

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ижевский государственный
технический университет
имени М.Т. Калашникова»
(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)**

Студенческая ул., д. 7, г. Ижевск, УР, 426069
тел. (3412) 77-20-22, 58-88-52,
77-60-55 (многоканальный)
факс: (3412) 50-40-55
e-mail: info@istu.ru <http://www.istu.ru>
ОКПО 02069668 ОГРН 1021801145794
ИНН/КПП 1831032740/183101001

Ученому секретарю диссертацион-
ного совета Д 212.298.09
Абызову А.А.

454080, г. Челябинск, пр. Ленина,
76, ауд. 1001

_____	№	_____
На	от	
№		_____

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Трусевича Ильи Александровича «Прогнозирование и снижение виброакустической нагруженности трансмиссии колесной машины на основе совершенствования ее модальных свойств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»

Почти 50 лет в России действуют нормы по виброакустической нагруженности автомобилей. Воздействие вибраций может существенно ухудшить комфортабельность движения, вызвать неприятные ощущения, а также повышенное напряжение некоторых частей автомобиля. Вопросам уменьшения виброакустической нагруженности уделяется большое внимание в автомобилестроении. Поэтому, **актуальность диссертационной работы Трусевича И.А., направленной на уменьшение виброакустической нагруженности трансмиссий колесных машин, не вызывает сомнений.**

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- в разработке моделей формирования динамических нагрузок, возбуждающих виброакустические колебания трансмиссий машин, отличающихся учетом неравномерности передачи моментов в зубчатых зацеплениях;
- в разработке модальных моделей трансмиссии, отличающихся рассмотрением в качестве модальных характеристик не только собственных частот, форм колебаний и коэффициентов демпфирования, а также частотных функций и модальных вкладов;

- в обосновании требуемого программно-аппаратного обеспечения для экспериментального определения модальных параметров при проектировании трансмиссий колесных машин.

Обоснованность правильности решения и достоверность результатов исследований подтверждаются:

- корректностью применения методов анализа и синтеза, методов механики, математического моделирования, программно-аппаратных средств, теории движения автомобиля;
- согласованностью полученных результатов теоретических и расчетных исследований с большим объемом экспериментальных данных;
- практической апробацией основных положений диссертационного исследования.

Значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования заключается в создании программно-аппаратных средств исследования колесных машин с целью снижения виброакустической нагруженности трансмиссий. Разработанные программно-аппаратные средства могут быть использованы в научно-исследовательских организациях и конструкторских подразделениях предприятий, занимающихся созданием колесных машин.

Результаты работы в достаточном объеме опубликованы в изданиях, входящих в Перечень изданий ВАК.

Теоретические положения, результаты расчетных и экспериментальных исследований, изложенные в диссертации, могут быть использованы в учебном процессе при подготовке студентов ВУЗов по направления «Наземные транспортно-технологические комплексы».

Общее содержание диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников (157 наименований) и шести приложений. Общее количество страниц в диссертационной работе: 149 страниц основного текста диссертации; 136 страниц – приложения.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель работы, задачи исследования, объект и предмет исследования. Представлены методы исследования, информация, подтверждающая обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Заканчивается введение указанием личного вклада автора диссертации, представлением информации об апробации работы, перечислением опубликованных работ и описанием структуры диссертации. В общем введение содержит 3-5 страницы автореферата.

В первой главе проведен анализ состояния вопроса диссертационного исследования. Вначале отмечено о влиянии шума на здоровье человека и рассмотрены вопросы нормирования шума в различных странах мира и в нашей

стране; проведен анализ нормативных документов, регламентирующих шум в России. Далее перечислены основные подходы к снижению уровня шума и шумовые характеристики транспортной машины; рассмотрены конструктивные средства уменьшения внутреннего и внешнего шума транспортных машин; представлена структура решения задачи уменьшения шума транспортной машины при проектировании. При классификации источников шума выделены механический, аэродинамический, гидродинамический и электромагнитный шумы; представлен обзор исследований, проведенных до настоящего времени по уменьшению указанных шумов, включающий анализ причин образования этих шумов. Рассматривается интегральный критерий уровня шума и проводится анализ влияние на этот критерий различных узлов, агрегатов и систем транспортной машины. Заканчивается глава формулировкой выводов по главе, где говорится о недостаточной разработке по теме диссертационного исследования и делается вывод о необходимости создания верифицированной модели виброакустического поведения трансмиссии на основе расчетно-экспериментального исследования.

Во второй главе рассмотрены вопросы разработки математических и имитационных моделей виброакустического поведения трансмиссии с помощью Simcenter 3D. Вначале рассмотрен вопрос расчетного определения модальных характеристик составных частей автоматической коробки передач (АКП) трансмиссии и верификация модели; исследование базируется на основе метода конечных элементов; описываются два возможных подхода к исследованию – расчетный и экспериментальный модальный анализ; проведено подробное описание применения общего уравнения движения механической системы в матричной форме при проведении модального анализа механических конструкций; для оценки близости расчетных и экспериментальных форм колебаний, используем критерий модальной достоверности, показывающий степень корреляции между двумя формами колебаний; представлены результаты верификации для различных агрегатов трансмиссии по модальному критерию гарантии в частотном диапазоне исследования до 4000 Гц. Далее проводится расчет динамических нагрузок на основе многотельной имитационной модели исследуемой трансмиссии; при этом изменялись значения скорости вращения входного вала коробки передач и значения моментов на насосном и выходном валах; обнаружено, что источником вибрации с наибольшими амплитудами является зацепление шестерни входного вала с шестерней отбора мощности маслонасоса; исследовано кинематическая погрешность зубчатого зацепления проводится с помощью программного комплекса KISSsoft; путем увеличения углов наклона зубьев уменьшены кинематические погрешности зубчатых зацеплений АКП. Далее представлен подход к расчету виброакустических параметров АКП трансмиссии на с помощью модуля Simcenter 3D на основе уравнения движения для демпфированной системы при гармоническом возбуждении, но результаты расчетов отсутствуют.

Заканчивается подразделом «Выводы по главе», который мало коррелируется с содержанием главы 2.

В третьей главе рассматривается программа и методика экспериментальных исследований, включающие автономные модальные испытания корпусных деталей АКП трансмиссии, модальные испытания на стенде АКП трансмиссии в сборе, динамические виброакустические испытания АКП трансмиссии на стенде при различных передачах и моментах сопротивления, обработку данных и анализ результатов испытаний; экспериментальные исследования выполняются с помощью испытательного оборудования Siemens Simcenter в лабораторных условиях. Определяются модальные характеристики (собственные формы колебаний, собственные частот колебаний и коэффициенты модального демпфирования) отдельных деталей конструкции АКП трансмиссии и корпуса АКП; корпусные детали вывешиваются на резиновых (пружинных) амортизаторах, крепятся датчики виброускорений, возбуждения выполняются ударным модальным молотком; на основе полученных данных автоматически определяются экспериментальные модальные характеристики и визуализация колебаний. Определение вибраций (виброускорений) корпусных деталей АКП трансмиссии проводятся на установившихся режимах при разгоне трансмиссии от 600 до 2200 об/мин с шагом 200 об/мин при нагрузке, соответствующей тягово-динамической характеристике автомобиля с учетом номера включенной передачи. Определение акустических характеристик АКП трансмиссии проводят с помощью акустической решетки с 36 микрофонами. Представлено описание экспериментальной стендовой установки для определения вибраций корпусных деталей и акустических характеристик АКП трансмиссии. Заканчивается глава описанием содержания главы.

В четвертой главе представлен анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также оценка адекватности модели. Вначале представлены результаты экспериментального модального анализа, результаты испытаний по определению вибраций корпусных деталей АКП трансмиссии. Представлены рекомендации по снижению уровня вибраций и шума АКП трансмиссии. На основе анализа результатов теоретического исследования (моделирования) и экспериментальных данных было установлено, что основным источником акустического излучения являются боковые стенки картера. Для снижения уровня акустического излучения предложено несколько вариантов ребрения картера и поддона. Представлены спектры акустического давления до и после изменений в конструкции картера и поддона. Заканчивается глава разработанной структурой (схемой) решения задачи уменьшения шума транспортной машины при проектировании.

В Приложениях (семь приложений) представлены результаты расчетных исследований сцепления, крышки сцепления, картера, крышки демультипликатора, поддона и др., а также акт об использовании результатов исследований в учебном процессе и акт об использовании результатов исследований в ООО «Международная инжиниринговая компания по разработке новой техники».

Общие замечания по диссертационной работе:

1. Необоснованно завышенный объем обзора источников шума от узлов автомобилей, не имеющих связь с темой диссертационного исследования,

например, шум от двигателя, аэродинамический шум и др.

2. Малое количество литературных источников отечественных ученых: количество работ 157 из них иностранных 126, своих 7, ГОСТов 5, руководство пользователя 4, учебников 5, работы В.Е. Тольского – 9. Остается 8 работ.

3. Написано «Высчитывается угловой шаг поворота входного зубчатого колеса, в зависимости от передаточного отношения, определяемого делением числа зубьев ведущего колеса на число зубьев ведомого» - это передаточное число, а не передаточное отношение. Вместо размерности кинематической погрешности зубчатого зацепления в мкм написано – в μm .

4. Непонятно на основе каких данных задавались начальные и граничные условия при выполнении расчетных исследований. Нет четкой формулировки о том, что понимается под моделью исследования и, соответственно, нет перечня направлений повышения ее точности (адекватности) при решении вопросов верификации.

5. Завышенное количество приложений в виде результатов расчета (количество страниц 134 стр.). Отсутствуют выводы.

6. Отсутствуют методические разработки выполнения исследований, направленных на снижение виброакустической нагруженности. В чем заключается совершенствование модальных свойств трансмиссии непонятно.

7. Представлен подход к расчету виброакустических параметров АКП трансмиссии с помощью модуля Simcenter 3D на основе уравнения движения для демпфированной системы при гармоническом возбуждении, но результаты расчетов отсутствуют. Какие виброакустические параметры АКП трансмиссии определены не поясняется. Непонятно как задаются исходные данные расчета, например, нагрузки (возбуждающие силы).

8. Подраздел «2.5 Выводы по главе» мало коррелируется с содержанием главы 2. Отсутствуют объяснения большой погрешности для некоторых экспериментальных и расчетных частот для крышки сцепления и поддона (табл. 2.1). И вообще где и как используются результаты расчетного модального анализа.

Отмеченные недостатки снижают качество исследований, но они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение.

Диссертация является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне. В диссертации **изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны**, позволяющие на ранней стадии проектирования совершенствовать конструкции трансмиссий колесных машин, улучшая виброакустические показатели машины путем наиболее рационального выбора показателей модальных свойств трансмиссии.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных,

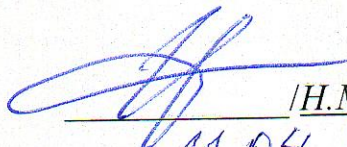
примеров и расчетов.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа полностью отвечает требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

В соответствии с вышеизложенным считаю, что диссертационная работа «Прогнозирование и снижение виброакустической нагруженности трансмиссии колесной машины на основе совершенствования ее модальных свойств» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК России, а ее автор, Трусевич Илья Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины.

Доктор технических наук, профессор,
Зав. кафедрой «Автомобили и
металлообрабатывающее оборудование»
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический
университет имени М.Т. Калашникова»
Филькин Николай Михайлович;
почтовый адрес: 426069, г. Ижевск,
ул. Студенческая, д. 7, корпус 4, каб. 501;
тел. (8-3412) 77-60-55 (добавочный 4331), 8-912-448-17-01;
e-mail: fnm@istu.ru;
Докторская диссертация
по специальности 05.05.03


/Н.М. Филькин/
11.04.2022 г.

Подпись Н.М. Филькина удостоверяю:
Ученый секретарь ФГБОУ ВО
«ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»
доктор технических наук, профессор




/Н.С. Сивцев/