

На правах рукописи



Лощенко Алексей Владиславович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДВЕСКИ СИДЕНЬЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА**
05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный руководитель Заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор,
Поливаев Олег Иванович

Официальные оппоненты: **Ляшенко Михаил Вольфредович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»;
Устинов Юрий Федорович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова.

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет».**

Защита состоится 22 сентября 2022 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=10048>.

Автореферат разослан 19 августа 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современных условиях развитие сельского хозяйства возможно за счет интенсификации производства на основе комплексной механизации и повышения энерговооруженности, в частности улучшения агротехнических, технологических и общетехнических показателей машинно-тракторных (МТА) и тракторно-транспортных агрегатов (ТТА). Однако создание более скоростных мобильных энергетических средств повышенной мощности приводит к увеличению вибрационной нагруженности рабочего места оператора.

Развитие сельского хозяйства также влечет за собой увеличение объема транспортировки грузов внутри хозяйств. Для выполнения данной работы используется как автомобильный транспорт, так и ТТА на базе колесных тракторов повышенной проходимости. Анализ, проведенный экспертами Всероссийского научно-исследовательского института сельского хозяйства, показал, что доля транспортных работ, выполняемых ТТА, составляет 40–60% от общего объема перевозок. При этом увеличение рабочих скоростей движения сопровождается повышением вибрационного воздействия на оператора, что приводит к повышенной утомляемости и, как следствие, снижению производительности, качества выполняемой работы, возникновению опасных дорожных ситуаций. Таким образом, условия труда оператора в значительной мере влияют на производительность тракторно-транспортного агрегата.

Исходя из вышесказанного, одним из актуальных направлений совершенствования ТТА является повышение их производительности за счет снижения вредного воздействия транспортной вибрации и создания комфортных и безопасных условий труда оператора. Наиболее перспективным решением является применение поддресоренного сиденья. Системы поддресоривания, в которых характеристики упругих и демпфирующих элементов остаются неизменными, так называемые пассивные, на сегодняшний день сдерживают рост производительности ТТА при выполнении технологических и транспортных операций.

В связи с этим создание и разработка виброзащитной системы, которая изменяет свои характеристики в зависимости от изменения поверхности движения, колебаний крюковой нагрузки и двигателя является актуальной проблемой.

Диссертационная работа выполнена в рамках НИР агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», п.п. 2 «Инновационные направления совершенствования мобильных энергетических средств», утвержденной ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Проведенный анализ опубликованных работ показал, что снижению повышенных вибрационных нагрузок на оператора транспортно-тракторных агрегатов (ТТА) посвящены исследования таких ученых, как Р.А. Акопян, А.Д. Артюшенко, З.А. Годжаев, М.М. Жилейкин, М.В. Ляшенко, В.В. Новиков, А.М. Певзнер, О.И. Поливаев, Д.Г. Рандин, Р.В.

Ротенберг, Ю.Ф. Устинов, В.И. Чернышев, К.В. Чернышов, В.В. Шеховцов и др. В используемых образцах техники для снижения вибрационной нагруженности оператора ТГА используются подвески, состоящие из упругих и демпфирующих элементов, выполненных из металлических, пневматических и гидравлических элементов. Однако, несмотря на значительное количество опубликованных научных работ, не все аспекты проблемы снижения вибрационной нагруженности рабочего места оператора остаются решенными, что обусловлено высокой сложностью анализа формирования и распространения колебательных процессов в ТГА. В таких система недостаточно проработан выбор рациональных упругодемпфирующих характеристик и систем их управления в различных условиях движения ТГА. На основании изучения существующих подвесок сидений были выявлены их преимущества и недостатки, а также определено влияние вибрационной нагруженности на условия труда оператора и производительность тракторно-транспортного агрегата.

Цель диссертационной работы: снижение вибрационной нагруженности оператора сельскохозяйственного трактора при выполнении транспортных работ посредством применения адаптивной подвески сиденья.

Объектом исследования является тракторно-транспортный агрегат в составе трактора Belarus 1221.2 + 2ПТС6 с серийной и опытной подвеской сиденья.

Предмет исследования: закономерности изменения значений виброускорений в октавных полосах частот сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора при выполнении им транспортных операций.

Задачи исследования:

- 1) усовершенствовать математическую модель вертикальных колебаний колесного ТГА для оценки эффективности применения подвески сиденья;
- 2) обосновать новое техническое решение, обеспечивающее реализацию рациональной характеристики подвески сиденья;
- 3) разработать методику расчета рациональных объемов пневмогидравлических аккумуляторов адаптивной подвески сиденья;
- 4) установить закономерности изменений вертикальных ускорений при движении ТГА в условиях эксплуатации с серийной и опытной подвесками сиденья.

Научная новизна работы:

- 1) усовершенствованная математическая модель вертикальных колебаний колесного ТГА, отличающаяся учетом изменения скорости движения и характеристик подвески сиденья;
- 2) разработано новое техническое решение, обеспечивающее реализацию рациональной характеристики подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора, отличающаяся тем, что подвеска дополнительно снабжена двумя гидропневматическими аккумуляторами, первый гидравлической полостью связан со штоковой полостью гидроцилиндра, посредством регулируемого дросселя, второй гидравлической полостью через блокировочный клапан связан с поршневой полостью гидроцилиндра, а его пневматическая полость, также через блокировочный клапан, соединена с клапаном нагнетания и

сброса давления воздуха, блокировочные клапаны выполнены с возможностью взаимодействия с электронным блоком управления;

3) предложена методика выбора объемов пневмогидравлических аккумуляторов, отличающаяся тем, что учитывает характеристики подвески сиденья сельскохозяйственного колесного трактора;

4) теоретически установлены и экспериментально подтверждены закономерности изменения уровней вертикальных ускорений в октавных полосах частот сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора, отличающиеся учетом рациональной характеристики адаптивной подвески сиденья.

Теоретическая значимость работы заключается в усовершенствовании математической модели вертикальных колебаний колесного ТТА, установлении влияния адаптивной подвески сиденья на показатели вибронгруженности оператора ТТА, выявлении закономерностей изменения уровней вертикальных ускорений в октавных полосах частот сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора.

Практическую значимость техническое решение конструкции подвески сиденья, позволяющее снизить уровни вертикальных ускорений сиденья оператора, что обеспечивает повышение рабочих скоростей движения ТТА; рациональная характеристика адаптивной подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора.

Методология и методы исследования. Теоретическое исследование произведено на основе методов математического моделирования и классической механики. Лабораторные эксперименты поставлены на основе апробированных методик, для проведения которых была разработана лабораторная установка для исследования характеристик тензовиброакселерометров. Измерения проводили сертифицированными и поверенными приборами. При проведении расчетов и обработке результатов эксперимента использовали современные компьютеры и применяли программное обеспечение: Microsoft Excel, Mathcad.

Положения, выносимые на защиту:

1) математическая модель вертикальных колебаний колесного ТТА, позволяющая оценить уровень воздействия вертикальных ускорений на оператора и рассчитать допустимую скорость движения по вибронгруженности в определенных условиях;

2) техническое решение, обеспечивающее реализацию рациональной характеристики подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора;

3) методика выбора объемов пневмогидравлических аккумуляторов адаптивной подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора;

4) закономерности изменения уровней вертикальных ускорений в октавных полосах частот, воздействующих на оператора сельскохозяйственного колесного трактора, позволяющие установить диапазоны наибольшей эффективности применения адаптивной подвески сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты получены с применением современных теоретических подходов, методов математиче-

ского анализа, теории движения машин, математического моделирования, апробированных методик выполнения экспериментальных исследований.

Достоверность результатов подтверждается методологической базой исследований, применением методов математического моделирования, использованием современных средств вычислительной техники, поверенных измерительных приборов, сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также результатами внедрения в производство.

Результаты диссертационной работы приняты и внедрены в ООО «Брянский тракторный завод» и используются при выборе конструктивных параметров подвесок сиденья, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ при обучении по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 35.03.06 «Технические системы в агробизнесе».

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2018 по 2021 г. на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, а также на международных, всероссийских и национальных научных конференциях.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели, задач и выборе методов исследований, разработке программы и методики экспериментальных исследований, разработке лабораторной установки, проведении опытов, выполненных лично автором; получении аналитических зависимостей и проведении расчетов, обработке результатов эксперимента, подготовке публикаций по теме диссертации, выполненных при участии автора.

Публикации. Основные положения и результаты диссертационного исследования нашли отражение в 26 научных работах, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано пять работ, 15 – в сборниках материалов научных конференций, получено шесть патентов РФ. Общий объем публикаций составляет 7,3 п.л., из них личный вклад соискателя 2,5 п.л.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 94 рисунка и 16 таблиц, заключения, списка литературы, включающего 120 наименований, 9 приложений. Объем диссертации – 192 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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 значимость 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 разделе 1 «Анализ научных работ известных конструкций подвесок сидений колесных тракторов» представлен механизм возникновения и анализ колебаний, воздействующих на операторов колесных тракторов и приведены требования стандартов, регламентирующих допустимый уровень вибрации на рабочем месте, превышение которого может вызывать ухудшение состояния

здоровья операторов и значительно снижать комфортабельность их труда. Проведенный обзор научных работ и литературных источников показал, что основными направлениями развития сельскохозяйственных колесных тракторов являются повышение энергоемкости и скорости движения, что неизбежно приводит к возрастанию уровня вибрационной нагруженности рабочего места оператора. При длительном воздействии повышенного уровня транспортной вибрации на организм человека снижается производительность и качество его труда, ухудшается скорость реакции, что особенно опасно при выполнении транспортных работ, так как может стать причиной возникновения ДТП. Также, согласно статистическим данным, уровень профессиональной заболеваемости, а именно вибрационной болезни среди механизаторов имеющих продолжительный стаж работы (не менее 10 лет) составляет более 50%.

В настоящее время используются следующие конструктивные способы защиты операторов ТТА от транспортной вибрации: применение пневматических шин, подрессоривание мостов и кабины, а также использование эффективной подвески сиденья.

На сегодняшний день чаще всего применяются лишь пневматические шины и подвески сиденья. Остальные технические решения не находят широкого распространения так как их использование связано чрезмерным усложнением базовых конструкций тракторов. С учетом вышесказанного разработка высокоэффективных подвесок сиденья для колесных тракторов сельскохозяйственного назначения является актуальной задачей.

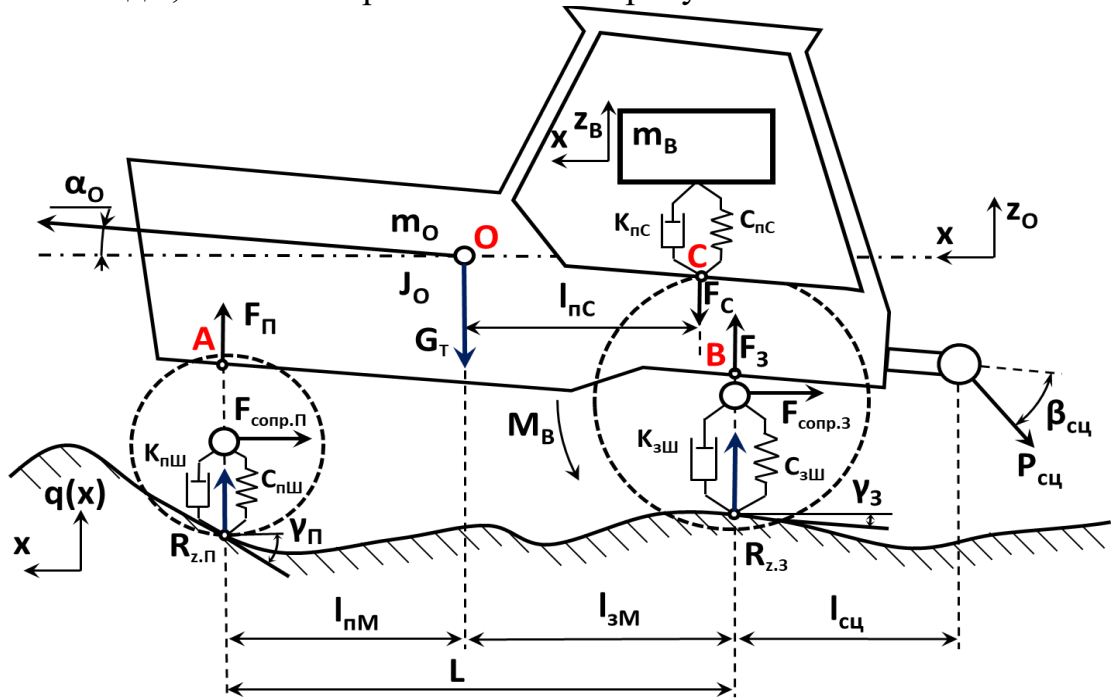
Согласно исследованиям М. В. Ляшенко, З. А. Годжаева, В. И. Чернышова, Д. Г. Рандина и др. среди всех известных типов систем подрессоривания наибольшую эффективность обеспечивают системы адаптивного, полуактивного и активного типов. Однако, системы активного типа имеют сложную конструкцию и затрачивают большое количество энергии из-за чего не находят широкого применения, кроме этого они имеют высокую стоимость. Промежуточным вариантом по эффективности виброзащиты оператора является использование адаптивных и полуактивных систем, при этом применение полуактивных систем с магнитореологическими амортизаторами, пока не находят широкого применения из за сложности как самой конструкции, так и системы ее управления. Повышение эффективности применения адаптивных систем возможно за счет использования пневмогидравлических аккумуляторов, однако, в таких системах недостаточно проработан вопрос выбора их характеристик и способа управления упругодемпфирующими свойствами, в зависимости от условий работы ТТА.

В разделе 2 «Теоретические исследования процесса движения тракторно-транспортного агрегата»: представлена разработанная математическая модель вертикальных колебаний ТТА, а также предложена методика определения рациональных объёмов ПГА и способ управления упругодемпфирующей характеристикой адаптивной подвески сиденья.

Разработками математических моделей вертикальных колебаний колесных транспортных средств занимались отечественные и зарубежные ученые: Ю.Е. Атаманов, Р.В. Ротенберг, А.А. Хачатуров, А.А. Силаев, М.В. Ляшенко, Ю.В., Волошин, О.В. Фоминова, А.Ю. Юшин, Д.Г. Рандин, J.C. Dixon и др.

Следует заметить, что данные математические модели, как правило, содержат ряд допущений, таких как постоянство скорости движения вдоль оси X, отсутствие крукового усилия, характеристики двигателя и некоторых других.

Колесный ТГА представляет собой колебательную систему с четырьмя степенями свободы, схема которой показана на рисунке 1.1.



Математическая модель может быть представлена в виде обобщенной 4-х массовой системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_0 \cdot \frac{d^2 z_0}{dt^2} = F_{\Pi} + F_3 - F_C - P_{сц} \cdot \sin(\beta_{сц} + \alpha_0); \\ J_0 \cdot \frac{d^2 \alpha_0}{dt^2} = -F_{\Pi} \cdot l_{\Pi M} + F_3 \cdot l_{3M} - F_C \cdot l_{\Pi C} - P_{сц} \cdot \sin(\beta_{сц} + \alpha_0) \cdot (l_{3M} + l_{сц}) + \\ \quad + P_{сц} \cdot \cos(\beta_{сц} + \alpha_0) \cdot h_{сц}; \\ m_B \cdot \frac{d^2 z_B}{dt^2} = F_C; \\ m_0 \cdot \delta_{вр} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = P_K \cdot \cos(\gamma_3) - F_{сопр.П} - F_{сопр.З} - P_{сц} \cdot \cos(\beta_{сц} + \alpha_0) \cdot h_{сц}. \end{array} \right. \quad (1)$$

где F_{Π} , F_3 , F_C – проекции суммарных сил, действующих на переднюю, заднюю ось и сиденье трактора соответственно, Н; $P_{сц}$ – сила, действующая в сцепном устройстве трактора, Н; $\beta_{сц}$ – угол между вектором приложенной силы $P_{сц}$ и осью продольных тяг навески трактора, рад.; α_0 – текущий угол отклонения остова трактора от положения статического равновесия, рад.; m_0 – масса остова трактора, кг; z_0 – текущее смещение центра масс остова трактора от положения статического равновесия; $l_{\Pi M}$, l_{3M} , $l_{\Pi C}$ – проекция на ось X расстояния от центра масс остова трактора до передней, задней осей и сиденья трактора соответ-

ственно, м; $l_{\text{сц}}$ – проекция на ось X расстояния от задней оси до шарниров продольных тяг навески трактора, м; $h_{\text{сц}}$ – проекция на ось Z расстояния от центра масс остова до шарниров продольных тяг навески трактора, м; J_0 – суммарный момент инерции остова трактора относительно центра масс, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; P_K – действующая касательная сила тяги, Н; $F_{\text{сопр.П}}$, $F_{\text{сопр.З}}$ – компоненты суммарных сил сопротивления перемещению колес переднего и заднего мостов трактора, Н; $\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс трансмиссии трактора; $\gamma_{\text{п}}$, $\gamma_{\text{з}}$ – приведенный угол уклона профиля опорной поверхности под передними и задними движителями трактора, рад.; x – текущее смещение центра масс остова трактора от положения статического равновесия вдоль оси X , м.

Для определения сил $F_{\text{п}}$ и $F_{\text{з}}$, действующих со стороны шин на опорную поверхность и остов (совместно со статическими нагрузками $G_{\text{ст.П}}$ и $G_{\text{ст.З}}$), необходимо вычислить их текущую деформацию $z_{\text{пш}}$ и $z_{\text{зш}}$ и скорость данной деформации $V_{\text{пш}}$ и $V_{\text{зш}}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} z_{\text{пш}} = z_0 - q(x) + l_{\text{пМ}} \cdot \sin(\alpha_0); \\ z_{\text{зш}} = z_0 - q(x + L) - l_{\text{зМ}} \cdot \sin(\alpha_0); \\ V_{\text{пш}} = \frac{d z_{\text{пш}}}{dt}; \\ V_{\text{зш}} = \frac{d z_{\text{зш}}}{dt}; \end{array} \right. \quad (2)$$

где $q(x)$ – функциональная зависимость, описывающая величину микронеуровностей агрофона, м (может быть получена из замеров реального микропрофиля или параметрами случайного процесса для заданного типа поверхности движения); L – база трактора, м.

Для определения силы $F_{\text{с}}$, действующей со стороны подвески сиденья на оператора и остов, также необходимо вычислить ее текущую деформацию $z_{\text{пс}}$ и скорость данной деформации $V_{\text{пс}}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} z_{\text{пс}} = z_{\text{в}} - z_0 - l_{\text{пс}} \cdot \sin(\alpha_0); \\ V_{\text{пс}} = \frac{d z_{\text{пс}}}{dt}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Отсюда могут быть найдены силы, действующие на остов трактора:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{\text{п}} = c_{\text{пш}} \cdot z_{\text{пш}} + k_{\text{пш}} \cdot V_{\text{пш}}; \\ F_{\text{з}} = c_{\text{зш}} \cdot z_{\text{зш}} + k_{\text{зш}} \cdot V_{\text{зш}}; \\ F_{\text{с}} = F_{\text{упр}}(z_{\text{пс}}) + F_{\text{демпф}}(V_{\text{пс}}), \end{array} \right. \quad (4)$$

где $c_{\text{пш}}$, $c_{\text{зш}}$, $c_{\text{пс}}$ – жесткость передних, задних шин и подвески сиденья, Н/м; $k_{\text{пш}}$, $k_{\text{зш}}$, $k_{\text{с}}$ – коэффициенты демпфирования передних, задних шин и подвески сиденья, Н·с/м.

Действующая касательная сила тяги P_K и крюковая сила в сцепном устройстве $P_{сц}$ могут быть найдены из следующих соотношений:

$$P_K = \frac{M_D \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{r_k}, \quad (5)$$

где M_D – текущий крутящий момент двигателя, Н×м; $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; r_k – радиус качения, м.

$$P_{сц} = (f_{пр} \cdot \cos \tau_{пр} + \sin \tau_{пр}) \cdot G_{пр}, \quad (6)$$

где $G_{пр}$ – вес загруженного прицепа, кН; $\tau_{пр}$ – приведенный угол поверхности, по которой катится прицеп; $f_{пр}$ – коэффициент сопротивления перекатыванию колес прицепа по опорной поверхности.

Крутящий момент M_D для дизельных двигателей находится в функциональной зависимости от частоты вращения n_D , и для регуляторной ветви справедливо следующее соотношение:

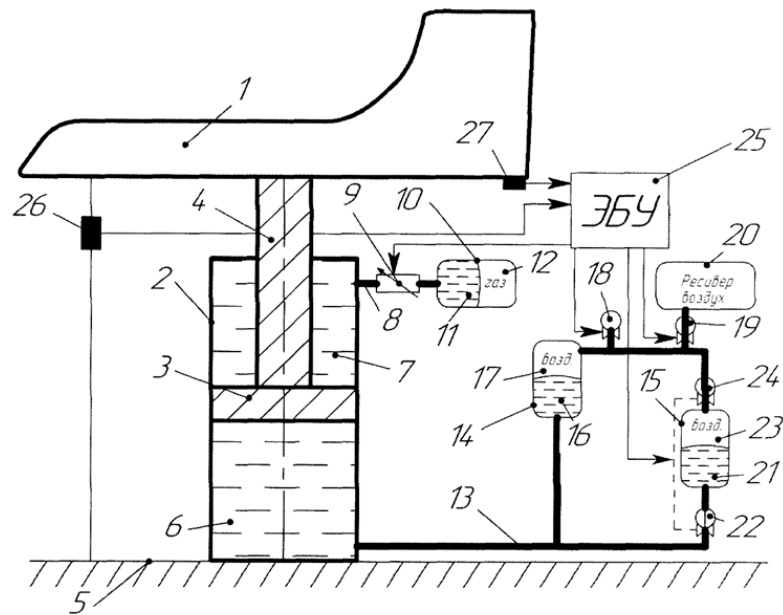
$$M_D = (n_{max} - n_D) \cdot \frac{M_N}{n_{max} - n_N}, \quad (7)$$

где M_N – крутящий момент двигателя, соответствующий номинальной частоте вращения двигателя, Н·м;

Частота вращения двигателя зависит от текущей скорости движения согласно формуле:

$$n_D = V \cdot \frac{i_{тр}}{0,377 \cdot r_k} \quad (8)$$

В соответствии с результатами теоретических исследований была изготовлена опытная конструкция активной подвески сиденья. Устройство работает следующим образом. В процессе работы тракторно-транспортного агрегата возникают колебания, передаваемые от дорожного покрытия через движители на основание 5 и само сиденье 1, вследствие чего происходит изменение положения подвески сиденья, которое фиксирует датчик положения 26. Сигналы от данного датчика, а также от датчика ускорения сиденья 27, поступают в электронный блок управления 25, где после преобразования входных сигналов, формируется управляющий сигнал, который подается на электронно-управляемый дроссель и управляемые клапаны 18, 19, 22, 24. Сжатие подвески сопровождается воздействием на поршень со штоком, что приводит к перемещению рабочей жидкости из-под поршневой полости гидроцилиндра 2 в гидравлические полости ПГА 14 и через открытый клапан 22 в ПГА 15. Это вызывает сжатие рабочего газа пневматической части 17 ПГА 14 и полости 23 ПГА 15. Изменение дорожного полотна фиксируется датчиком ускорений 27 и передается в ЭБУ, после обработки данного сигнала по заложенному алгоритму происходит изменение упругодемпфирующей характеристики за счет выключения из работы ПГА 15 и изменения проходного сечения управляемого дросселя. Это позволяет получить нелинейная характеристику (Рисунок 3) за счет возможности изменения суммарного рабочего объема пневматических полостей ПГА 14 и ПГА 15.



1 – сиденье со спинкой; 2 – гидроцилиндр; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – основание; 6 – надпоршневая полость; 7 – штоковая полость; 8, 13 – гидромагистрали; 9 – электронно-управляемый дроссель; 10, 14, 15 – пневмогидравлические аккумуляторы (ПГА); 11, 16, 21 – гидравлическая полость (ПГА); 12, 17, 23 – пневматическая полость ПГА; 18, 19, 22, 24 – управляемые клапаны; 20 – ресивер; 25 – электронный блок управления; 26 – датчик положения подвески сиденья; 27 – датчик вибрации

Рисунок 2 – Принципиальная схема предложенной конструкции

Предложенный способ управления упругодемпфирующей характеристикой позволяет устранить возможность резонансных явлений, а также значительно снижает вероятность пробоя подвески.

Перед началом работы происходит первоначальная настройка подвески сиденья на исходное положение, при котором поршень расположен на расстоянии $1/3$ полного хода L от положения с полностью вытянутым штоком ($L_{\text{верх}}$). Это положение может быть определено датчиком текущего положения подвески сиденья.

Это достигается за счет регулирования давления в пневматической части ПГА 14 и ПГА 15 открытием клапанов 18 или 24. При этом давление статического равновесия $P_{\text{ст}}$ остается неизменным:

$$P_{\text{ст}} = \frac{4 \cdot G_{\text{оп}}}{\pi \cdot D_{\text{п}}^2}, \quad (9)$$

где $D_{\text{п}}$ - диаметр поршня гидроцилиндра, м.

Максимальное значение давления $P_{\text{макс}}$, после которого пробой подвески:

$$P_{\text{макс}} = \frac{20 \cdot m_{\text{оп}} \cdot (g + a_{\text{макс}})}{7 \cdot \pi \cdot D_{\text{п}}^2} \quad (10)$$

Для определения минимального рабочего объема V_1 пневматической полости ПГА 14 необходимо задаться амплитудным значением постоянно действующего ускорения $a_{\text{макс}}$ на тело оператора, которое может привести к пробую подвески:

$$V_{\text{ПГА14}} = \frac{\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot L \cdot D_{\text{п}}^2}{1 - \left(\frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{макс}}}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (11)$$

Определение рационального суммарного объема ПГА ΣV можно обосновать, достижением требуемой минимальной жесткости.

Для нахождения суммарного объема пневматических камер ПГА ΣV необходимо рассчитать следующее выражение:

$$\Sigma V = \frac{4 \cdot L}{3 \cdot \pi \cdot D_{\text{п}}^2} \frac{1}{1 - \left(\frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{ст}} + P_{\text{сп}}}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (12)$$

Отсюда можно определить значения объема V_2 пневматической камеры ПГА 15.

Используя данные параметры, можно получить упругую характеристику подвески сиденья как зависимость $F_{\text{упр}} = f(z)$, сложив участки, соответствующие переключению объемов ПГА:

$$F_{\text{упр}} = \begin{cases} P_{\text{ст}} \cdot S \left[\frac{V_{\text{max}} \cdot V_{\text{min}}}{(V_{\text{max}} \cdot \frac{7}{30} L \cdot S) [V_{\text{min}} - S(z + \frac{7}{30} L)]} \right]^n & \text{при } z < -\frac{7}{30} L \\ P_{\text{ст}} \cdot S \left(\frac{V_{\text{max}}}{(V_{\text{max}} - S \cdot z) [V_{\text{min}} - S(z + \frac{7}{30} L)]} \right)^n & \text{при } -\frac{7}{30} L \geq z \geq \frac{7}{15} L \\ P_{\text{ст}} \cdot S \left[\frac{V_{\text{max}} \cdot V_{\text{min}}}{(V_{\text{max}} \cdot \frac{7}{15} L \cdot S) [V_{\text{min}} - S(z + \frac{7}{15} L)]} \right]^n & \text{при } z > \frac{7}{15} L \end{cases} \quad (13)$$

В разработанной нами конструкции предусмотрена возможность изменения моментов переключения ПГА15, что приводит к изменению упругой характеристики подвески сиденья. Это позволяет регулировать непосредственно в процессе эксплуатации ее приведенную жесткость.

Момент отключения ПГА15 определяется электронным блоком управления по разработанному алгоритму на основании сигнала от датчиков вертикальных ускорений и положения сиденья (Рисунок 3), при этом управляемый дроссель имеет возможность изменения проходного сечения, что позволяет адаптировать упругодемпфирующие характеристики под изменения агрофона опорной поверхности.

Рациональное соответствие коэффициента демпфирования и приведенной жесткости подвески неоднократно исследовалось различными авторами. Нами была приняты соотношения, полученные в исследованиях, которые проводились под руководством профессора О.И. Поливаева, при разработке подвески сиденья с активным пневмопоршневым упругим элементом.

Использование разработанной математической модели позволило определить допустимую скорость движения с учетом требований санитарных норм,

которая для ТТА с опытной конструкцией адаптивной подвески сиденья составила 35 км/ч, а с серийной – 24 км/ч.

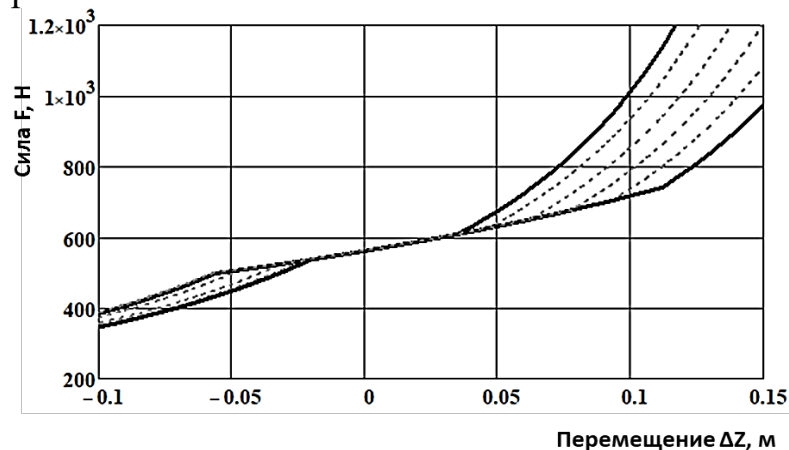
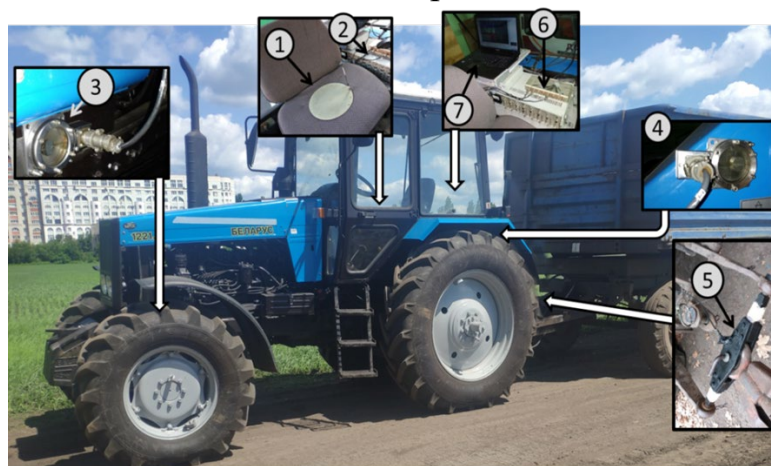


Рисунок 3 – Вариации упругой характеристики разрабатываемой конструкции подвески сиденья при изменении моментов переключения используемых ПГА

В разделе 3 «Методика экспериментальных исследований» представлены программа и задачи опытных исследований, дано описание экспериментальной установки, методики проведения и обработки результатов, а также описаны процессы тарировки тензовесов, тензобалки, тензометрических виброакселерометров и методика определения радиальной жесткости шин, горизонтальной и вертикальной координат центра тяжести.

В качестве объекта выбран тракторно-транспортный агрегат (ТТА), состоящий из универсального колесного трактора тягового класса 2.0 Belarus-1221.2 в агрегате с полностью загруженным прицепом 2ПТС-6 с серийной и опытной подвесками сиденья.

Лабораторные исследования выполнялись в лабораториях кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Дорожные и дорожно-полевые испытания трактора и ТТА проводились на базе УНТЦ «Агротехнология» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.



1 – посадочный диск с ИСР датчиком; 2 – соединительные кабели;
3 – тензометрический виброакселерометр переднего моста трактора;
4 – тензометрический виброакселерометр заднего моста трактора;
5 – тяговая тензобалка; 6 – тензоусилитель; 7 – компьютер
Рисунок 4 – ТТА с оборудованием на полевых испытаниях

В разделе 4 «Анализ результатов экспериментальных исследований» представлены и проанализированы результаты экспериментальных исследований серийного ТТА и оборудованного предложенной адаптивной подвеской сиденья, а так же результаты лабораторных испытаний.

В результате лабораторных и дорожных исследований были уточнены все необходимые константы, используемые в математической модели – жесткости шин, координаты положения центра тяжести, нагрузка на передние и задние мосты и момент инерции остова, что позволило обеспечить высокую степень сходимости результатов теоретических и практических исследований.

При проведении полевых испытаний определяли уровни ускорений при установке серийной и опытной подвесок сиденья оператора ТТА в составе Belarus-1221.2 + 2ПТС-6, возникающие при движении на участке грунтовой дороги, профиль которого характерен для данного вида работ.

Анализ графических зависимостей, представленных на рисунке 5, показал, что при движении ТТА со скоростью 20 км/ч пиковые значения среднеквадратических ускорений смещаются в более высокочастотную область и располагаются во второй, третьей и четвертой октавных полосах (2, 4, 8 Гц). На сиденье с подвеской серийной конструкции уровень вертикальных ускорений в октавных полосах частот выше в среднем на 3,7 дБ. Максимальная эффективность опытной конструкции в сравнении с серийной наблюдается в полосе с СГЧ 4 Гц и составляет 6,8 дБ.

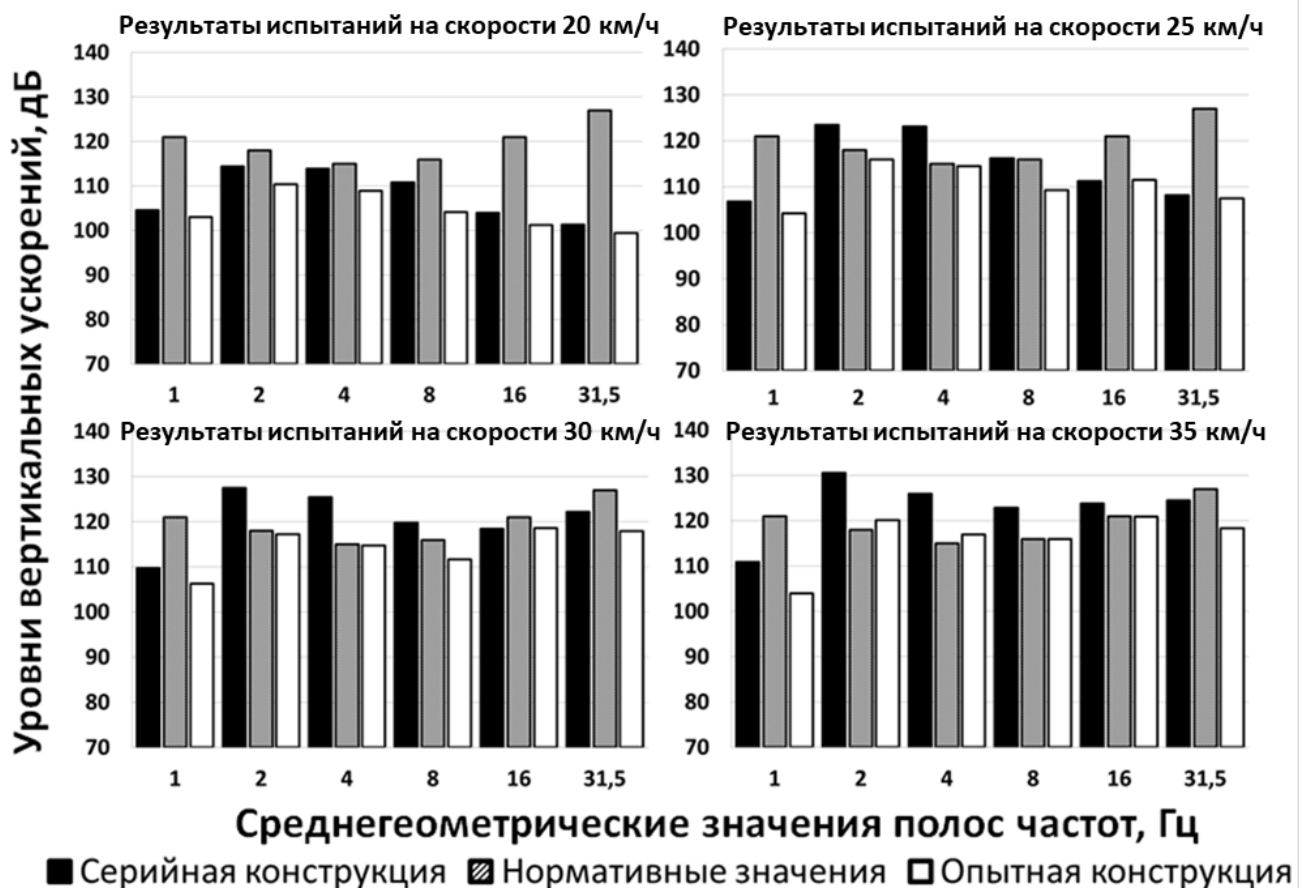


Рисунок 5 – СКЗ вертикальных ускорений в октавных полосах частот при движении ТТА в составе Belarus-1221.2 + 2ПТС-6 со скоростью 20, 25, 30 и 35 км/ч соответственно

При скорости движения ТТА 25 км/ч впервые наблюдается превышение требований санитарных норм на второй и третьей октавной полосе с СГЧ 2 Гц и 4 Гц соответственно на 5,5 и 8,1 дБ при использовании серийной конструкции. При этом применение опытной конструкции позволяет сохранить СКЗ вертикальных ускорений оператора в области допустимых. В среднем уровни ускорений при использовании опытной подвески сиденья на 4,4 дБ ниже Максимальная эффективность относительно серийной конструкции наблюдается в полосе с СГЧ 4 Гц и составляет 8,6 дБ.

Дальнейшее увеличение скорости до 30 км/ч сопровождается значительным ростом СКЗ во всех исследуемых полосах частот. Отклонение от требований санитарных норм при использовании серийной конструкции наблюдается на 2-й, 3-й и 4-й октавной полосах частот. Максимальное превышение находится в полосе с СГЧ 4 Гц и составляет 10,4 дБ.

Опытная конструкция подвески сиденья позволяет снизить СКЗ вертикальных ускорений во всех полосах частот до требований санитарных норм. В среднем эффективность опытной подвески составляет 6,1 дБ, а максимальная 10,3 и 10,7 во 2-й и 4-й октавной полосах соответственно.

При движении ТТА на скорости 35 км/ч также наблюдается увеличение СКЗ вертикальных ускорений во всех исследуемых полосах частот. Отклонение от требований санитарных норм при использовании серийной конструкции наблюдается на 2-й, 3-й, 4-й и 5-й октавных полосах и составляет соответственно 12,6 дБ, 10,9 дБ, 6,9 дБ и 2,8 дБ.

Опытная конструкция подвески сиденья позволяет снизить СКЗ вертикальных ускорений в 1-й, 4-й, 5-й и 6-й отавных полосах до требований СанПиН 1.2.3685-21. Незначительное превышение наблюдается во 2-й и 3-й октавных полосах на 2,3 и 4,3 дБ. В среднем эффективность опытной подвески сиденья относительно серийной составляет 7,1 дБ, а максимальная – 10,5 и 8,9 дБ в октавных полосах с СГЧ 2 и 8 Гц. При этом следует заметить, что интегральный скорректированный уровень вертикальных ускорений не превышает установленную норму.

В таблице 1 приведены значения и сравнительная эффективность по скорректированным уровням вертикальных ускорений серийной и опытной подвесок сиденья при разных скоростях движения ТТА.

Таблица 1 – Оценка скорректированного уровня вертикальных ускорений сиденья при установке серийной и опытной подвесок

| № п/п | Скорость, км/ч | Скорректированный уровень виброускорений на подвеске сиденья, дБ | | Сравнительная эффективность опытной конструкции, дБА |
|-------|----------------|------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------|
| | | серийной | опытной | |
| 1 | 5 | 105,7 | 104,8 | 0,9 |
| 2 | 10 | 108,5 | 106,6 | 1,9 |
| 3 | 15 | 113,9 | 110,6 | 3,3 |
| 4 | 20 | 123 | 118,3 | 4,7 |
| 5 | 25 | 130,9 | 124 | 6,9 |
| 6 | 30 | 134,7 | 126,7 | 8 |
| 7 | 35 | 137,1 | 129,2 | 7,9 |

Как видно из таблицы 1 максимально допустимая скорость движения ТГА с подвеской серийной конструкции составляет 25 км/ч. Дальнейший рост скорости движения приводит к превышению скорректированного уровня вертикальных ускорений, устанавливаемого санитарными нормами в качестве допустимого – 130 дБА.

При этом использование опытной конструкции подвески сиденья позволяет сохранить скорректированный уровень вертикальных ускорений в пределах, установленных санитарными нормами, вплоть до 35 км/ч. Сравнительная эффективность подвески опытной конструкции по скорректированным уровням виброускорений также возрастает с ростом скорости – от 0,9 дБА до 8 дБА.

С целью подтверждения адекватности результатов математического моделирования, нами проводилось сравнение данных, полученных с помощью разработанной математической модели, и опытных данных, полученных при проведении полевых испытаний разработанной подвески сиденья (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Опытные и теоретические данные интегрального уровня виброускорений на различных скоростях движения

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что представленная во второй главе диссертации четырехмассовая математическая модель колебаний ТГА с достаточной степенью точности описывает данные, получаемые при практических исследованиях. Этот факт позволяет сделать вывод о адекватности модели и возможности ее использования при разработке новых конструкций подвесок сидений и оценке СКЗ виброускорений оператора при движении ТГА на различных скоростях движения и профилях опорной поверхности.

В разделе 5 «Определение эксплуатационных издержек на модернизацию серийной подвески сиденья оператора ТГА» проведенные исследования показали повышенную эффективность разработанной конструкции подвески сиденья. За счет снижения уровней вибрационного воздействия на оператора тракторно-транспортного агрегата становится возможным повышение скорости движения без превышения требований, изложенных в СанПиН 1.2.3685-21. Из за чего стало возможным повышение производительности ТГА с 9,97 до 10,47 т/ч.

Использование усовершенствованной подвески сиденья позволяет получить годовой экономический эффект 43 214 руб., при сроке окупаемости капитальных вложений 0,86 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанная четырехмассовая математическая модель вертикальных колебаний колесного ТТА, включающая комплекс показателей (крюковую нагрузку, профиль опорной поверхности, характеристики двигателя и подвески сиденья), что позволяет прогнозировать уровни вертикальных ускорений в различных точках ТТА и допустимую скорость движения. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало, что расхождение результатов составляет 5–10%.

2. Использование математической модели показало, что с ростом начальной скорости движения колесного ТТА скорректированный уровень вертикальных ускорений оператора с серийной подвеской возрастает с 105,5 дБА при скорости движения 5 км/ч до 137,7 дБА при 35 км/ч, в то время как при использовании адаптивной подвески сиденья он составляет 104,6 дБА и изменяется до 129,7 дБА. Наибольший прирост среднеквадратических значений (СКЗ) вертикальных ускорений при использовании серийной подвески сиденья наблюдается на 3-й и 6-й октавных полосах со среднегеометрическими частотами (СГЧ) 4 и 31,5 Гц. При использовании опытной подвески сиденья рост СКЗ вертикальных ускорений находится в 5-й и 6-й полосах с СГЧ 16 и 31,5 Гц. Максимальная эффективность опытной подвески сиденья в сравнении с серийной наблюдается на 1-й, 2-й и 3-й октавных полосах с СГЧ 1, 2 и 4 Гц и составляет ~10,4 дБ.

3. Разработано техническое решение адаптивной подвески сиденья (патент на полезную модель № 211255), по которому реализована рациональная упругодемпфирующая характеристика.

4. Разработана методика определения рациональных объемов пневмогидравлических аккумуляторов предлагаемой конструкции подвески сиденья, позволяющая подобрать ПГА с рациональным объемом пневматической полости для реализации прогнозируемой упругой характеристики подвески сиденья ($V_{ПГА1} = 1,2$ л, $V_{ПГА2} = 0,6$ л).

5. Экспериментальные исследования показали, что опытная подвеска позволяет сохранить уровень вибронегруженности оператора ТТА в пределах, установленных санитарными нормами при движении по грунтовой дороге до скорости $V = 35$ км/ч. Применение опытной подвески сиденья повышает рабочую скорость на 5 – 10 км/ч по грунтовой дороге. Относительная эффективность разработанной конструкции подвески сиденья в сравнении с серийной составляет от 1,0 до 7,1 дБ на скоростях от 5 до 35 км/ч в октавных полосах частот. Эффективность по скорректированным уровням виброускорений изменяется от 0,9 дБА при скорости движения 5 км/ч до 8 дБА при 30 км/ч. Полученные данные подтверждают высокую эффективность разработанной конструкции адаптивной подвески сиденья.

6. Расчет экономической эффективности ТТА показал целесообразность внедрения предлагаемой конструкции адаптивной подвески сиденья оператора, годовой экономический эффект от ее внедрения на один трактор Belarus-1221.2 составляет 43 214 руб., срок окупаемости – 0,86 года.

7. Результаты диссертационной работы приняты для внедрения в ООО

«Брянский тракторный завод» и используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Полученные результаты позволяют рекомендовать применение адаптивной подвески сиденья на колесных тракторах сельскохозяйственного назначения. Объем пневматической части ПГА подвести составляет 0,6 и 1,2 л.

8. Перспективным направлением дальнейшего совершенствования конструкций по снижению вибронегативности оператора мобильных энергетических средств являются конструкции подвесок сидений на основе магнитореологических, совмещенных с пневматическими или электромагнитными, активно регулируемые амортизаторами, на которые автором получен патент РФ № 2764210 и патенты на полезные модели РФ № 139995, №176370 и № 206649.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Upgrading seat suspension of tractor Belarus 1221 / O. I. Polivaev, A. V. Lo-schenko, R. G. Belyansky, A. N. Kuznetsov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICIAE 2019, Irkutsk, 27 мая – 01 2019 года. – Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012051. – DOI 10.1088/1757-899X/632/1/012051.

2. Кузнецов, А. Н. Визуализация результатов математического моделирования динамических процессов в мобильных энергетических средствах / А. Н. Кузнецов, О. И. Поливаев, А. В. Лощенко // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 6. – С. 45-52. – DOI 10.31992/0321-4443-2018-6-45-52.

3. Совершенствование виброзащитной системы тракторно-транспортного агрегата на базе Беларус 1221.2 / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко, А. Н. Горбулич // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12. – № 2(61). – С. 60-66. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.60.

4. Имитационная модель вертикальных колебаний кресла оператора трактора в программном комплексе SimInTech / О. И. Поливаев, Д. Н. Афоничев, С. Н. Пиляев [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 13. – № 4(67). – С. 79-87. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2020.4.79.

5. Анализ способов снижения уровня вибрационной нагруженности рабочего места оператора тракторно-транспортного агрегата / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко, Д. Б. Болотов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14. – № 4(71). – С. 11-20. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2021_4_11.

Патенты

1. Патент на полезную модель № 211255 Российская Федерация, МПК В60N 2/52. Подвеска сиденья транспортного средства : № 2022104102 : заявл. 15.02.2022 : опубл. 26.05.2022 / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А.В. Лощенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное

Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1".

2. Патент на полезную модель № 206649 U1 Российская Федерация, МПК В60N 2/50. Активная подвеска сиденья транспортного средства : № 2021108357 : заявл. 26.03.2021 : опубл. 21.09.2021 / О. И. Поливаев, С. Н. Пиляев, А. Н. Кузнецов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1".

3. Патент на полезную модель № 201650 U1 Российская Федерация, МПК В60N 2/50. Активная подвеска сиденья транспортного средства : № 2020107273 : заявл. 17.02.2020 : опубл. 24.12.2020 / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко, О. В. Костюков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

4. Патент на полезную модель № 186837 U1 Российская Федерация, МПК В60N 2/52. Подвеска сиденья транспортного средства : № 2018106154 : заявл. 19.02.2018 : опубл. 05.02.2019 / О. И. Поливаев, А. Н. Горбулич, А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

5. Патент на полезную модель № 176370 U1 Российская Федерация, МПК В60N 2/50, F16F 6/00. Подвеска сиденья транспортного средства : № 2017115483 : заявл. 02.05.2017 : опубл. 17.01.2018 / О. И. Поливаев, А. Н. Горбулич, О. С. Ведринский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

6. Патент № 2764210 C1 Российская Федерация, МПК F16F 9/06, F16F 9/53. Регулируемый магнитореологический пневматический амортизатор : № 2021105339 : заявл. 01.03.2021 : опубл. 14.01.2022 / О. И. Поливаев, О. М. Костиков, А. В. Лощенко, Д. Б. Болотов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1".

Публикации в материалах научных конференций и сборниках научных трудов

1. Виды снижения воздействия транспортной вибрации на водителей МЭС / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. Н. Горбулич, А. В. Лощенко // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018 : Материалы IV Международной научно-практической конференции в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой народной Республики "Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие", Горловка, 24 мая 2018 года. – Горловка: Донецкий национальный технический университет, 2018. – С. 31-35.

2. Лощенко, А. В. Анализ условий труда водителя мобильного энергетического средства / А. В. Лощенко // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018 : Материалы IV Международной научно-практической конференции в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой народной Республики "Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие", Горловка, 24 мая 2018 года. – Горловка: Донецкий национальный технический университет, 2018. – С. 27-30.
3. Модернизация подвески гусеничных движителей / А. В. Лощенко, П. Н. Завалин, Д. Б. Болотов [и др.] // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 14–16 ноября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 369-372.
4. Лощенко, А. В. Виброзащита рабочего места оператора тракторно транспортно агрегата / А. В. Лощенко // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 14–16 ноября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 317-321.
5. Кузнецов, А. Н. Подвеска сиденья операторов транспортных средств с нелинейной упругой характеристикой / А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко, А. В. Горбулич // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 14–16 ноября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 272-276.
6. Кузнецов, А. Н. Определение упругой характеристики подвески сиденья с упругими элементами в виде жестких пластин / А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 26–27 ноября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 48-52.
7. Определение жесткости упругих элементов подвески сиденья с нелинейной упругой характеристикой / А. Н. Кузнецов, О. И. Поливаев, А. В. Лощенко, А. А. Заболотная // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 26–27 ноября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 43-48.
8. Применение активных подвесок на мобильных энергетических средствах / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. Н. Горбулич, А. В. Лощенко // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 июня 2018 года / Под общей редакцией В.А. Гулевского. – Воронеж:

Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 225-229.

9. Лощенко, А. В. Активная подвеска сиденья оператора МЭС / А. В. Лощенко, А. Н. Кузнецов, Т. И. Лощенко // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 июня 2018 года / Под общей редакцией В.А. Гулевского. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 200-204.

10. Эффективность защиты оператора МЭС за счет применения активной подвески сиденья / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко, А. Н. Горбулич // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. – № 1. – С. 186-190.

11. Исследование виброзащитных свойств поддресоренного одноместного сиденья трактора / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко, А. Н. Горбулич // Наука, образование и инновации в современном мире : Материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 20–21 марта 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 364-366.

12. Горбулич, А. Н. Управление электромагнитной подвеской мобильного энергетического средства / А. Н. Горбулич, А. Н. Кузнецов, А. В. Лощенко // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 июня 2019 года / Под общей редакцией В.А. Гулевского. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 161-166.

13. Костюков, О. В. Снижение воздействия транспортных вибраций на механизатора / О. В. Костюков, А. В. Лощенко, О. И. Поливаев // Молодежный вектор развития аграрной науки : Материалы 70-й научной студенческой конференции, Воронеж, 01 февраля – 01 2019 года / Воронежский государственный аграрный университет. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 486-489.

14. Применение электромагнитных подвесок в современном машиностроении / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов, А. Н. Горбулич, А. В. Лощенко // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК : материалы национальной научно-практической конференции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра, Воронеж, 26 февраля 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 55-59.

15. Лощенко, А. В. Адаптивная подвеска сиденья транспортного средства / А. В. Лощенко // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 25 февраля 2021 года / Под общей редакцией О.М. Костикова, А.В. Божко. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. – С. 121-125.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон +7(473)224-39-39, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.