

На правах рукописи



КОЛЯДИН Павел Александрович

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОСРЕДСТВ
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ШИН СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО СПбГАУ)

Научный руководитель: **Прядкин Владимир Ильич**,
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ВГЛТУ».

Официальные оппоненты: **Беляев Александр Николаевич**
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой прикладной механики
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Меликов Иззет Мелукович
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры технической
эксплуатации автомобилей ФГБОУ ВО
Дагестанский ГАУ.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет».

Защита состоится «19» июня 2026 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.033.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» по адресу: 196601, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, лит А. ауд. 2113., тел. +7(812)470-04-22, e-mail: ds431_2@spbgau.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <https://spbgau.ru> ФГБОУ ВО СПбГАУ. Объявление о защите и автореферат размещены на сайтах <https://spbgau.ru> ФГБОУ ВО СПбГАУ и <https://vak.minobrnauki.gov.ru> ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.033.02
доктор технических наук, профессор

Огнев Олег Геннадьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одними из основных целей «Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года», в рамках реализации Указа Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» и национальной цели №4 «Достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство», являются «Обеспечение продовольственной безопасности» и «Увеличение произведенной добавленной стоимости». Решение поставленных целей возможна путем повышения урожайности сельскохозяйственных культур и вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения, имеющих почвы с низкой несущей способностью с одновременной технической модернизацией используемых технологических средств.

Реализация целей стратегии невозможно без учета роли крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ) и малых сельскохозяйственных предприятий, которые в структуре агропромышленного комплекса России на 2024 год занимают более 35% посевных площадей озимых зерновых культур АПК России, на которых выращивают около 57% от массы зерновых культур. Основными энергетическими средствами при выполнении сельскохозяйственных работ в крестьянско-фермерских хозяйствах являются тракторы различных классов и энергонасыщенности, но их применение ограничено по агротехническим требованиям при выполнении технологических операций в ранний весенний период, при котором движение машин по полю в это время становится невозможным.

Решением этой проблемы является реализация современных высокоэффективных технологий в КФХ и малых сельскохозяйственных предприятиях и требует применения мобильных энергетических средств (МЭС), оборудованных различными почвошадящими движителями, обеспечивающих высокую производительность и экономическую эффективность, с жестким соблюдением агротехнического регламента. Однако применение таких энергосредств малыми сельскохозяйственными организациями со среднегодовой численностью до 60 человек экономически ограничено средней посевной площадью зерновых культур 969,7 га, что требует создания адаптированных МЭС малой грузоподъемности с колесной формулой 4К4, оборудованных шинами сверхнизкого давления, позволяющих повысить их рабочие скорости на 20-30%, снизить энергозатраты на 30% и обеспечить сохранность посевов в ранний весенний период. Тенденция развития современных сельскохозяйственных самоходных машин подразумевает вынос кабины оператора за ось передних колес, улучшающей обзорность и расширяющая размеры адаптивной технологической площадки для монтирования различного технологического оборудования. Однако, исследования по оценке виброзащитных свойств мобильных средств малой грузоподъемности, при компоновочной схеме с колесной формулой 4К4 и кабиной расположенной

перед передней осью, не рассмотрены в должной мере и требуют дополнительного изучения.

В соответствии с вышеизложенным, актуальность темы связана с совершенствованием конструктивно-компоновочных параметров виброзащитной системы мобильных энергетических средств малой грузоподъемности с колесной формулой 4К4, что позволит повысить их эксплуатационные свойства, связанные с повышением производительности и урожайности сельскохозяйственных культур, направленных на решение целей «Обеспечения продовольственной безопасности» и «Увеличения произведенной добавленной стоимости» АПК России.

Степень разработанности. Наибольший вклад в вопросы, связанные с повышением эффективности применения и мобильных транспортно-технологических средств внесли работы следующих отечественных и зарубежных ученых: Дербаремдикер А.Д., Никитин А.О., Дмитриев А.А., Жилейкин М.М., Савочкин В.А., Годжаев З.А., Силаев А.А., Котиев Г.О., Беляев А.Н., Наказной О.А., Новиков В.В., Смирнов А.А., Хвингия М.В., Ротенберг Р.В., Меликов И.М., Фридман В.М., Коловский М.З., Левитский Н.И., Пановко Я.Г., Платонов В.Ф., Чудаков Д.А., Горобцов А.С., Дьяков А.В., Дьяков А.С., Гайнуллин И.А., Дидманидзе О.Н., Косов О.Д., Габитов И.И., Ляшенко М.В., Савельев Г.С., Русанов, В.А., Барский И.Б. и другие.

Анализ литературных источников показал влияние снижения вертикальных ускорений на повышение эффективности мобильных и транспортно-технологических средств путем повышения рабочих скоростей их движения. Однако недостаточно изучен вопрос исследования колебательных процессов штанговых опрыскивателей.

Цель работы – повышение эффективности применения самоходных штанговых опрыскивателей сельскохозяйственного назначения с колесной формулой 4К4 за счет применения шин сверхнизкого давления.

Задачи работы.

1. Провести анализ параметров и режимов работы двухосных мобильных энергетических средств на шинах сверхнизкого давления для агропредприятий малых форм хозяйствования.

2. Разработать математическую модель мобильного энергетического средства на шинах сверхнизкого давления исследования плавности хода, учитывающая колебания штанг опрыскивателем.

3. Разработать математическую модель воздействия колесного движителя на культурные растения, учитывающую многократный проход, провести сравнительную оценку теоретических и экспериментальных исследований.

4. Провести комплексные экспериментальные исследования плавности хода разработанного мобильного энергетического средства на шинах сверхнизкого давления, оборудованного штанговым опрыскивателем: лабораторные, лабораторно-полевые и полевые.

5. Выполнить экспериментальные исследования вибронагруженности и амплитуды колебаний штанг опрыскивателя мобильного энергетического средства, оборудованного шинами сверхнизкого давления.

6. Определить технико-экономическую эффективность применения режимов работы двухосных мобильных энергетических средств, оборудованных шинами сверхнизкого давления.

Научная новизна. Научной новизной обладают:

- математическая модель двухосного мобильного энергетического средства со штанговым опрыскивателем, оборудованного шинами сверхнизкого давления, отличающаяся учетом колебаний штанг опрыскивателя и изменением массы жидкости при движении;

- математическая модель воздействия шин сверхнизкого давления на культурные растения, отличающаяся учетом многократного прохода движителя по опорному основанию;

- закономерности изменения вертикальных ускорений двухосного мобильного энергетического средства, оборудованного штанговым опрыскивателем, учитывающие влияние параметров давления воздуха в шинах, массы жидкости в баке опрыскивателя и колебания штанг;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований воздействия колесного движителя на культурные растения, отличающаяся многократным проходом колесного движителя.

Объект исследования – мобильное энергетическое средство МЭС-600 малой грузоподъемности с колесной формулой 4К4, оборудованное шинами сверхнизкого давления.

Предмет исследования – закономерности изменения уровня вибрационной нагруженности мобильного энергетического средства, оборудованного шинами сверхнизкого давления в условиях реальной эксплуатации.

Область исследований. Работа предполагает изучение принципа работы, динамические процессы нагружения первичных и вторичных систем подрессоривания современных мобильных энергетических средств на шинах сверхнизкого давления. Даны обобщенные результаты теоретических и экспериментальных исследований по применению шин сверхнизкого давления для улучшения конструкторско-технологических и технико-эксплуатационных параметров согласно государственным нормам и требованиям.

Методы исследования. Включают себя анализ конструктивных и технологических параметров мобильных средств сельскохозяйственного назначения; разработка экспериментального образца мобильного средства на шинах сверхнизкого давления; теоретическое исследование вертикальных вибронагрузок, действующих на оператора и штанги опрыскивателя МЭС; исследование упруго-демпфирующих характеристик шин, пружин и демпферов системы подрессоривания в лабораторных условиях; исследование изменения координат центра масс мобильного средства с переменной массой; исследование виброзащитных свойств мобильного средства в лабораторно-полевых условиях; исследование вертикальных вибронагрузок, действующих на оператора и штанги мобильного средства при проведении эксперимента в полевых условиях; оценка воздействия на культурные растения шин сверхнизкого давления мобильных энергосредств при проведении полевых

исследований; оценка экономической эффективности применения двухосного мобильного энергетического средства на шинах сверхнизкого давления.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена лабораторными, лабораторно-полевыми и полевыми испытаниями, эксплуатационной проверкой характеристик, а также достаточно высоким схождением теоретических положений и экспериментальных данных.

Теоретическую и практическую значимость работы составляют:

- разработанная программа на основе динамической и математической модели мобильного энергетического средства с колесной формулой 4К4, учитывающей колебания штанг опрыскивателя, позволяет на стадии проектирования исследовать и прогнозировать параметры виброзащитных систем двухосных самоходных машин, оборудованных штанговым опрыскивателем, учитывая изменяющиеся эксплуатационные свойства;

- разработанная математическая модель и программа оценки воздействия шин сверхнизкого давления на культурные растения позволяет подбирать оптимальные параметры движителя с регламентированным на опорное основание давлением при проектировании мобильных энергетических средств;

- предложенная методика определения виброзащитных свойств мобильных энергетических средств, оборудованных штанговым опрыскивателем, и полученные экспериментальные зависимости колебаний штанг опрыскивателя от давления воздуха в шинах и скорости движения при переменном уровне заполнения технологической емкости позволят повысить эффективность эксплуатации мобильных самоходных средств химизации.

Вклад автора в проведенное исследование. Разработана математическая и имитационная модели мобильного средства малой грузоподъемности, оборудованное штанговым опрыскивателем, отличающаяся возможностью исследования виброзащитных свойств МЭС с учетом изменения массы жидкости, подрессоривания кабины оператора и гистерезисных потерь в упругих элементах подвески при выполнении сельскохозяйственных операций. Проведены лабораторные, лабораторно-полевые и полевые исследования мобильного средства, оборудованного шины сверхнизкого давления 1020x420-18 и определены функциональные зависимости для определения параметров взаимодействия ШСНД с твердым и грунтовым опорным основанием. Проведены испытания по оценке воздействия на растения шин сверхнизкого давления 1020x420-18, применённых на объекте исследований при выполнении сельскохозяйственных операций.

Реализация результатов исследований. Результаты экспериментальных исследований конструкторско-технологических параметров виброзащитных свойств МЭС внедрены в производство на ООО «ТРАНСМАШ» (г. Нижний Новгород), ООО «ЦЧ АПК» филиал МТС Воронеж Верхнехавского района Воронежской области и ООО МТС «АГРОСЕРВИС» (Верхняя Хава). Разработанный стенд и методика определения жесткости упругих элементов подвески внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» по дисциплине «Конструкция и

эксплуатационные свойства транспортно-технологических машин и оборудования».

Научные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся основные положения, представляющие новизну и практическую ценность.

Степень достоверности результатов обеспечена применением в работе современных апробированных теоретических подходов с применением математического моделирования, а также достаточной сходимостью расчетных данных, полученных при использовании лицензионных программных комплексов с экспериментальными данными, полученными при лабораторно-полевых и полевых испытаниях. Результаты и выводы работы теоретически обоснованы и подтверждены расчетами.

Апробация работы. «Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм» (ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 2018, 2020, 2021); Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ-2019)» (ФГБОУ ВГТУ, Воронеж, 2019); «Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе» (АНО ВО «Автомобильно-транспортный институт», Воронеж, 2019); «Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга» (ВУНЦ ВВС «ВВА», Воронеж, 2019); «Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, Воронеж, 2020); «Современные направления и подходы к проектированию и строительству инженерных сооружений» (ФГБОУ ВО РГАУ им. П.А. Костычева); «Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, Воронеж, 2020); «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий» (ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 2021); «Роботизированные и автоматизированные системы в автомобиле- и тракторостроении» (ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 2022); «Проблемы и перспективы конструктивного совершенствования отечественного автомобилестроения» (ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 2023); «Эксплуатация и сервис автомобилей, тракторов и двигателей» (ФГБОУ ВО СПбГАУ, Санкт-Петербург, 2023, 2024, 2025); «Автомобильное и тракторное машиностроение России: пути развития и подготовка кадров» (ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 2025).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 27 статей, из них 2 в изданиях, рекомендованных списком ВАК РФ, 2 публикации в изданиях, индексируемых в базах WoS и Scopus. Получено 7 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 основных глав, общих выводов и рекомендаций, библиографического списка, 6 приложений.

Общий объем диссертации составляет 239 страницы и содержит 74 рисунка, 37 таблиц, список литературы из 128 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено состояние вопроса, определены и сформулированы основные задачи исследований. Выполнен анализ конструктивных схем существующих мобильных энергетических средств на шинах сверхнизкого давления и самоходных штанговых опрыскивателей, выполненных на их базе. Определено отсутствие на рынке сельскохозяйственной техники самоходных опрыскивателей малой грузоподъемности, с колесной формулой 4К4 и вынесенной вперед кабиной оператора, позволяющей равномерно распределить нагрузку между ведущими мостами шасси опрыскивателя и расширить возможности технологической площадки МЭС для монтажа различного оборудования.

Проанализированы возможные пути снижения динамической нагруженности системы поддрессоривания, улучшения плавности хода МЭС и обеспечения более эффективной виброзащиты рабочего места оператора. Выполнен анализ существующих математических моделей мобильных средств, определены их достоинства и недостатки. Установлено сниженное воздействие шин сверхнизкого давления при повреждении почвенно-растительного покрова в процессе эксплуатации мобильных энергетических средств.

Вторая глава посвящена расчетной оценке динамической нагруженности разработанного мобильного средства на шинах сверхнизкого давления, оборудованного штанговым опрыскивателем. Дополнительно проведен теоретический анализ воздействия шин сверхнизкого давления, установленных на объект исследований, на растения при проведении технологических операций.

Для проведения численного эксперимента по оценке плавности хода была разработана динамическая модель мобильного средства, оборудованного штанговым опрыскивателем, а на её базе математическая модель (рисунок 1). Механическое движение мобильного средства в рамках данной модели описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка (1). Для решения системы уравнений используется численный метод Рунге-Кутты второго порядка. В результате решения дифференциальных уравнений численным методом получают таблично заданные функции зависимости от времени координат центров масс тел.

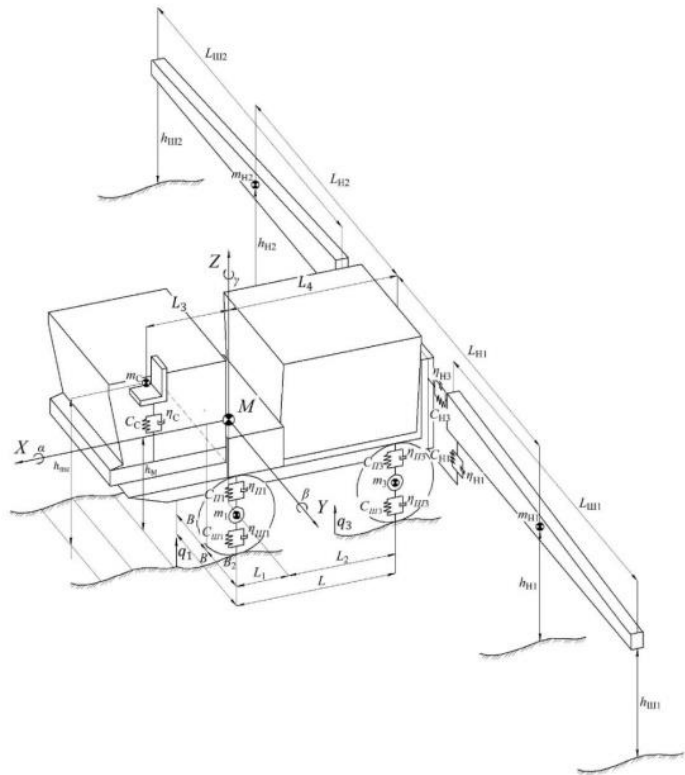


Рисунок 1 – Модель мобильного средства МЭС-600 с установленным штанговым опрыскивателем

$$\begin{cases}
m_1 \ddot{\xi}_1 = \eta_{ш1} (\dot{\xi}_1 - \dot{q}_1) + C_{ш1} (\xi_1 - q_1) + \eta_{п1} (\dot{Z} - \dot{\xi}_1 - L_1 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + C_{п1} (Z - \xi_1 - L_1 \beta - B_2 \alpha); \\
m_2 \ddot{\xi}_2 = \eta_{ш2} (\dot{\xi}_2 - \dot{q}_2) + C_{ш2} (\xi_2 - q_2) + \eta_{п2} (\dot{Z} - \dot{\xi}_2 - L_1 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) + C_{п2} (Z - \xi_2 - L_1 \beta - B_1 \alpha); \\
m_3 \ddot{\xi}_3 = \eta_{ш3} (\dot{\xi}_3 - \dot{q}_3) + C_{ш3} (\xi_3 - q_3) + \eta_{п3} (\dot{Z} - \dot{\xi}_3 - L_2 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + C_{п3} (Z - \xi_3 - L_2 \beta - B_2 \alpha); \\
m_4 \ddot{\xi}_4 = \eta_{ш4} (\dot{\xi}_4 - \dot{q}_4) + C_{ш4} (\xi_4 - q_4) + \eta_{п4} (\dot{Z} - \dot{\xi}_4 - L_2 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) + C_{п4} (Z - \xi_4 - L_2 \beta - B_1 \alpha); \\
m_C \ddot{z}_C = C_C (z_C - Z - L_3 \alpha) + \eta_C (\dot{z}_C - \dot{Z} - L_3 \dot{\alpha}); \\
m_{H1} \ddot{z}_{H1} = \eta_{H1} (\dot{Z} - \dot{z}_{H1} - L_{H1} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}) + C_{H1} (Z - z_{H1} - L_{H1} \alpha - L_4 \beta); \\
m_{H2} \ddot{z}_{H2} = \eta_{H2} (\dot{Z} - \dot{z}_{H2} - L_{H2} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}) + C_{H2} (Z - z_{H2} - L_{H2} \alpha - L_4 \beta); \\
M \ddot{Z} = C_{п1} (Z - \xi_1 - L_1 \beta - B_2 \alpha) + C_{п2} (Z - \xi_2 - L_1 \beta - B_1 \alpha) + C_{п3} (Z - \xi_3 - L_2 \beta - B_2 \alpha) + C_{п4} (Z - \xi_4 - L_2 \beta - B_1 \alpha) + \\
+ \eta_{п1} (\dot{Z} - \dot{\xi}_1 - L_1 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + \eta_{п2} (\dot{Z} - \dot{\xi}_2 - L_1 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) + \eta_{п3} (\dot{Z} - \dot{\xi}_3 - L_2 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + \eta_{п4} (\dot{Z} - \dot{\xi}_4 - L_2 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) - \\
- C_C (z_C - Z + L_3 \alpha) - \eta_C (\dot{z}_C - \dot{Z} + L_3 \dot{\alpha}) - \eta_{H1} (\dot{Z} - \dot{z}_{H1} - L_{H1} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}) - C_{H1} (Z - z_{H1} - L_{H1} \alpha - L_4 \beta) - \\
- \eta_{H2} (\dot{Z} - \dot{z}_{H2} - L_{H2} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}) - C_{H2} (Z - z_{H2} - L_{H2} \alpha - L_4 \beta); \\
J_Y \ddot{\alpha} = C_{п3} B_2 (Z - \xi_3 - L_2 \beta - B_2 \alpha) + \eta_{п3} B_2 (\dot{Z} - \dot{\xi}_3 - L_2 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + C_{п4} B_1 (Z - \xi_4 - L_2 \beta - B_1 \alpha) + \\
+ \eta_{п4} B_1 (\dot{Z} - \dot{\xi}_4 - L_2 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) + C_{п1} B_2 (Z - \xi_1 - L_1 \beta - B_2 \alpha) + C_{п2} B_1 (Z - \xi_2 - L_1 \beta - B_1 \alpha) + \\
+ \eta_{п1} B_2 (\dot{Z} - \dot{\xi}_1 - L_1 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + \eta_{п2} B_1 (\dot{Z} - \dot{\xi}_2 - L_1 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) + C_{H1} L_{H1} (Z - z_{H1} - L_{H1} \alpha - L_4 \beta) + \\
+ \eta_{H1} L_{H1} (\dot{Z} - \dot{z}_{H1} - L_{H1} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}) + C_{H2} L_{H2} (Z - z_{H2} - L_{H2} \alpha - L_4 \beta) + \eta_{H2} L_{H2} (\dot{Z} - \dot{z}_{H2} - L_{H2} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}); \\
J_X \ddot{\beta} = C_{п3} L_2 (Z - \xi_3 - L_2 \beta - B_2 \alpha) + \eta_{п3} L_2 (\dot{Z} - \dot{\xi}_3 - L_2 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + C_{п4} L_2 (Z - \xi_4 - L_2 \beta - B_1 \alpha) + \\
+ \eta_{п4} L_2 (\dot{Z} - \dot{\xi}_4 - L_2 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) + C_{п1} L_1 (Z - \xi_1 - L_1 \beta - B_2 \alpha) + C_{п2} L_1 (Z - \xi_2 - L_1 \beta - B_1 \alpha) + \eta_{п1} L_1 (\dot{Z} - \dot{\xi}_1 - L_1 \dot{\beta} - B_2 \dot{\alpha}) + \\
+ \eta_{п2} L_1 (\dot{Z} - \dot{\xi}_2 - L_1 \dot{\beta} - B_1 \dot{\alpha}) + C_{H1} L_4 (Z - z_{H1} - L_{H1} \alpha - L_4 \beta) + \eta_{H1} L_4 (\dot{Z} - \dot{z}_{H1} - L_{H1} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}) + C_C L_3 (z_C - Z - L_3 \alpha) + \\
+ C_{H2} L_4 (Z - z_{H2} - L_{H2} \alpha - L_4 \beta) + \eta_{H2} L_4 (\dot{Z} - \dot{z}_{H2} - L_{H2} \dot{\alpha} - L_4 \dot{\beta}) + \eta_C L_3 (\dot{z}_C - \dot{Z} - L_3 \dot{\alpha}).
\end{cases} \quad (1)$$

В модели колеса мобильного средства приведены к точечной массе m . Корпус мобильного средства считается абсолютно твердым телом и характеризуется массой M , моментом инерции относительно центра тяжести J . Колеса в модели считаются материальными точками, движущимися относительно корпуса вдоль оси OZ . Положение мобильного средства в пространстве характеризуется декартовыми координатами его центра тяжести (X, Y, Z) , а также углами отклонения локальной системы координат от общей базовой (α, β, γ) . Шины задаются упруго-вязким взаимодействием между опорной поверхностью и центром колес. Упругое взаимодействие характеризуется коэффициентом жесткости $c_{ш}$, вязкое взаимодействие характеризуется коэффициентом демпфирования $d_{ш}$.

На основе разработанной математической модели разработана компьютерная программа: «Программа для моделирования вибронегруженности штанг опрыскивателя мобильного средства на шинах сверхнизкого давления». Моделирование производилось при заданных значениях давления воздуха в шинах 40 кПа, уровне загрузки от 100% до 0% и скорости движения от 3 м/с до 12 м/с. В результате получены по отдельным графикам вертикальных ускорений значения максимальной вибрации на сиденье водителя, при движении по опорной поверхности со случайными неровностями (рисунок 2). Дополнительно, исходя из положения штанг опрыскивателя по крайним точкам определена амплитуда колебаний на краях.

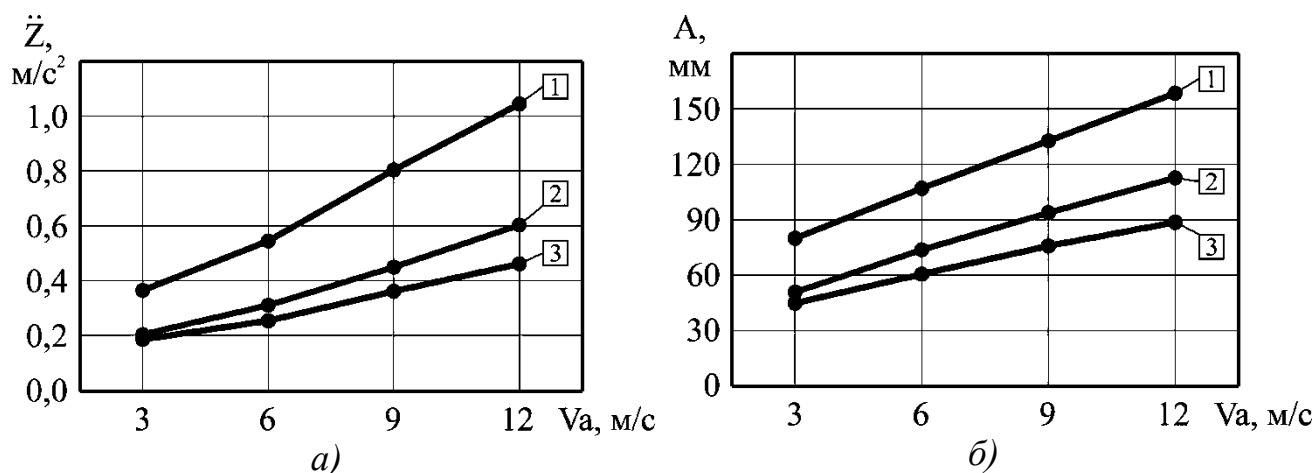


Рисунок 2 – Зависимость вибронгруженности МЭСот скорости движения при уровне заполнения бака: 1 – 0%; 2 – 50%; 3 – 100%.

a – на сиденье; *б* – амплитуда колебаний на краях штанг.

Наибольший уровень вибронгруженности на сиденье оператора наблюдается при полностью пустом баке опрыскивателя (0 % загрузки), который при давлении 40 кПа и скорости движения 12 м/с в 2,26 раза превышает вертикальные ускорения по сравнению с загрузкой 100%. Аналогично и амплитуда колебаний штанг в вертикальной плоскости при уровне заполнения бака 0% превышает в 1,79 раза амплитуду колебаний с загрузкой 100% при скорости движения 12 м/с.

Дополнительно на основе разработанной математической модели разработана компьютерная программа «Программа для моделирования разворота мобильного средства, перевозящего технологическую жидкость». Моделирование производилось при заданных значениях давления воздуха в шинах 40 кПа, уровне загрузки от 100% до 0%, радиусе разворота – 18 м и скорости движения от 1,5 м/с до 7,5 м/с. В результате получили зависимость отклонения вертикального положения края штанги от скорости движения при переменном уровне заполнения бака опрыскивателя (рисунок 3). Из графика видно, что увеличением заполненности бункера технологической жидкостью с 0% до 100 % увеличивается минимальное расстояние отклонения штанги от нейтрального положения с 0,97 до 0,7 м на скорости 6 м/с (рисунок 2.14). Наибольшее уменьшение с 1,03 до 1,3 м наблюдается при скорости 7,5 м/с.



Рисунок 3 – Зависимость отклонения вертикального положения края штанги от скорости движения: 1 – 0%; 2 – 50%; 3 – 100%.

С целью определения воздействия шин сверхнизкого давления на растения был разработан блок математической модели и создана программа «Моделирование взаимодействия шины сверхнизкого давления с растительным

покровом», выполненная SPH-метода конечных элементов, учитывающая параметры шины и растения (рисунок 4). Программа выводит на экран схематичное изображение шины и ряда стеблей растений в двух проекциях, а также текущих значений показателей эффективности процесса. После преодоления колесом ряда стеблей может быть посчитан как коэффициент полеглости, так и доля стеблей, не восстановивших исходную форму. Моделирование стеблей производилось путем разбиения каждого стебля на шарообразные элементы. Взаимодействие элементов между собой носит вязкоупругий характер: как в продольном направлении, так и по отношению к изгибу, что позволяет адекватно учитывать упругость стебля.

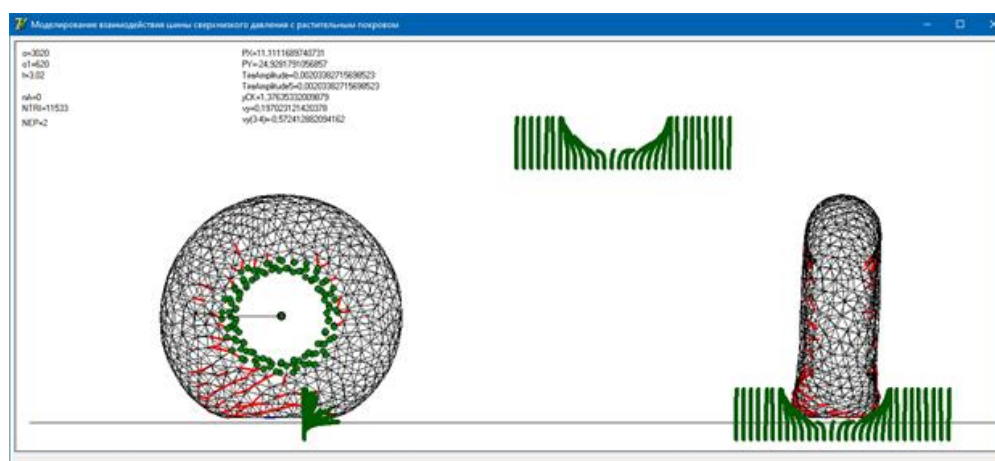


Рисунок 4 – Интерфейс разработанной программы и вывод результатов моделирования на экран компьютера

В эксперименте учитывался многократный проход движителя по одному следу с различными этапами взаимодействия с растительным покровом. В результате получили коэффициент полеглости растений после двухкратного прохода движителя с наименьшим процентом полеглых растений в 60% при давлении 20кПа. Наибольший процент полеглых растений 80 % наблюдается при давлении 80кПа. При давлении 40кПа получено 73 % полеглых растений (рис 5).



Рисунок 5 – Результаты воздействия шин сверхнизкого давления при двухкратном проходе

В третьей главе дана методика проведения лабораторных, лабораторно - полевых и полевых исследований. Стендовые лабораторные испытания проводились с целью получения упругодемпфирующих характеристик шины, упругих элементов подвески, виброизоляторов кабины и координат центра масс объекта исследований, которые в дальнейшем используются для создания имитационной модели виброзащитной системы поддрессоривания МЭС.

Объектом исследований выбрано разработанное мобильное энергетическое средство МЭС-600 на шинах сверхнизкого давления, оборудованное штанговым опрыскивателем (рис. 6). Отличительной особенностью МЭС-600 является, кабина оператора, вынесенная вперёд за ось передних управляемых колёс. МЭС-600 имеет передние и задние управляемые колеса при колёсной формуле 4К4.



Рисунок 6 – Мобильное энергетическое средство МЭС-600

Методика лабораторно-полевых испытаний предусматривала оценку влияния неровностей на колебательную систему мобильного энергетического средства МЭС-600, оборудованного шинами сверхнизкого давления, при проезде через искусственные трапециевидные неровности (рисунок 7 а). При проведении исследований использовался приборный комплекс «АССИСТЕНТ TOTAL» (SIU V3RT) с вибропреобразователем AP38P. Измерялись вертикальные колебания на оси передних колес, на раме и на навеске штанг опрыскивателя. Определение уровня вибрации на сиденье оператора производилось с использованием полужёсткого установочного диска (ПУД), соответствующего ГОСТ ИСО 10326-1. Проведение эксперимента проводилось при давлении воздуха в шинах от 20 кПа до 80 кПа, уровне заполнения бака опрыскивателя от 0% до 100% и скорости движения от 3 м/с до 12 м/с.

Оценка виброзащитных свойств МЭС-600 в полевых условиях при движении по естественному агрофону производилась аналогичным комплексом оборудования, что и при лабораторно-полевых испытаниях (рисунок 7 б).



а



б

Рисунок 7 – Фрагмент проведения исследований вибронгруженности МЭС-600: а – лабораторно-полевой эксперимент; б – полевой эксперимент.

Оценивались показатели среднеквадратичных вертикальных ускорений на поворотной цапфе колес передней оси МЭС, на раме над осью переднего моста, в кабине на сиденье оператора и на навеске штанг опрыскивателя. Уровень давления воздуха в шинах принимался 40 кПа. Показатели уровня заполнения бака опрыскивателя и скорости движения варьировались, соответственно лабораторно-полевым исследованиям. Для оценки вибронгруженности штанг

опрыскивателя дополнительно определили амплитуду колебаний на их краях при движении на прямолинейных и разворотных участках (рисунок 7 б). Скорость движения на разворотных участках (исходя из требований к безопасности) ограничивалась 7,5 м/с. Радиус прохождения поворотов определялся шириной захвата штанг, который составлял 18 м.

Полевые экспериментальные исследования по определению воздействия шин сверхнизкого давления на растения озимой пшеницы в фазе кущения выполнялись на поле одного из сельхозпроизводителей (51.819700, 39.918348) при проведении комплексной технологической операции по защите растений. Выбор времени и даты проведения исследований определялся исходя из производственной необходимости и выбранной агротехнологии предприятия. Проведение полевых экспериментальных исследований и учет количества поврежденных растений производились с 26 марта 2023 года по 06 апреля 2023 года. Технологическая операция проводилась в фазе кущения озимой пшеницы. Высота стояния растений колебалась от 90 до 105 мм. Во время проведения исследований учитывались метеорологические условия и показатели влажности в верхнем горизонте почвы. Степень воздействия ШСНД определялась сравнительно путем подсчета количества и высоты растений до и после прохода колесного движителя на участке делянки с пятикратным повторением площадью 0,25 м², со стороной квадрата 0,5 м. Методика скорректирована с учётом прохождения колесного движителя на разворотных участках.

В четвертой главе приведены результаты исследования влияния конструктивных параметров систем подрессоривания на динамическую нагруженность мобильного средства разбитых на несколько отдельных экспериментов: лабораторные, лабораторно-полевые и полевые.

В лабораторных экспериментах определялись показатели нормальной деформации шины сверхнизкого давления Бел-79 размерности 1020x420-12; жесткости упругих элементов подвески и виброизоляторов кабины мобильного средства и координаты центра масс МЭС-600 при различном уровне заполнения бака установленного опрыскивателя.

Получены зависимости изменения нормальной деформации шины от нагрузки при различном внутреннем давлении воздуха. Для нагрузки на шине $G_z = 500$ кг при давлении воздуха в шине $P_w = 40$ кПа жесткость составила 92,55 кН/м. Также на стенде кафедры автомобилей и сервиса были определены жесткости упругих элементов подвески и виброгасителей кабины мобильного средства. Для упругого элемента подвески получена максимальная жесткость, составившая 65 кН/м при коэффициенте рассеивания энергии $\psi = 0,052$. Для виброизолятора максимальная жесткость составила 348 кН/м с коэффициентом рассеивания энергии $\psi = 0,2$. Результаты лабораторных испытаний мобильного энергетического средства по определению координат центра масс свидетельствуют о смещении координата центра масс МЭС-600 при уменьшении уровня заполнения. Так при уменьшении загрузки со 100% до 0% центр масс, находящийся в 1,032 м от передней оси на высоте 1,36 м, смещается до 0,764 м от оси передних колес по длине и 1,065 м по высоте.

Результаты лабораторно-полевых испытаний по оценке влияния давления воздуха в шинах и скорости движения МЭС-600 на уровень колебаний на сиденье оператора при движении по искусственным неровностям приведены на рисунке 8. Анализ данных зависимостей показывает наличие явно выраженного ступенчатого вида с тремя характерными участками: I – до резонансный; II – резонансный и III – за резонансный.

Результаты испытаний по оценке вибронгруженности непрорессоренных, прорессоренных масс и колебаний на сиденье оператора при движении МЭС-600 по искусственным неровностям с давлением воздуха в шинах 40 кПа при различных скоростных режимах движения и степени заправки бака 0% приведены на рисунке 8.

В диапазоне скоростей от 3 м/с до 6 м/с не зависимо от степени заправки бака технологической жидкостью уровень колебаний на сиденье оператора выше на 30-35%, чем над осью передних колес. При движении со скоростью 4,6 м/с имеет место точка пересечения кривых уровней колебаний на сиденье оператора и на раме над осью передних колес, в точке «А» их уровни колебаний равны, далее с увеличением скорости движения уровень колебаний на сиденье оператора снижается, а на раме над осью передних колес возрастает.

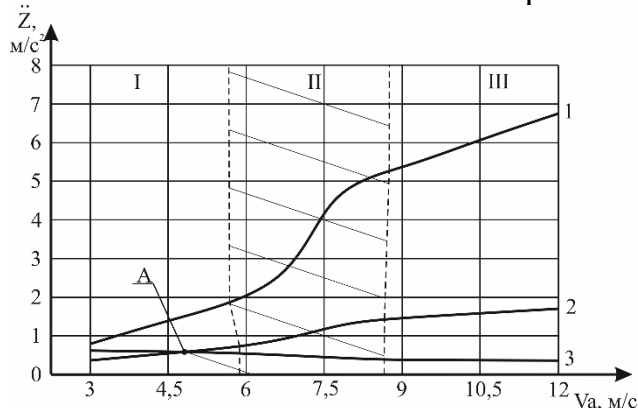


Рисунок 8 – Вертикальное ускорение МЭС-600 при давлении в шинах 40 кПа:
1 – на оси колеса; 2 – на раме над осью;
3 – на сиденье оператора

В резонансной зоне уровень колебаний на оси колеса возрастает в 2,6 раза, а на раме возрастает в 1,9 раза и достигает 0,7 g. При скорости движения 12 м/с уровень колебаний на сиденье оператора, относительно колебаний на оси колеса снижаются до 18,7 раз, а на раме снижается до 5 раз.

Лабораторно-полевые исследования по оценке на вибронгруженность штанг скорости движения МЭС-600 и степени заполнения емкости технологической жидкостью приведены на рисунке 9. Результаты испытаний показали, что степень заполнения емкости технологической жидкостью от 50% до 100% не оказывает существенного влияния на вибронгруженность штанг. Со снижением заполнения емкости технологической жидкостью и увеличением скорости движения уровень колебаний на штангах опрыскивателя пропорционально увеличивается относительно полной заправки. При движении МЭС со скоростью 9 м/с и давления воздуха в шинах 80 кПа уровень колебаний на навеске штанг относительно порожней заправки снижается в 3 раза при заправке емкости на 50%, и в 4,8 раза при полной заправке. При движении МЭС с этой же скоростью, но давлением воздуха в шинах 40 кПа уровень колебаний на навеске штанг относительно порожней заправки снизился в 2,6 раза при заправке емкости на 50%, и в 2,9 раза снизился при полной заправке. Стоит отметить тенденцию снижения максимального вертикального ускорения на навеске штанг

опрыскивателя мобильного энергетического средства в диапазоне скоростей от 3 м/с до 9 м/с и небольшое возрастание в диапазоне от 9 м/с до 12 м/с.

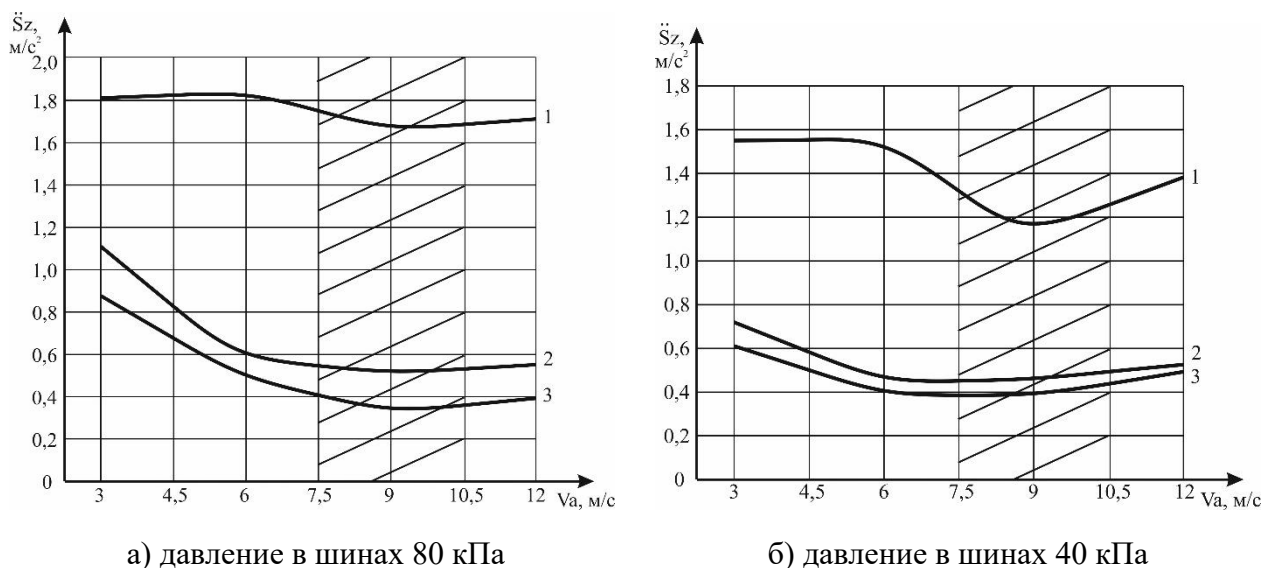


Рисунок 9 – Зависимость вертикального ускорения на навеске штанг от скорости движения при уровне заполнения бака: 1 – 0%; 2 – 50%; 3 – 100%.

Для определения эксплуатационных параметров проведения полевых исследований, выполнили двухфакторную оптимизацию параметров мобильного средства. Критериями оптимизации являются: максимальные вертикальные ускорения в месте расположения сидения водителя, на раме МЭС и на навеске в месте крепления штанг опрыскивателя. Определены параметры аппроксимирующих выражений зависимостей ускорений от скорости движения и на их основе построены картограммы оптимизации. На пересечении всех трех благоприятных областей отдельных картограмм, можно рекомендовать в качестве точечной оценки оптимальных параметров $P_w = 40$ кПа.

В ходе проведения полевых исследований получены зависимость вертикальных ускорений на сиденье оператора от скорости движения при различном заполнении бака опрыскивателя и давлении в шинах давления 40 кПа (рис. 10). Уменьшение загрузки бака со 100% до 50% повышает вертикальные ускорения на скорости 9 м/с в 1,25 раза, а на скорости 12 м/с – в 1,16 раза.

Уменьшение заполнения с 50% до 0% оказывает большее воздействие на вибронагруженность, чем на интервале от 100% до 50%. Так на скорости 9 м/с вертикальные ускорения возрастают в 1,86 раза, а на скорости 12 м/с – в 1,98 раза. При уровне заполнения бака 0% и при переходе со скорости движения с 6 м/с до 9 м/с наблюдается резкое увеличение среднеквадратичных вертикальных ускорений в 1,76 раза.

Получены зависимость амплитуды колебания штанг опрыскивателя от скорости движения при различном уровне заполнения бака опрыскивателя. Наименьшая величина колебаний наблюдается при заполнении технологической емкости 100% на всех скоростях движения (рисунок 11 а).

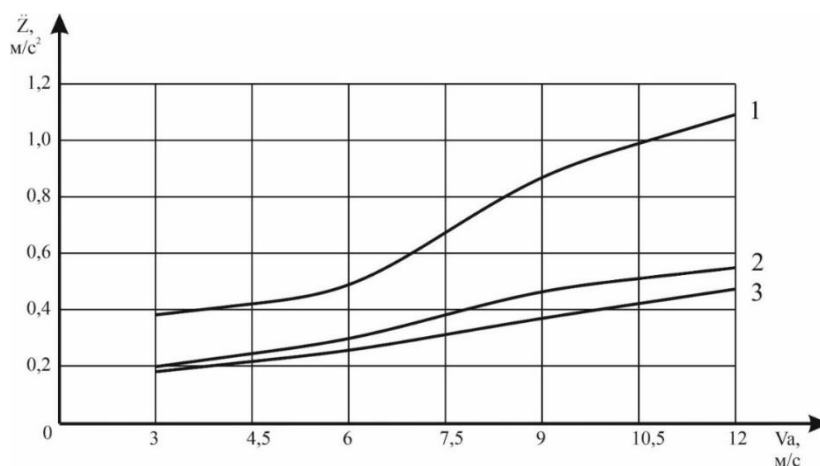


Рисунок 10 – Среднеквадратичные вертикальные ускорения на сиденье оператора самоходного опрыскивателя при движении по естественному фону, давление воздуха в шинах 40кПа: 1 – загрузка бака 0%; 2 – загрузка бака 50%; 3 – загрузка бака 100%.

Скорость движения сопоставима с уровнем заполнения бака опрыскивателя влияет на величину колебаний на краях штанг опрыскивателя. Так на наиболее нагруженном режиме эксплуатации (загрузка 0%) амплитуда колебаний увеличивается в 1,95 раза при увеличении скорости движения с 3 м/с до 12 м/с. В ходе проведения исследований по определению положения штанг на разворотных участках получили зависимость положения краев штанг до опорного основания от скорости движения. Наибольший крен штанг на разворотном участке (рисунок 11 б) наблюдается при полностью заполненном баке. Снижение уровня загрузки до 50% уменьшает увеличивает высоту краев штанг опрыскивателя в 1,18 раза на скорости движения 4,5 м/с, а на скорости 6 м/с – в 1,3 раза. При уменьшении уровня заполнения бака с 50% до 0% положение штанг увеличивается на скорости движения 4,5 м/с в 1,34 раза, а на скорости 6 м/с – в 1,77 раза. Увеличение скорости движения с 1,5 м/с до 6 м/с при уровне загрузки 100% уменьшает положение краев штанг в 4,25 раза.

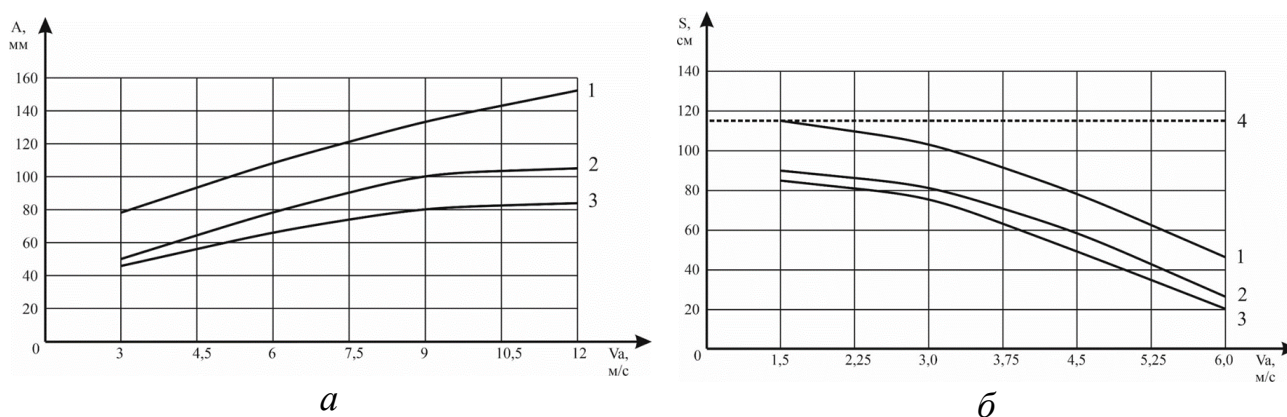


Рисунок 11 – Амплитуда колебаний на краях штанг (а) и положение штанг на разворотном участке (б) самоходного опрыскивателя при движении по естественному фону, давление воздуха в шинах 40кПа: 1 – загрузка бака 0%; 2 – загрузка бака 50%; 3 – загрузка бака 100%; 4 – нейтральное положение.

С целью определения воздействия шин сверхнизкого давления БЕЛ-79 на культурные растения в ранний весенний период были проведены полевые

исследования. По результатам проведенных исследований, не выявлено отрицательного действия шин сверхнизкого давления БЕЛ-79 на растения озимой пшеницы в фазе кущения на почвах со средней влажностью 33,4% как на прямолинейных участках, так и в зонах разворотных полос. Воздействие шин сверхнизкого давления МЭС-600 на растения в фазе их кущения не проявляется к моменту уборки.



а

б

Рисунок 12 – След колесного движителя на поле:

а – поле после внесения удобрений; б – через 10 дней после внесения удобрений

Для проверки адекватности разработанной программы и составленной динамической модели МЭС сравнили полученные теоретические (по результатам проведенного компьютерного эксперимента) и экспериментальные зависимости. Приведены ускорения на сиденье оператора (рисунок 16 а), при различном уровне заполнения бака опрыскивателя и давлении в шинах сверхнизкого давления 40 кПа. Наибольшее расхождение в результатах наблюдается при загрузке бака 50% и скорости движения 9 м/с, составляющее 9,32%. Дополнительно проверена адекватность модели взаимодействия шин сверхнизкого давления (ШСНД) с растениями на мобильном средстве МЭС-600 (рисунок 13 б). Наибольшее расхождение в результатах наблюдается при давлении воздуха в шинах 40 кПа, составляющее 5,48%.

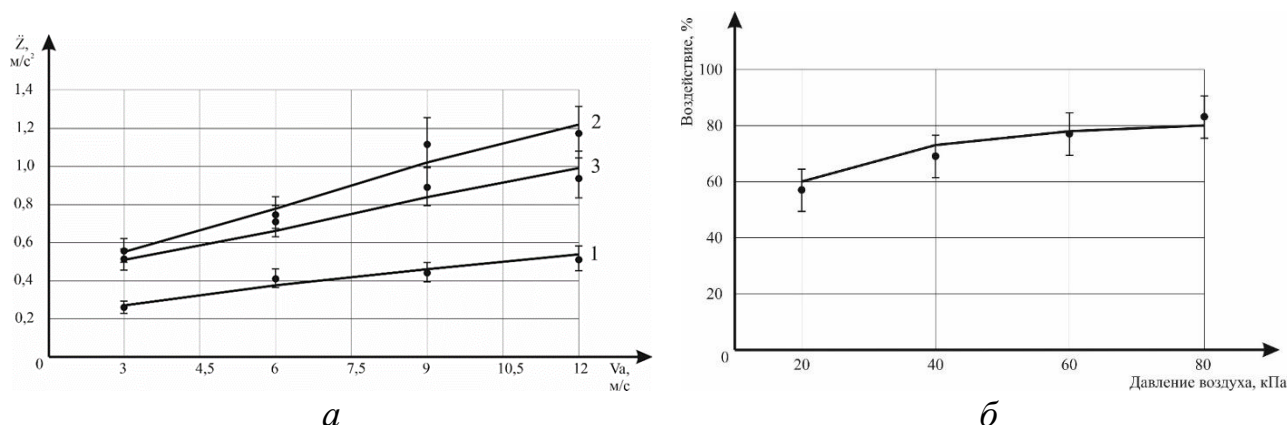


Рисунок 13 – Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей (точками указаны экспериментально полученные значения): а – вертикальные ускорения на сиденье оператора (1 – загрузка бака 0%; 2 – загрузка бака 50%; 3 – загрузка бака 100%); б – воздействия шин сверхнизкого давления на растения

В пятой главе дана оценка целесообразности применения шин сверхнизкого давления в конструкциях энергетических средств от уменьшения воздействия двигателя на растительный покров и повышению производительности МЭС. Применение МЭС, оборудованных шинами сверхнизкого давления, с использованием рекомендаций, изложенных в данной работе, позволяет повысить сменную производительность на 5,63%, что приводит к годовой экономии совокупных затрат денежных средств на 198,7 тыс. руб. в расчете на 1000 га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснованы параметры и режимы работы двухосных мобильных энергетических средств на шинах сверхнизкого давления для агропредприятий малых форм хозяйствования. Разработано и изготовлено мобильное энергетическое средство с колесной формулой 4К4, оборудованное шинами сверхнизкого давления, обеспечивающее высокую годовую загрузку в сельскохозяйственном производстве, отвечающее требованиям выполнять агротехнологические операции на почвах с низкой несущей способностью.

2. Разработана математическая модель мобильного энергетического средства на шинах сверхнизкого давления, оборудованного штанговым опрыскивателем, учитывающая упругие и рассеивающие характеристики шин сверхнизкого давления, подвески средства и сиденья оператора, а также массово-инерционные характеристики штанг и переменную массу технологической жидкости. Достоверность проведенных результатов аналитических исследований подтверждается их согласованием с результатами экспериментальных исследований с расхождением на сиденье оператора не более 10%.

3. Разработан блок математической модели «Воздействия колесного двигателя на растительный покров», выполненная SPH-метода конечных элементов, учитывающая параметры шины и растения. Моделированием процесса взаимодействия шины с растениями получили коэффициент полеглости растений после двукратного прохода двигателя при различном внутреннем давлении воздуха в шинах. Процент полеглых растений в 73% получено при давлении 40кПа. Результаты проведенных полевых исследований указывают на отсутствие отрицательного действия шин сверхнизкого давления на растения озимой пшеницы в фазе кущения на переувлажненных почвах со средней влажностью 32%, что позволяет исключить необходимость создания технологической колеи на поле. Достоверность результатов подтверждается тем, что результаты проведенных аналитических исследований согласуются с результатами экспериментальных исследований с расхождением более 5,48%

4. Установлено, что вариант компоновки МЭС-600 с выносом кабины оператора за ось передних колес, оборудованного шинами сверхнизкого давления с независимой подвеской, позволяет качественно изменить характер уровня колебаний его динамической системы. Характеристики вертикальных ускорений имеют в до резонансной и за резонансной зонах линейную

зависимость, а в резонансной зоне – прогрессивно-регрессивную зависимость. Наибольшее влияние на величину колебаний МЭС-600 оказывают изменение давления воздуха в шинах сверхнизкого давления и скорость движения.

5. Экспериментально установлено, что при скоростных режимах движения от 3 м/с до 12 м/с уровень колебаний на сиденье оператора находится в диапазоне от 0,063 g до 0,037 g и не превышает нормативных показателей. Установлено, что введение локального подрессоривания сиденья оператора не целесообразно при компоновочной схеме, где кабина оператора вынесена за ось передних колес.

6. Результаты испытаний на искусственных неровностях показали, что динамическая система МЭС-600 обладает высокими виброзащитными свойствами: при полной заправке и при 50% заправке бака уровень колебаний над передним мостом снизился в пять раз, а при движении в порожнем состоянии снизился в 3,7 раза, относительно колебаний на оси колеса; на сиденье оператора при различных заправках бака уровень колебаний снизился в среднем от 3,1 до 4,5 раз, относительно колебаний над передним мостом.

7. На основании результатов проведенных экспериментальных исследований установлено, что самым вибронегруженным для штанг опрыскивателя является режим движения в порожнем состоянии. Снижение уровня заполнения технологической жидкостью в баке опрыскивателя с полной 100% до 50% не оказывает существенного влияния на вибронегруженность. Наибольшая вибронегруженность имеет место в диапазоне заправок от 50% до порожнего состояния. Минимальный уровень колебаний на штангах опрыскивателя имеет место в диапазоне скоростей 7,5 – 10,5 м/с. Снижение давления воздуха в шинах сверхнизкого давления оказывает щадящее действие на вибронегруженность штанг. Снижение давления воздуха в шинах с 80 кПа до 20 кПа позволяет снизить вибронегруженность штанг в 2,8 раза. Проведённые исследования показывают, что при движении по единичным неровностям в диапазоне скоростей от 3 м/с до 12 м/с штанги опрыскивателя устойчиво находились в горизонтальном положении, интенсивных колебаний и резонансных режимов секций не наблюдались.

8. Результаты полевых исследований свидетельствуют о значительном влиянии уровня заполнения бака и давления воздуха в шинах на вибронегруженность штанг опрыскивателя. Наибольшая амплитуда колебаний при движении по прямолинейным участкам естественного агрофона отмечена с загрузкой бака 0%, обусловленной низкочастотными колебаниями на навеске штанг. Амплитуда колебаний при скорости движения 9 м/с достигает 133 мм. Наибольшая безопасная скорость прохождения разворотных участков МЭС-600 с радиусом разворота 18 м ограничивается 6 м/с. Снижение изначального положения штанг до опорного основания снижает максимально допустимую скорость движения.

9. Снижение внутреннего давления воздуха в шинах позволяет значительно снизить воздействие на растения колосовых культур. Уменьшение давления с 80 кПа до 20 кПа на практике позволяет снизить воздействие на культурные растения на 46%. Оценка взаимодействия вращающегося

двигателя мобильного средства и растения возможна с использованием разработанной программы. Программа обладает высокой достоверностью при условии исследования воздействия высокоэластичных широкопрофильных шин и растений колосовых культур в фазе кущения.

10. Оценка экономической эффективности показала, что применение изложенных в данной работе рекомендаций по регулированию давления воздуха в шинах МЭС позволяет повысить сменную производительность на 5.63%, годовая экономия совокупных затрат денежных средств на 198,7 тыс. руб. в расчете на 1000 га.

11. Разработанное МЭС-600 является платформой для создания семейства отечественных высоко производительных мобильных энергосредств нового поколения для выполнения широкого спектра сельскохозяйственных работ, обеспечивающих значительную годовую загрузку в сельскохозяйственном производстве.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты проведенных исследований в работе позволяют на стадии проектирования добиться необходимых эксплуатационных показателей для самоходных мобильных энергетических средств (МЭС) с колесной формулой 4К4, оборудованных штанговым опрыскивателем. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и создании самоходных МЭС сельскохозяйственного назначения, предназначенных для эксплуатации в условиях низкой несущей способности почв. Для дальнейшего изучения данной тематики необходима разработка комплекса самоходных роботизированных мобильных средств и соответствующих алгоритмов управления, в том числе выполненных на основе нейронных сетей. Подобные МЭС должны отвечать требованиям универсальности применения, обеспечения высокой годовой загрузки и возможности эксплуатации на слабонесущих грунтах.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ

Публикации в изданиях. Рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ по специальности:

1. Годжаев З.А. Перспективные мобильные средства на шинах сверхнизкого давления для сельскохозяйственного производства [Текст] / З.А. Годжаев, В.И. Прядкин, П.А. Колядин, А.В. Артемов // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89. – №4. – С. 277-286. doi: 10.17816/0321-4443-115016

2. Прядкин В.И. Вибронагруженность штанг самоходного опрыскивателя на шинах сверхнизкого давления [Текст] / В.И. Прядкин, П.А. Колядин // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90. – №6. – С. 543-550. doi: 10.17816/0321-4443-567796

Публикации в международных индексируемых в WoS, SCOPUS изданиях:

1. Pryadkin V. Estimation of energy consumption for rolling a mobile vehicle equipped with ultra-low-pressure tires / V. Pryadkin, A. Artyomov, P. Kolyadin, N.

Bakach // E3S Web of Conferences International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021). Volume 285 (2021). Published online: 06 July 2021 DOI: doi: 10.1051/e3sconf/202128507023. SJR – 0.415.

2. Pryadkin V. Mobile vehicles with extra-low pressure tires in the transport infrastructure of the Arctic region and northern territories of the Russian Federation / V. Pryadkin, A. Artyomov, P. Kolyadin // Transportation Research Procedia. International conference of Arctic transport. Volume 57, 2021, Pages 502-510doi: 10.1016/j.trpro.2021.09.078

Публикации в прочих изданиях

1. Прядкин, В.И. Моделирование плавности хода мобильного средства малой грузоподъемности, оборудованного шинами сверхнизкого давления [Текст] / В.И. Прядкин, П.А. Колядин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика.– Воронеж, 2018. – Т. 6, № 7 (43). – С. 252-256.

2. Колядин, П.А. Моделирование плавности хода мобильного энергетического средства с распределением подрессоренной массы по осям [Электронный ресурс] / П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 4, № 4 (26). – С. 105-110. – Режим доступа: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/4-4-26-2018/105-110.pdf>.

3. Колядин, П.А. Моделирование автомобиля ГАЗ-33081 с применением упругих элементов с разной характеристикой [Электронный ресурс] / П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 3, № 3 (25). – С. 79-84. – Режим доступа: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/3-3-25-2018/79-84.pdf>.

4. Колядин, П.А. Анализ современных и перспективных систем подрессоривания мобильных средств / П. А. Колядин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2019. – Т. 7, № 3 (46). – С. 117-121.

5. Колядин, П. А. Моделирование динамических нагрузок в трансмиссии мобильного энергетического средства [Электронный ресурс] / П. А. Колядин // Воронежский научно-технический вестник. – 2019. – Т. 2, № 2 (28). – С. 114-118. – URL: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2019/2-28-2019/114-118.pdf>.

6. Колядин, П.А. Уточненная модель динамической системы мобильного средства с применением элементов подрессоривания кабины оператора [Электронный ресурс] / П.А. Колядин // Воронежский научно-технический вестник. – 2019. – Т. 1, № 1 (27). – С. 53-59. – Режим доступа: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2019/1-27-2019/53-59.pdf>.

7. Гончаренко, С.В. Экспериментальная оценка характеристик шины сверхнизкого давления 1020x420-18 модели Бел-79 [Текст] / С.В. Гончаренко, А.В. Артемов, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ-2019). – Воронеж, 2019. – С. 35-36.

8. Колядин, П.А. К вопросу моделирования автомобильных систем подрессоривания [Текст] / П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. – Воронеж, 2019. – С. 121-125.

9. Колядин, П.А. Оценка упругодемпфирующей характеристики подвески сиденья водителя грузового автомобиля [Электронный ресурс] / П.А. Колядин, А.В. Артемов, В.И. Прядкин // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1 (2). – С. 403-408.

10. Колядин, П.А. Оценка виброн нагруженности подвески сиденья грузового автомобиля [Электронный ресурс] / П.А. Колядин, А.В. Артемов, В.И. Прядкин // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1 (2). – С. 397-402.

11. Колядин, П.А. Моделирование системы поддрессоривания сиденья грузового автомобиля [Электронный ресурс] / П.А. Колядин, А.В. Артемов, В.И. Прядкин // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1 (2). – С. 391-396.

12. Колядин, П.А. Виброн нагруженность сиденья грузового автомобиля при движении по единичной неровности [Электронный ресурс] / П.А. Колядин, А.В. Артемов, Е.Ю. Посыльная, В.И. Прядкин // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1 (2). – С. 384-390.

13. Артемов, А.В. Оценка экологических показателей поворота колесной машины на шинах сверхнизкого давления [Электронный ресурс] / А.В. Артемов, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1 (2). – С. 310-314.

14. Артемов, А.В. Экспериментальная оценка момента инерции шин сверхнизкого давления [Электронный ресурс] / А.В. Артемов, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1 (2). – С. 284-290.

15. Варгасов, А.С. Моделирование движения мобильного средства, перевозящего жидкость в баке [Электронный ресурс] / А.С. Варгасов, В.И. Прядкин, П.А. Колядин, А.В. Артемов // Воронежский научно-технический вестник. – 2020. – Т. 2, № 2 (32). – С. 145-150. - <http://vestnikvgtlta.ru/arhiv/2020/2-32-2020/145-150-.pdf>.

16. Колядин, П.А. Моделирование мобильного средства на шинах сверхнизкого давления малой грузоподъемности [Текст] / П.А. Колядин, Н.С. Попова // Европейский научный форум студентов и учащихся. – Петрозаводск, 2020. – С. 75-78.

17. Артемов, А.В. Тягово-сцепные качества движителей мобильных энергосредств и эффективные пути повышения [Текст] / А.В. Артемов, С.В. Гончаренко, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. – Воронеж, 2020. – С. 187-192.

18. Гончаренко, С.В. Методика выбора параметров шин сверхнизкого давления по величине давления на почву [Текст] / С. В. Гончаренко, А. В. Артемов, П. А. Колядин, В. И. Прядкин // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. – Воронеж, 2020. – С. 106-110.

19. Артемов, А.В. Обоснование применения систем управления динамикой криволинейного движения МЭС на шинах сверхнизкого давления [Электронный

ресурс] / А.В. Артемов, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2021. – № 1 (3). – С. 49-54.

20. Колядин, П.А. Моделирование процесса поворота мобильного энергетического средства на шинах сверхнизкого давления [Текст] / П.А. Колядин, В.И. Прядкин, А.В. Артемов, М.А. Губанов // Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий. – Воронеж, 2021. – С. 12-18. - DOI: 10.34220/PRTOPT2021_12-18.

21. Колядин, П.А. Экспериментальная оценка вибронагруженности штанг опрыскивателя МЭС-600 на шинах сверхнизкого давления [Текст] / П.А. Колядин, А.В. Школьных // Роботизированные и автоматизированные системы в автомобиле- и тракторостроении, материалы Всероссийской научной конференции. – Воронеж, 2022. – С. 91-95. DOI: 10.58168/RASCTB2022_91-95.

22. Колядин, П.А. Расчетно-экспериментальное определение характеристик упругих элементов виброзащитной системы автомобиля [Текст] / П.А. Колядин, В.Ю. Татаринцев, Е.Г. Рубцов, В.И. Прядкин // Проблемы и перспективы конструктивного совершенствования отечественного автомобилестроения, материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Воронеж, 2023. – С. 86-93. DOI: 10.58168/AutIndustry2023_86-93.

23. Артемов, А.В. Применение адаптивных колесных движителей в конструкции мобильных энергосредств сельскохозяйственного назначения [Текст] / А.В. Артемов, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2024. – №16. – С. 30-34. DOI: 10.26160/2309-8864-2024-16-30-34.

Свидетельства, патенты на изобретение и полезные модели РФ

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618418 РФ. Программа для моделирования режима торможения мобильного средства : № 2020617563 : заявл. 14.07.2020 :опубл. 27.07.2020 / Прядкин Владимир Ильич, Артемов Артем Владимирович, Колядин Павел Александрович, Посметьев Виктор Валерьевич ; правообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – 2020. – 31 Кб. – Язык программирования: Object Pascal среды Borland Delphi 7.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618425 РФ. Программа для моделирования режима криволинейного движения шины мобильного средства : № 2020617551 : заявл. 14.07.2020 : опубл. 28.07.2020 / Прядкин Владимир Ильич, Артемов Артем Владимирович, Колядин Павел Александрович, Посметьев Виктор Валерьевич; правообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – 2020. – 26 Кб. – Язык программирования: Object Pascal среды Borland Delphi 7.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619071 РФ. Программа для моделирования и исследования плавности хода мобильного средства, оборудованного шинами сверхнизкого давления : № 2020617539 : заявл. 14.07.2020 : опубл. 10.08.2020 / Прядкин Владимир Ильич,

Артемов Артем Владимирович, Колядин Павел Александрович, Посметьев Виктор Валерьевич ; правообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – 2020. – 12 Кб. – Язык программирования: Object Pascal среды Borland Delphi 7.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661823 РФ. Программа для моделирования вибронагруженности мобильного средства на шинах сверхнизкого давления при работе с переменным объемом технологической жидкости :№ 2020661038 : заявл. 24.09.2020 :опубл. 01.10.2020 / Прядкин Владимир Ильич, Артемов Артем Владимирович, Колядин Павел Александрович, Посметьев Виктор Валерьевич ;правообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – 2020. – 16 Кб. – Язык программирования: Object Pascal среды Borland Delphi 7.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663261 РФ. Программа для моделирования маневренности мобильного средства, оборудованного шинами сверхнизкого давления, при различном объеме технологической жидкости :№ 2021662453 : заявл. 04.08.2021 : опубл. 13.08.2021/ Прядкин Владимир Ильич, Артемов Артем Владимирович, Колядин Павел Александрович, Посметьев Виктор Валерьевич, Губанов Максим Алексеевич; правообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – 2021. – 34 Кб. – Язык программирования: Object Pascal среды Borland Delphi 7.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619267 РФ. Программа для моделирования движения оборудованного шинами сверхнизкого давления мобильного средства с опрыскивателем :№ 2023618680 : заявл. 06.05.2023 : опубл. 06.05.2023/ Прядкин Владимир Ильич, Артемов Артем Владимирович, Колядин Павел Александрович, Посметьев Виктор Валерьевич; правообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – 2023. –27 Кб. – Язык программирования: Object Pascal среды Borland Delphi 7.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025668123 РФ. Программа для моделирования воздействия шины сверхнизкого давления мобильного транспортного средства на растительный покров : :№ 2025666647 : заявл. 13.06.2025 : опубл. 10.07.2025 / Прядкин Владимир Ильич, Колядин Павел Александрович, Посметьев Виктор Валерьевич; правообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – 2025. – Язык программирования: Object Pascal среды Borland Delphi 7.