

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Прониной Ю.О.

«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ ОПЕРАТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НИЗКОЧАСТОТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СО СТОРОНЫ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ»

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

1. Актуальность избранной темы исследования

Одной из первостепенных задач, стоящих перед головными предприятиями отечественного машиностроения, является повышение качества и конкурентоспособности вновь создаваемых и модернизируемых изделий. В значительной мере эта проблема требует повышения уровня научно-технического сопровождения проектных работ путем внедрения на ранних стадиях современных расчетно-экспериментальных методов. В настоящее время наряду с необходимостью повышения основных функциональных характеристик проектируемых машин, важной является проблема выполнения эргономических требований, в частности, санитарных норм по вибробезопасности обслуживающего персонала.

Задача обеспечения на стадиях выполнения проектных работ нормативных требований виброзащиты операторов промышленных тракторов в низкочастотном диапазоне, обусловленном воздействием на корпус трактора со стороны гусеничного движителя, становится актуальной эргономической проблемой.

2. Степень обоснованности научных положений

Выносимыми на защиту научными результатами являются:

1. Подход к решению задачи снижения уровня вибрационного воздействия на рабочее место оператора промышленного трактора со стороны гусеничного движителя.
2. Математическая модель и результаты моделирования процесса прохождения вибрационного сигнала от низкочастотного источника со стороны гусеничного движителя по исследуемому вибрационному каналу.
3. Метод преобразования выборок случайных величин, описывающих взаимодействие гусеничного движителя с грунтом, в функции спектральных плотностей узкополосных случайных процессов.
4. Методика сравнительного анализа различных вариантов конструктивных решений с помощью диаграмм вибронагруженности рабочего места оператора.

Положение о необходимости решения проблем вибронегруженности на месте оператора посредством применения современных моделей является одной из приоритетных задач современного машиностроения. Решение математической задачи по выбору оптимальной конструкции элементов виброзащиты и непосредственно самого объекта проектирования позволяет снизить объемы и время проведения наиболее трудозатратной стадии опытно-конструкторских работ-доводочных. Основные положения работы базируются на результатах исследований отечественных и зарубежных авторов. Работа проверена результатами численного моделирования с использованием современного программно-аппаратного обеспечения. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальными данными, полученными при ходовых испытаниях машин, при проведении лабораторных исследований с использованием комплекса информационно-измерительной аппаратуры.

3. Степень обоснованности выводов, сформулированных в диссертации

В диссертации сформулировано семь выводов:

1. Предложен расчетно-экспериментальный метод, позволяющий на стадиях проектирования и доводки новых и модернизируемых образцов промышленных тракторов моделировать процесс зарождения и прохождения вибрационного сигнала в связанной системе «гусеничный движитель – корпус трактора – кабина – виброзащитное кресло оператора» и на основе применения методов параметрического прогнозирования обоснованно разрабатывать предложения, направленные на выполнение нормативных требований по виброзащите оператора.
2. Разработана математическая модель в виде системы связанных дифференциальных уравнений, описывающая динамику тракторов с различными видами конструкций ходовых систем с обоснованием ряда исходных допущений. Модель отображает многоопорный вид конструкций промышленных тракторов, функциональные особенности отдельных элементов системы виброзащиты и случайный характер внешнего воздействия со стороны гусеничного движителя.
3. На основе экспериментальных исследований выявлены принципиальные особенности динамических характеристик исследованных систем подрессоривания, обоснован ряд заложенных в модель допущений, определены числовые значения параметров математической модели.
4. На основе применения метода статистических испытаний (Монте-Карло) разработана методика преобразования случайных числовых данных о взаимодействии траков гусеницы с грунтом в стационарные узкополосные случайные процессы. В ходе выполнения лабораторных исследований предложены методики, позволяющие использовать взамен полевых испытаний уникальное стендовое оборудование для определения ряда сертификационных характеристик и оценки их соответствия требованиям стандарта, а также обоснована возможность

применения стендовой установки для выполнения медико-биологических исследований в области вибрационной защиты тела человека.

5. По результатам реализации разработанной математической модели формируется спектральная картина исследуемого вибрационного канала, представляющая собой комплекс частотных передаточных функций, которые четко выявляют потенциально резонансные частоты объекта. Названное обстоятельство обусловлено особенностями конструкций промышленных тракторов и проявляется в сосредоточении собственных частот вертикальных и угловых колебаний корпуса, кабины и кресла в узком интервале 2 – 12 Гц. Отмеченный факт значительно ограничивает при разработке рекомендаций возможность обеспечения норм по виброзащите путём отстройки системы от резонансов. Анализ и сопоставление передаточных функций указывают на преимущественное влияние на низкочастотное вибронагружение исследуемой системы вертикальных колебаний корпуса и кабины, при этом их угловые колебания малозначимы по сравнению с вертикальными. Достаточно точное совпадение передаточных функций вертикальных и угловых колебаний корпуса и тележки указывает на их совместное движение как единого целого в рамках принятых в исследовании исходных допущений. В последующем полученные передаточные функции используются в задачах статистической динамики для определения спектральных плотностей вертикальных ускорений корпуса, кабины и кресла оператора, а также соответствующих среднеквадратических отклонений мгновенных значений ускорений.

6. В результате проведенных полевых испытаний трактора Т-11 подтверждена адекватность математической модели путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных: – установлено, что основные пики на графиках спектральных плотностей соответствуют внешнему воздействию и резонансным частотам вертикальных колебаний кресла, кабины и корпуса. Частота пика, обусловленного внешним воздействием, повышается соответственно изменению скорости движения на I – 123 – (2,5 Гц) и III (5 Гц) передачах; – показано, что с повышением скорости движения трактора соответственно повышаются средние квадратические значения ускорений корпуса трактора (от 0,31 м/с² на I передаче до 1,31 м/с² на III передаче) и кресла оператора (от 0,29 м/с² на I передаче до 0,65 м/с² на III передаче); – показано, что доля средних квадратических значений ускорений, приходящаяся на диапазон частот «бегущей волны», составляет 38 % на I передаче и 19 % на III передаче от общих значений средних квадратических ускорений процессов на кабине. Аналогично для кресла оператора: 39 % на I передаче и 21 % на III передаче; Сравнение эксперимента с расчетом приведенных данных показывает достаточно близкое соответствие результатов моделирования и натурных испытаний; отличие показателей находится в пределах приемлемого уровня 15 – 20 %.

7. Выполнен параметрический анализ, позволяющий оценить влияние жесткостных и вязких характеристик элементов поддрессоривания корпуса (поперечная рессора, балансирующая балка), кабины и кресла оператора на средние квадратические значения вертикальных ускорений рабочего места оператора. Установлено, что: – изменение упруго-вязких характеристик элемента поддрессоривания корпуса

трактора не оказывает существенного влияния на уровень вибрационной нагруженности рабочего места оператора; – влияние жесткости поддрессоривания кабины малоэффективно и ограничено в связи со сближением собственных частот кабины и корпуса. Изменение демпфирующих свойств весьма эффективно, так увеличение коэффициента демпфирования гидроопор кабины от $m \cdot H \cdot c \cdot 3,1 \cdot 10^3$ до $m \cdot H \cdot c \cdot 6,2 \cdot 10^3$ позволило снизить скорректированный уровень вертикальных виброускорений кресла на 11 %; – изменение вязких характеристик кресла оператора не оказывает значительного влияния на уровень его вибрационной нагруженности, с другой стороны, снижение его жесткости приводит к существенному снижению уровня действующих ускорений. Так, изменение собственной частоты виброзащитного кресла оператора от 2,2 Гц до 1,5 Гц позволило снизить скорректированный уровень вертикальных виброускорений кресла на 36 %; – совместное введение в систему предложений по снижению собственной частоты кресла и увеличению коэффициента демпфирования элемента поддрессоривания кабины позволило снизить скорректированный уровень вертикальных виброускорений кресла на 45 %. – введение в систему индивидуального поддрессоривания опорных катков позволило снизить скорректированный уровень вертикальных виброускорений кресла на 52 %.

4. Степень обоснованности рекомендаций, сформулированных в диссертации

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований, оценки корректности принятых допущений, для повышения виброзащиты оператора промышленного трактора рекомендуется проводить следующие мероприятия:

1. На ранних стадиях проектирования выполнять частотную оценку в виде диаграммы вибронгруженности, которая наглядно показывает полосы частот, в которых есть превышение регламентируемого уровня виброускорений.;

2. Проведение интегральной оценки влияния различных параметров в виде числовой характеристики как суммы квадратов, скорректированных по частотам средних квадратических значений ускорений.

2.1. Изменение собственной частоты виброзащитного кресла оператора от 2,2 Гц до 1,5 Гц позволило снизить скорректированный уровень вертикальных виброускорений кресла на 36 %.

2.2. Увеличение коэффициента демпфирования гидроопор кабины от $3,1 \cdot 10^3 \frac{H \cdot c}{m}$ до $6,2 \cdot 10^3 \frac{H \cdot c}{m}$ позволило снизить скорректированный уровень вертикальных виброускорений кресла на 11 %

2.3 Введение в систему индивидуального поддрессоривания опорных катков позволило снизить скорректированный уровень вертикальных виброускорений кресла на 52 %.

Рекомендации следуют из содержания диссертации и обоснованы.

5. Достоверность результатов

Достоверность научных результатов работы подтверждается корректностью постановки задач. При их решении эффективно используются методы системного анализа, а также результаты математического моделирования на ЭВМ и экспериментальных исследований.

Результаты численного моделирования с использованием разработанной математической модели, согласуются с экспериментальными данными в исследуемом частотном диапазоне. Расхождение результатов не превышает 15...20%, что связано с рядом допущений, принятых при составлении динамической модели.

6. Научная новизна результатов исследования

1. Предложен новый подход к решению актуальной эргономической задачи снижения уровня низкочастотного вибрационного воздействия со стороны гусеничного движителя на рабочее место оператора промышленного трактора на основе компьютерного моделирования «источник – корпус трактора – кабина – виброзащитное кресло – тело оператора»
2. Разработанная математическая модель трактора, которая в которой учтено разнообразие конструкций многоопорных ходовых систем промышленных тракторов, процесс формирования внешнего воздействия, случайные динамические процессы, протекающие в вибрационном канале «гусеница – корпус трактора – кабина – виброзащитное кресло».
3. Предложен метод преобразования выборок случайных величин, описывающих взаимодействие гусеничного движителя с грунтом, которые при реализации математической модели используются в качестве входных воздействий.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК РФ

Рассматриваемая диссертация Ю.О.Прониной является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи снижения вибронагруженности рабочего места оператора промышленного трактора на основе комплексного анализа источников вибраций и методов борьбы с ними в различных комбинациях. Изучение процессов борьбы с вибрацией уже на стадии проектирования имеет большое практическое применение для развития методов расчета эргономических показателей промышленных тракторов.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. Диссертация имеет прикладной характер, практическое использование полученных автором диссертации научных результатов заключается в следующем:

разработана новая методика анализа причин и борьбы с вынужденными колебаниями рабочего места оператора промышленного трактора. Это позволяет сократить объем доводочных испытаний для обеспечения требуемых параметров вибронагруженности рабочего места оператора промышленного трактора

Основные положения диссертационной работы докладывались на конференциях профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ (г. Челябинск, 2015 г., 2017 г.); Всероссийской конференции «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи» (г. Челябинск, 2011 г.), Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» (г. Челябинск, 2011 г.), Международной научно-практической конференции «Экология. Риск. Безопасность» (г. Курган, 2010 г.), научной конференции аспирантов и докторантов ЮУрГУ (г. Челябинск, 2013 г.), Всероссийской конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности» ВНИИ Транспортного машиностроения (г. Санкт-Петербург, 2014–2015 гг.), техническом совете отдела главного конструктора Челябинского тракторного завода (2017 г.).

По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, из них три – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

В работе Ю.О. Прониной использованы 132 источника из списка используемой литературы.

8. Оценка содержания диссертации

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Ее объем составляет 139 страниц машинописного текста, содержит введение заключение и 7 глав:

- 1 Состояние проблемы
- 2 Моделирование вибронагруженности системы «Гусеничная тележка – корпус-кабина- кресло оператора»
- 3 Идентификация модели. Лабораторные исследования динамических характеристик элементов поддрессирования кабины и кресла оператора трактора.
- 4 Исследование процесса случайного низкочастотного возбуждения на корпусе трактора со стороны гусеничного движителя.
- 5 Реализация расчетной модели системы «Гусеничная тележка – корпус- кабина-кресло оператора»
- 6 Проверка адекватности математической модели. Полевые испытания трактора.
- 7 Параметрический анализ результатов расчета. Обоснование практических предложений по обеспечению нормативных требований виброзащиты.

Заключение

Список литературы из 132 наименований и одного приложения.

Общие замечания к работе

1. Положение о том, что вибрации в диапазоне 2-12 Гц наиболее опасны, не вполне обосновано
2. График рис. 1.4 свидетельствует, в большей степени, о неверном выборе системы поддрессорования кабины, что отражается в виде резкого увеличения виброускорений на частотах порядка 12-17 Гц на конструкции с применением гидроопор фирмы Simrit.
3. Ряд графиков выполнены с разными единицами измерений, что усложняет оценку результатов работы.
4. В работе не рассмотрены типовые неровности, характеризующие вынужденные колебания корпуса и эффективность системы поддрессорования.
5. В работе отсутствуют данные по замерам вибрации на органах управления промышленного трактора.

Общий вывод

Диссертация выполнена на актуальную тему. Результаты обладают научной новизной и практической значимостью, выводы достоверны и обоснованы. Автор диссертации Ю.О. Пронина, решивший задачу снижения виброн нагруженности места оператора промышленного трактора на основе изучения процессов формирования вынужденных колебаний со стороны гусеничного движителя и обосновании основных направлений по снижению вибрационной нагруженности на основе различных комбинаций факторов, влияющих на снижение виброн нагруженности места оператора трактора, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Официальный оппонент, кандидат технических наук, доцент, главный конструктор- первый заместитель исполнительного директора ОАО «Специальное конструкторское бюро машиностроения»



С.В. Абдулов

02.04.2018г.