излучения трансмиссий колесных машин вследствие не учёта проявления нелинейных эффектов, приводящих к формированию дополнительных источников возмущений;

проведена модернизация метода расчета виброакустической нагруженности трансмиссий колесных машин, что позволяет заменить классический оценочно-вероятностный подход и существенно повысить точность прогнозирования;

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

разработаны и внедрены комплекс подходов и технических решений, направленных на снижение виброакустической нагруженности трансмиссии перспективной колесной машины, полученные теоретические и экспериментальные результаты реализованы при разработке перспективных АКП и внедрены в ООО «МИКОНТ» при создании модельного ряда трансмиссий автомобилей категории N2, N3 с максимальной мощностью $N = 500$ кВт. определены перспективы практического использования полученных результатов в практике проектирования трансмиссий колесных машин, требования к программно-аппаратному обеспечению и комплексу испытательного оборудования;

созданы новые модели формирования динамических нагрузок и верифицированные модальные модели трансмиссий;

представлены методические рекомендации по разработке технических решений, снижающих виброакустическую нагруженность трансмиссий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

при экспериментальных работах результаты получены в процессе стационарных испытаний, выполненных с использованием сертифицированного оборудования по разработанным и согласованным методикам, в том числе на базе типовых отраслевых;

теория основана на применении методов конечных элементов, модального анализа, удовлетворительно согласуется с полученными в диссертационном исследовании экспериментальными данными;

идея базируется на обобщении передового опыта ведущих отечественных и зарубежных научных центров и заключается в снижении виброакустической нагруженности трансмиссий на основе расчетно-экспериментального метода совершенствования модальных свойств;

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

установлено качественное и количественное совпадение отдельных результатов расчетно-экспериментальных исследований с результатами, представленными в независимых источниках;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, в том числе реализованные в современных программно-аппаратных комплексах.

Личный вклад соискателя состоит в: участии на всех этапах исследовательского процесса (постановке научной проблемы, выполнении обзора по теме исследования, формировании идеологии исследования, обосновании способов решения проблемы и получении основных теоретических и экспериментальных научных результатов), подготовке основных публикаций по выполненной работе и в апробации результатов исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В чем отличие предложенного соискателем модального подхода от уже существующих методов?

2. Почему для расчета переменной жесткости в зубчатом зацеплении был выбран именно этот метод (Cai)?

3. В модели рассматривается влияние источников возмущения, формируемых в силовом блоке. В связи с этим возникает вопрос, выполнялась ли оценка значимости возмущения, формируемого элементами ходовой части при движении в различных условиях.

Соискатель Трусевич И.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Предложенный модальный подход рассматривает в качестве модальных характеристик не только собственные частоты, формы колебаний и коэффициенты демпфирования, но также комплексную частотную функцию (набор передаточных функций), что позволяет определить значимость отдельных форм колебаний и применять обоснованные решения по совершенствованию модальных свойств.

2. На данный момент существует три решения. Во-первых, сила зацепления вычисляется путем контакта твердого тела, что основано на теории контакта Герца. В этом методе учитывается только контактная деформация, эффект выступающего луча зубьев не учитывается, а амплитуда силы зубчатого зацепления чувствительна к параметрам контакта.

Во-вторых, используется метод нестационарных конечных элементов. Этот метод точен в решении контактного усилия, но сопряжен с большими затратами ресурсов и времени.

В-третьих, сила зацепления шестерни в направлении линии зацепления рассчитывается с помощью нелинейной пружинно-демпфирующей системы. Этот метод основан на динамике зубчатой передачи, жесткость пружины может изменяться и представляет собой изменяющуюся во времени жесткость зацепления. Он обладает хорошей эффективностью моделирования, а результат заслуживает доверия. Авторы К. Umezawa, Y Cai, LI-RunFang и многие другие, представили собственные модели определения жесткости в зубчатом зацеплении. Функция определения жесткости в зацеплении, предложенная Y. Cai, наиболее точно совпадает с результатами экспериментальных исследований.

3. Непосредственно в выполненном исследовании, это не учитывалось. Потому что частота вибрации устройств, передающих мощность в элементах ходовой части, существенно ниже рассматриваемого в исследовании диапазона.

При этом, имеющаяся модель с минимальными изменениями позволяет внести дополнительное нагружение на коробку передач, как во временной, так и в частотной области.

На заседании 27.04.2022 года диссертационный совет принял решение за решение научной задачи прогнозирования и снижения виброакустической нагруженности трансмиссии колесной машины на основе совершенствования ее модальных свойств, имеющей значение для развития отрасли транспортного машиностроения, присудить Трусевичу Илье Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета

Ю.В. Рождественский

Ученый секретарь
диссертационного совета

А.А. Абызов

Дата оформления заключения

27 апреля 2022 г.

