

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и международной деятельности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет»,
доктор технических наук, профессор

А.Н. Бескопильный

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» на диссертацию Болотова Дмитрия Борисовича на тему: «Совершенствование упруго-демпфирующей системы подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

Актуальность темы исследований

Эффективное развитие агропромышленного комплекса требует оснащения сельскохозяйственных предприятий высокопроизводительной техникой, способной выполнять технологические операции на повышенных скоростях движения. Однако функционирование современных мобильных энергетических средств в составе машинно-тракторного агрегата сопровождается негативным воздействием колебаний от внешних источников, а именно возникающим вследствие перемещения движителей по неровностям опорной поверхности. Особенно остро данная проблема проявляется при увеличении рабочей скорости движения, что весьма заметно при выполнении транспортных работ. Наличие данных колебаний ведет к вибрационному воздействию на оператора тракторно-транспортного агрегата, вызывая усталость, снижение концентрации внимания, что повышает вероятность ошибок при управлении транспортным средством. Более того, постоянное воздействие повышенного уровня вибронагруженности увеличивает риск возникновения профессиональных заболеваний опорно-двигательной и нервной систем. Традиционно применяемые системы виброзащиты, установленные на большинстве колесных

тракторов сельскохозяйственного назначения зачастую не обеспечивают должного уровня изоляции оператора от негативного воздействия вибрации и не отвечают современным требованиям санитарных норм, предъявляемых к рабочим местам оператора мобильного энергетического средства. В связи с чем необходимо вести разработку систем виброзащиты способных эффективно гасить вибрацию в современных условиях эксплуатации тракторно-транспортных агрегатов.

На основании вышесказанного, диссертационная работа Болотова Д.Б., направленная на снижение уровня вибронагруженности рабочего места оператора тракторно-транспортного агрегата, за счет совершенствования системы поддрессовывания сиденья, является актуальной.

Работа выполнена в рамках НИР агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I: «Инновационные направления совершенствования мобильных энергетических средств», утвержденной ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Значимость полученных результатов для развития науки в инженерной сфере агропромышленного комплекса

В диссертации представлены результаты, обладающие научной новизной:

- имитационные модели вертикальных колебаний подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора, отличающиеся комплексным учетом кинематических и динамических параметров механических элементов, а также гидравлических характеристик демпфера подвески;
- техническое решение подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора с активным демпфированием, отличающееся тем, что используется магнитореологическая жидкость с управляемой вязкостью для изменения демпфирующих свойств подвески;
- зависимость кинематической вязкости магнитореологической жидкости от скорости перемещения сиденья относительно пола кабины;
- закономерности изменения уровней вертикальных ускорений в октавных полосах частот подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного

трактора, отличающиеся учетом изменения вязкости магнитореологической жидкости в активном демпфере в зависимости от режима работы ТТА.

Теоретическая значимость работы заключается:

- в разработке имитационных моделей подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора, позволяющих выявлять недостатки подвески и находить новые решения для ее совершенствования, а также установить закономерности изменения уровней вертикальных ускорений в октавных полосах частот при работе трактора в составе ТТА;

- в получении зависимости кинематической вязкости магнитореологической жидкости от скорости перемещения сиденья относительно пола кабины, позволяющей разработать алгоритм управления активным демпфером подвески.

Практическую значимость работы составляют:

- техническое решение подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора (патент № 233623 РФ), основанное на применении изменения вязкости магнитореологической жидкости в зависимости от режима работы, обеспечивающее снижение уровня вибронагруженности оператора и повышение рабочих скоростей ТТА;

- компьютерные программы, моделирующие режимы работы подвески и позволяющие установить рациональные параметры подвески (свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024619829 РФ и № 2024681543 РФ).

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, включающих 65 рисунков и 6 таблиц, заключения, списка литературы из 181 наименования, 2 приложения. Объем диссертации с приложениями – 164 страницы машинописного текста

Во введении обоснована актуальность темы, приведена степень ее разработанности, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, изложены теоретическая и практическая зна-

чимость работы, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, отражены личный вклад соискателя, количество публикаций соискателя по теме диссертации, структура и объем диссертационной работы.

В первом разделе «Обзор результатов исследований по снижению вибрационной нагрузки на оператора мобильного энергетического средства» был проведен комплексный анализ факторов воздействия транспортной вибрации на организм человека. Известно, что чрезмерная интенсивность вибрационных нагрузок отрицательно сказывается на состоянии здоровья оператора машинно-тракторного агрегата, способствуя развитию профессиональных болезней. Анализ существующих мер защиты от вибрации, выявил, что получение наибольшей эффективности возможно за счет применения системы подрессоривания сидения. Среди систем демпфирования различают пассивные, активные и полуактивные. В настоящее время наиболее перспективно использование демпфирующих устройств полуактивного типа с использованием магнитореологической жидкости в качестве рабочих. Однако известные демпфирующие устройства требуют упрощения конструкции и повышения надежности при работе.

Во втором разделе «Теоретическое исследование работы подвески сиденья оператора тракторно-транспортного агрегата» приводится описание разработанных математических моделей серийной и предложенной системы подрессоривания сиденья оператора тракторно-транспортного агрегата. Использование разработанных имитационных моделей позволяет провести комплекс численных экспериментов, на основе которых возможно определить значения различных динамических параметров сиденья оператора, влияющих на эффективность гашения вибрационной нагрузки на оператора.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены задачи численных и натурных экспериментов, описан объект исследования, совершен подбор необходимых приборов и оборудования, определены условия и методика проведения лабораторных и дорожно-полевых испытаний, включающие методику проверки адекватности разработанной имитационной

модели серийной конструкции подвески сиденья, а также представлена методика численного эксперимента

В четвертом разделе «Результаты проведенных исследований» представлены и проанализированы результаты натурных и численных экспериментов по испытанию тракторно-транспортного агрегата, оборудованного серийной и предложенной конструкциями системы подвески сиденья оператора. Результаты проведенных исследований показывают, что использование предложенной системы поддрессоривания сиденья способствует снижению уровня вертикальных ускорений на рабочем месте оператора. Данные результаты наблюдаются во всем частном диапазоне, на всех рассматриваемых режимах работы тракторно-транспортного агрегата. При этом максимальная эффективность достигнута при скорости движения ТТА 25,6 км/ч, в диапазоне со среднегеометрической частотой виброускорений 16 Гц, и составляет 24 дБ.

Оценка эффективности по эквивалентному скорректированному уровню виброускорений показала, что предложенная конструкция в сравнении с серийной подвеской сиденья, позволяет снизить скорректированный уровень виброускорений на рабочем месте оператора ТТА до 15 дБ. Наибольшая эффективность была выявлена при скорости движения 25,6 км/ч.

В пятом разделе «Определение эксплуатационных издержек на модернизацию серийной подвески сиденья оператора тракторно-транспортного агрегата» определен годовой экономический эффект от внедрения разработанной конструкции подвески сиденья трактора в составе транспортного агрегата. Экономический эффект при расчете на один трактор Беларусь 1221.2 с прицепом 2ПТС-6 выполняющим внутрихозяйственные транспортные работы, составляет 151 016 рублей. Срок окупаемости инвестиций составляет 0,72 года.

В заключении диссертационной работы отражены результаты исследования автора, соответствующие поставленным задачам, рекомендации производству и перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложениях представлен акт поверки используемого оборудования, а также акты внедрения результатов работы в производство и учебный процесс.

Качество оформления диссертации, обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Диссертация и автореферат диссертации оформлены качественно, изложены технически грамотным и доступным языком с применением достаточного количества наглядных иллюстраций: графиков, схем и рисунков. Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Содержание автореферата соответствует предъявляемым требованиям, имеет краткое изложение материала диссертации, его текст расположен в последовательности, представленной в основной работе, содержание выводов не имеет отклонений от изложения в диссертации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается сходимостью теоретических расчетов с результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований по определению уровня вибронгруженности рабочего места оператора тракторно-транспортного агрегата в случае применения серийной или предложенной конструкций системы поддрессоривания сиденья.

Первый вывод достоверен, соответствует первой задаче исследований, и отражает результаты испытаний на разработанных имитационных моделях, представленные во втором и четвертом разделах диссертации. Установлено, что серийная конструкция не соответствует требованиям, предъявляемым к рабочему месту оператора по величине транспортной вибрации

Второй вывод соответствует второй задаче работы, которая заключается в разработке, на основе анализа известных решений, нового технического устройства, позволяющего снизить уровень вертикальных ускорений на сиденье оператора. Подтверждается результатами первого, третьего (подразделов 1.3, 3.2), а также четвертого разделов диссертационной работы. Вывод информативен и достоверен.

Третий вывод соответствует третьей задаче работы и опирается на данные, полученные во втором, третьем и четвертом разделах. В нем отражена зависимость кинематической вязкости магнитореологической жидкости от скорости перемещения сиденья относительно пола кабины, использование которой позволило эффек-

тивно управлять активным демпфером подвески, снизив уровень ускорений на сиденье оператора до 8% – при проезде единичной неровности и до 15дБ – при движении по грунтовой дороге.

Четвертый вывод соответствует четвертой задаче исследования, отражает полученные закономерности изменения вертикальных ускорений на рабочем месте оператора тракторно-транспортного агрегата. Вывод достоверен, информативен, подтверждается результатами четвертого раздела диссертации.

Пятый вывод посвящен результатам экономической оценки эффективности применения предложенной конструкции подвески сиденья.

Шестой вывод касается рекомендаций по использованию результатов исследования в учебном процессе и на производстве.

Седьмой вывод посвящен перспективам дальнейшей разработки темы.

Результаты диссертационной работы приняты для внедрения ООО «Брянский тракторный завод» и используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2021 по 2025 г. на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, а также на международных, всероссийских и национальных научных конференциях.

По теме диссертации опубликовано 23 научные работы, в том числе три статьи в Российских журналах, включенных в перечень ВАК, пять патентов на полезные модели, один патент на изобретение и два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Анализ опубликованных материалов показывает, что они подробно освещают ключевые аспекты проведенного исследования и содержат в себе публикацию основных выводов диссертационной работы.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования

Разработанные автором имитационные модели серийной и предложенной конструкций системы подрессоривания сиденья могут быть использованы науч-

ными и конструкторскими организациями, для более глубокого анализа процессов, происходящих в подвеске сиденья оператора в процессе работы для эффективной модернизации системы поддрессоривания. Результаты представленного научного исследования целесообразно использовать предприятиям и заводам-изготовителям при разработке новых или модернизации существующих конструкций подвесок сиденья оператора.

Перспективы дальнейшей разработки темы – исследования, направленные на применение активных регулируемых амортизаторов, совместно с изменяющейся упругой характеристикой подвески сиденья в зависимости от внешних воздействий.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации не приведено обоснование величины жёсткости торсионных пружин предложенной конструкции сиденья оператора (стр. 70 диссертации), скоростей движения тракторно-транспортного агрегата (стр. 96 диссертации).

2. В описании имитационных моделей, не сказано, об учете влияния на снижение вибрации мягких наполнителей сиденья оператора.

3. Не указаны литературные источники, по которым приняты значения максимально возможное при воздействии магнитного поля и базовое значение кинематической вязкости без воздействия магнитного поля рабочей жидкости (стр. 97 диссертации).

4. Требуется пояснения термин «Суррогатная модель» (стр. 100 диссертации).

5. Недостаточно проработан алгоритм управления. В работе не исследована возможность использования более сложных адаптивных алгоритмов, которые могли бы повысить эффективность системы;

6. Не представлены результаты определения параметров микрорельефа поверхности опорной поверхности, по которой перемещается тракторно-транспортный агрегат.

7. В работе процесс поверки и тарировки используемого измерительного оборудования описан поверхностно.

7. В таблицах 3.1 и 3.2 не приведены размерности определяемых параметров.

8. Отсутствуют экспериментальные исследования предложенной конструкции системы поддрессирования сиденья оператора в сборе.

9. Не сделана оценка влияния на состояние оператора смещение зоны резонанса отношения амплитуд виброскорости на сиденье и на пол кабины трактора в более низкую область частот.

10. В работе не расписана методика пересчета полученных данных вертикальных ускорений в эквивалентный скорректированный уровень виброускорений.

11. Отсутствует анализ гармонических и случайных вибраций.

12. По тексту встречаются описки, неудачные формулировки и отклонения от стандартов.

Следует отметить, что все приведенные выше замечания не имеют принципиального значения и носят дискуссионный характер.

Заключение

Диссертационная работа Болотова Дмитрия Борисовича на тему: «Совершенствование упруго-демпфирующей системы подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора» является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения по совершенствованию системы поддрессирования сиденья оператора трактора, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие сельского хозяйства России.

Отмеченные замечания не снижают ценности полученных результатов и не изменяют общей положительной оценки диссертации

Считаем, что диссертационная работа, соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, а ее автор Болотов Дмитрий Борисович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

Диссертационная работа и отзыв ведущей организации заслушаны, обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры, «Техника и технологии пищевых производств» ФГБОУ ВО ДГТУ протокол № 3 от «12» ноября 2025 года.

Декан факультета «Агропромышленный»
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»,
доктор технических наук, доцент
(4.3.1 - Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса)

Д.В. Рудой

Профессор кафедры «Техника и технологии
Пищевых производств»
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»,
доктор технических наук, профессор
(05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства)

В.А. Кравченко

Полное название организации	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»
Структурное подразделение	Факультет «Агропромышленный» Кафедра «Техника и технологии пищевых производств»
Почтовый адрес	344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Контактные телефоны, E-mail	тел. 8 (863) 273-85-56; spu-38@donstu.ru тел. 8 (863) 273-84-49; spu-38.6@donstu.ru

Подписи, учёные степени, учёные звания и должности Д.В. Рудого, В.А. Кравченко удостоверяю.

Подпись, учёную степень, учёное звание
и должность Д.В. Рудого, В.А. Кравченко удостоверяю

Учёный секретарь ФГБОУ ВО ДГТУ



В.Н. Анисимов