

В диссертационный совет 24.2.437.09
при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (национальный исследовательский
университет)»
54080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, д. 76
Ученому секретарю диссертационного совета,
д.т.н., доценту Абызову А.А.

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Тараторкина Алексея Игоревича
«Метод снижения динамической и вибрационной нагруженности быстроходных гусеничных машин путем стабилизации колебательных процессов в движителе»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы
(технические науки)

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Тараторкина А.И. посвящена решению одной из важных проблем современного транспортного машиностроения – снижению динамической и вибрационной нагруженности быстроходных гусеничных машин (БГМ). Как справедливо отмечает автор, обеспечение требуемого уровня надежности БГМ высокой проходимости ограничивается рядом динамических явлений в гусеничном движителе, приводящих к значительным нагрузкам и снижению долговечности элементов конструкции, а в отдельных случаях – к их мгновенному разрушению.

Особую остроту данной проблеме придает существенное увеличение скоростей движения машин, изменение компоновочных решений, создание роботизированных и беспилотных комплексов на гусеничном ходу. При этом фактический ресурс гусениц, опорных и поддерживающих катков, ведущих и направляющих колес становится в разы ниже, чем у большинства остальных агрегатов и узлов машины.

Таким образом, тема диссертационного исследования, направленная на дальнейшее изучение колебательных процессов в гусеничном движителе и создание научных методов стабилизации динамических и вибрационных процессов, является безусловно актуальной как для разработки опытных образцов гусеничных машин, так и для модернизации существующих.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения и выводы, представленные в диссертации, являются обоснованными. Автор опирается на фундаментальные уравнения механики и теории колебаний, использует методы нелинейной теории колебаний, основанные на исследованиях отечественных и зарубежных ученых.

Обоснованность принятых допущений при подготовке математических моделей подтверждается сходимостью результатов имитационного моделирования с экспериментальными данными. Расхождение между экспериментальными и расчётными

параметрами (амплитудами и частотами колебаний) не превышает 10 %, что для задач моделирования динамики гусеничного движителя является хорошим результатом. При определении совместной жесткости упругого взаимодействия «шина-беговая дорожка» методом конечно-элементного моделирования погрешность составила 3 ... 5 %.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием апробированных методов механики и теории колебаний; применением современных программных комплексов моделирования динамики связанных систем тел (MBS симуляторы) и конечно-элементного моделирования (FEM симуляторы); проведением комплекса экспериментальных исследований с применением разработанных автором оригинальных методов на базе технологии компьютерного зрения; верификацией и валидацией разработанных математических моделей по результатам ходовых испытаний опытных образцов БГМ.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая (имитационная) модель движения гусеничной машины, отличающаяся возможностью исследования влияния различных параметров гусеничного движителя и ходовой части на динамические процессы с учетом звенчатости гусеницы, упругодемпфирующего взаимодействия между траками, геометрических параметров обвода и др.
2. Разработана математическая модель нелинейного упругого взаимодействия опорного катка с беговой дорожкой гусеницы при движении машины по твердому опорному основанию, учитывающая переменную по длине трака жесткость упругого взаимодействия и описывающая возбуждение параметрических резонансных колебаний.
3. Разработана частотная имитационная модель БГМ, отличающаяся от общепринятых моделей учетом пути распространения вибраций через параллельные жесткие связи по схеме «опорный каток – балансир – блок подвески – подрессоренная масса – оборудование».
4. Предложен метод исключения высокочастотных резонансных колебаний опорных катков путем обеспечения устойчивости динамической системы за счет выбора рационального значения глубины модуляции параметрической жесткости упругого взаимодействия шины опорных катков со звенчатой беговой дорожкой гусениц.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов исследования динамических процессов в гусеничном движителе быстроходных гусеничных машин. В работе теоретически обосновано и исследовано явление возникновения параметрических резонансов в системе «опорный каток – беговая дорожка гусеницы» при движении по твердым грунтам. Обоснована необходимость дифференцированного подхода к моделированию распространения вибраций на технологическое оборудование, смонтированное на подрессоренной массе.

Практическая ценность исследования заключается в:

1. Разработанном и программно-аппаратно реализованном методе экспериментального определения кинематических параметров гусеничного обвода на основе технологии компьютерного зрения с применением алгоритма Лукаса-Канаде для анализа оптического потока.

2. Разработанном методе определения временных и частотных параметров микропрофиля опорного основания в режиме реального времени.

3. Разработанных практических рекомендаций по снижению динамической нагруженности элементов конструкции гусеничного движителя, исключаящих такие явления как «захват» свободной ветви гусеницы зубчатым венцом ведущего колеса.

4. Разработанных практических рекомендаций по снижению динамической и тепловой нагруженности опорных катков.

Результаты работы использованы в АО «СКБМ», г. Курган при выполнении опытно-конструкторских работ по доводке конструкции движителей модернизируемых и перспективных образцов гусеничных машин. Получен один патент РФ на полезную модель и два патента на изобретения.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертация имеет классическую структуру и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 155 страницах основного машинописного текста, содержит 59 рисунков, 8 таблиц и три приложения.

В первой главе проведен обзор работ по динамической нагруженности ГД БГМ. Рассмотрены аналитические и экспериментальные подходы отечественных (М.К. Кристи, Н.А. Забавников, Л.В. Сергеев, В.Ф. Платонов, П.П. Исаков, Г.О. Котиев, И.Я. Березин) и зарубежных авторов (Вонг, Беккер). Отмечен вклад школ Тимошенко и Светлицкого, а также организаций (академия БТВ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, АО «ВНИИТрансмаш», ЮУрГУ, 38 НИИ МО РФ, АО «СКБМ», АО «Уралвагонзавод» и др.).

Выявлено, что на настоящее время отсутствуют модели, полноценно описывающие колебания в ветвях ГД с учетом особенностей конструкции; слабо изучены параметрические резонансы опорных катков при движении по твердому опорному основанию; требуется уточнение моделей поддрессирования для оценки вибронагрузки в траковом диапазоне частот с учетом жестких связей. По итогам анализа сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе проведено теоретическое исследование динамики гусеничного движителя (ГД) БГМ. Для изучения поперечных колебаний свободной ветви гусеницы при носовом расположении ведущего колеса, на начальном этапе, рассмотрена расчётная схема в виде упругого инерционного стержня с учётом инерционных нагрузок от микропрофиля грунта. Установлено, что при увеличении длины свободной ветви в 1,2...1,3 раза (наезд катка на неровность) снижается растягивающее усилие T , что уменьшает скорость распространения поперечной волны и собственные частоты. Для учёта неопределённости растягивающих усилий в гусеничной цепи разработана имитационная модель ГД в программном комплексе (включает корпус, элементы ходовой части, гусеничные подсистемы с шарнирными соединениями траков). Валидация модели по данным ходовых испытаний показала удовлетворительную сходимость (расхождение амплитуд и частот не более 10 %). Модель позволяет исследовать динамику ветвей при носовом или кормовом расположении ведущих колёс и допускает дальнейшее развитие.

Для высокочастотных колебаний неподрессоренных масс разработана модель в форме уравнения Матье с построением диаграммы Айнса-Стретта. Анализ выявил зоны параметрического резонанса опорных катков, что является причиной повышенной динамической и тепловой нагруженности шин. Для исключения резонанса предложено снижение глубины модуляции жёсткости (параметр h) за счёт смещения плит траков или

регулировки толщины резинового слоя. Теоретически обоснована и подтверждена гипотеза о возникновении параметрических резонансов элементов ходовой части на твёрдых грунтах. Модель позволяет по диаграмме Айнса–Стретта определять зоны неустойчивости и обосновывать требуемые упруго-инерционные параметры системы при двухпараметрическом регулировании упругого взаимодействия.

Для оценки высокочастотного вибронагружения специального оборудования на подрессоренной массе (на «траковой» частоте) обоснована необходимость учёта пути распространения вибраций по схеме «опорный каток – балансир – блок подвески – подрессоренная масса – оборудование». Разработана частотная имитационная модель в пакете Amesim, учитывающая этот путь.

В третьей главе изложены результаты экспериментального исследования. Разработаны методики: определения кинематических и силовых параметров гусеницы на основе оценки разряженного оптического потока и оценки вибрационной нагруженности опорных катков и оборудования на подрессоренной массе. Приведены объекты, аппаратура и перечень регистрируемых параметров для анализа процессов во временной и частотной областях.

Полученные экспериментальные данные позволили верифицировать разработанные модели, подтвердить гипотезы формирования динамической и вибрационной нагруженности элементов конструкции.

В четвертой главе представлены результаты комплексного (теоретического и экспериментального) исследования динамической нагруженности ГД и обоснованы технические решения для достижения цели работы.

С помощью валидированной имитационной модели исследованы динамические эффекты в ветвях гусеничного обвода при носовом расположении ведущих колёс, определены численные параметры нагруженности свободной ветви. Для устранения «захвата» гусеницы ведущим колесом обосновано решение – установка успокоителя в виде катка в зоне схода гусеницы. Моделирование показало: при касании успокоителя частота низшей формы колебаний возрастает с 3,5–4 Гц до 6–9 Гц, амплитуда снижается на 30 %, что исключает захват гусеницы ведущим колесом. Нагрузка на успокоитель составляет 5–6 кН, что позволяет назначить его конструктивные параметры.

Для снижения динамической и тепловой нагруженности опорных катков (гусеница с параллельным шарниром) разработан метод (получен патент на изобретение, в диссертации приведена блок-схема) на основе теории параметрических колебаний. Метод включает конечно-элементное моделирование контакта «шина катка – беговая дорожка», построение уравнения Матье, анализ устойчивости по диаграмме Айнса–Стретта и определение требуемой глубины модуляции жёсткости. Предложен вариант трака со смещёнными плитками, обеспечивающий снижение параметра модуляции h с 0,095 (серийный) до 0,016, что полностью исключает параметрические резонансы.

С использованием частотной имитационной модели в пакете Amesim подтверждена гипотеза о необходимости учёта параллельных жёстких связей по пути «каток – балансир – подвеска – корпус – оборудование». Это позволяет корректно оценить уровень виброизоляции и разработать обоснованные мероприятия (в частности, применение трака со смещёнными полуплитками) по снижению вибронагруженности специального оборудования, установленного на подрессоренной массе.

Работа является завершённым научно-квалификационным исследованием.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

К достоинствам работы следует отнести:

1. Комплексный подход к решению проблемы ← от теоретического моделирования до экспериментальной верификации и разработки конкретных технических решений.
2. Оригинальность разработанных методов, в частности метода определения кинематических параметров гусеничного обвода на основе технологии компьютерного зрения.
3. Практическую реализацию результатов в виде патентов и внедрения в производство.
4. Широкую апробацию работы на международных и всероссийских конференциях.

Вместе с тем, по работе имеются следующие замечания:

1. Автор широко использует АЧХ экспериментальных и расчетных процессов. Непонятно, как они получались. Если это не амплитудный спектр, то в какой частотной полосе находились амплитуды. Как определялась АЧХ вибраций трака при кратковременном процессе схода гусеницы – рис. 4.1.
2. Непонятно, зачем строились упрощенные модели в Amtsim, при наличии полной модели в УМ.
3. Уравнение 2.38 относится к задачам управления, которая в такой форме в данной работе не решалась. Уравнение записано с ошибкой – взята частная производная по времени от функции одной переменной. Расчетные модальные характеристики не приведены.
4. Модель 2.22 лишняя, можно было получить частотную характеристику катка из полной модели УМ. Это же относится к аналитической модели гусеницы.
5. Диаграмма Айнса-Стретта приведена в теоретической безразмерной форме. Целесообразно было бы вместо параметра частоты а использовать непосредственно частоту параметрического возмущения, которая в данной задаче соответствует траковой частоте. Следовало бы так же продемонстрировать эффект уменьшения параметрических колебаний на полной модели
6. В работе присутствуют редакционные и семантические ошибки. Так на рис. 3.23, 3.24 – нет описания кривых, непонятно что это временная реализация или спектр. Неверная фраза - «задачи нестационарной обработки данных», правильно «задачи обработки нестационарных данных» и др.

Отмеченные недостатки не снижают общей ценности диссертационного исследования и не влияют на обоснованность основных научных и практических результатов.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, в нем отражены все ключевые научные результаты, выносимые на защиту. Структура автореферата и объем публикаций соответствуют установленным требованиям. По теме диссертации

опубликовано 13 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 патент на полезную модель и 2 патента на изобретения.

Соответствие диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Тараторкина Алексея Игоревича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и практические рекомендации, направленные на решение актуальной научно-технической задачи снижения динамической и вибрационной нагруженности быстроходных гусеничных машин.

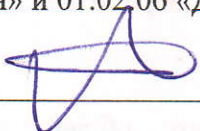
Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы, в части экспериментальных исследований и испытаний транспортно-технологических средств, а также оптимизации конструкций и синтеза законов управления движением наземных транспортно-технологических средств и их отдельных функциональных узлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Тараторкина Алексея Игоревича на тему «Метод снижения динамической и вибрационной нагруженности быстроходных гусеничных машин путем стабилизации колебательных процессов в двигателе» является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-технической задачи. Работа соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Тараторкин Алексей Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки).

Официальный оппонент:

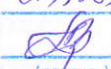
Горбцов Александр Сергеевич, доктор техн. наук, старший научный сотрудник, зав. кафедрой «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Докторская диссертация по специальностям 05.02.18 «Теория механизмов и машин» и 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратов»

 27.08.2026

А.С. Горбцов

400005, Россия, г. Волгоград, ФГБОУ
ВО «Волгоградский государственный
технический университет» (ВолгГТУ),
им. В.И. Ленина пр-кт, 28,
Телефон 23-00-76, факс 23-41-2,
e-mail: rector@vstu.ru, vm@vstu.ru




27.08.2026

(подпись)