

На правах рукописи



Шуравин Александр Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНЫХ АГРЕГАТОВ НА БАЗЕ  
КОЛЁСНЫХ ТРАКТОРОВ**

Специальность

4.3.1. «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного  
комплекса»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Благовещенск - 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

- Научный руководитель** доктор технических наук, доцент  
**Кузнецов Евгений Евгеньевич**
- Официальные оппоненты:** **Лимаренко Николай Владимирович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, кафедра «Приборостроение и биомедицинская инженерия», профессор
- Бережнов Николай Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия», инженерный факультет, кафедра «Агроинженерия», доцент
- Ведущая организация** ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р.Филиппова»

Защита состоится 12 декабря 2023 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.013.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», по адресу: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, корпус 1, ауд. 115  
Телефон/факс +7(4162)99-51-79

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» [www.dalgau.ru](http://www.dalgau.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Панова Елена Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В рамках достижения полной продовольственной безопасности, технологической самостоятельности и экономической автономности государства перед современным агропромышленным комплексом Амурской области поставлена задача по повышению объёма производства продукции растениеводства. Достичь этих показателей возможно за счёт применения новых сортов семян, применения интенсивных технологий возделывания и высокопроизводительной техники, а также введения в севооборот новых, нуждающихся в рекультивации(мелиорации) или залежных земельных площадей, так как в настоящее время в региональное производство вовлечены практически все пахотные земли, имеющие равнинный рельеф местности или участки с уклоном до 6 градусов.

Поэтому, с учётом перспективного расширения объёмов сельскохозяйственных площадей, необходимы разработка и применение технических и технологических решений, способствующих культурному освоению мелкоконтурных земельных участков, в основном географически расположенных в северной и центральной сельскохозяйственных зонах области, имеющих большой угол уклона или подъездные пути с высокой продольной или поперечной крутизной дорог, и которые в настоящее время в регионе не используются из-за отсутствия специальных энергетических средств как для их обработки, так и для вывоза урожая с полей. При этом использование многоцелевых автомобилей для этих целей не всегда рационально вследствие их невысоких тягово-сцепных свойств и ограничено условиями безопасности движения, предъявляемым к конструкции.

Установлено, что эти земельные площади обычно находятся в ведении крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ), которые не в состоянии, вследствие недостаточности оборотных финансовых средств, приобрести специализированные энергетические средства, способные реализовывать заложенные конструкцией функции, на рассматриваемых участках земельных площадей, а их мелкоконтурная структура (менее 15 гектаров) не позволяет использовать для обработки более энергонасыщенную или широкозахватную технику.

Учитывая, что в общем объёме регионального производства крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и индивидуальными предпринимателями собрано 21,9% зерна, 31,4% сои, 14,0% картофеля и 18,3% овощных культур ( по данным на 1.02.2023 года) решить поставленную Правительством РФ и региональным Министерством сельского хозяйства задачу по дальнейшему увеличению объёма производства сельскохозяйственной продукции без полного использования

производственных мощностей КФХ, их максимальной интенсификации и применения способов повышения эффективности в региональных условиях не представляется возможным.

Таким образом, для использования мелкоконтурных участков, а также полей и дорог, имеющих большой угол склона, необходимо совершенствовать имеющиеся в наличии КФХ энергетические средства. Анализ средств механизации в КФХ Амурской области показал, что основным энергетическим средством в малых хозяйствах является моноблочный колёсный трактор типа «МТЗ» класса 1.4-2, что определило направления исследований за счёт модернизации их конструкции и внедрения новых технических решений, позволяющих повысить эксплуатационно-технологические возможности данного типа тракторов. В связи с чем проводимые исследования являются современными и актуальными, решают насущные и важные задачи агропромышленного комплекса как Амурского региона, так и для всего Дальнего Востока России в целом.

**Степень разработанности темы** Повышению продольной и траекторной устойчивости, стабилизации движения в условиях склоновых поверхностей, эффективности использования мобильных энергетических средств (МЭС) в агропромышленном комплексе посвящен ряд работ научных работников как в Российской Федерации, так и зарубежных учёных.

Проведённый анализ показал, что одним из перспективных способов улучшения продольной и траекторной устойчивости, повышения тягово-сцепных свойств МЭС и снижения опрокидывания является стабилизация взаимных колебаний трактора и прицепа в различных условиях движения, а также рациональное перераспределение веса в конструкции ТГА в зависимости от условий использования, при этом исследованные конструктивные особенности моноблочного трактора колёсной схемы 4К2 и 4К4 позволяют произвести изменение нагрузки на движители при применении быстросъёмных дополнительных оригинальных корректирующих устройств без внесения значительных изменений в конструкцию трактора.

Учитывая, что в известном уровне техники недостаточно исследованным остаётся вопрос влияния перераспределения сцепного веса и стабилизации колебаний звеньев агрегата на продольную устойчивость и опрокидывание ТГА в условиях движения по склоновым поверхностям, характерных для дальневосточных регионов Российской Федерации, была предложена **научная гипотеза** о том, что добиться повышения эксплуатационно-технологических параметров ТГА в технологии возделывания сельскохозяйственных культур при использовании в условиях мелкоконтурных полей и земельных участков, имеющих большой угол уклона возможно при изменении конструкции тягово-

сцепного устройства, что позволит перераспределить сцепной вес и стабилизировать колебания звеньев агрегата.

При этом необходимо отметить, что результаты работы не только позволят расширить массив знаний о взаимодействующих элементах и условиях работы ТТА в технологии мелконтурного земледелия, но и имеют межрегиональную направленность при внедрении в производственные и логистические схемы. Для обоснования проведения научной работы была сформулирована **цель исследования** – установление влияния стабилизации колебаний звеньев агрегата и перераспределения сцепного веса на эксплуатационно-технологические параметры ТТА при использовании в условиях склоновых земель.

Для решения поставленной цели определены следующие **задачи исследований**:

- проанализировать особенности природно-климатических и производственных условий региона и установить их влияние на эффективность использования ТТА в условиях склоновых земель;
- предложить методологическое обоснование подбора конструкции устройств для повышения продольной и тракторной устойчивости ТТА в движении.
- выявить влияние перераспределения сцепного веса и стабилизации колебаний звеньев агрегата на продольную, тракторную устойчивость и эксплуатационно-технологические параметры ТТА в условиях движения по склоновым поверхностям;
- провести сравнительные хозяйственные испытания серийного и экспериментального ТТА в условиях движения по склоновым поверхностям;
- выполнить экономическую и топливно-энергетическую оценку проведённых исследований.

**Научную новизну представляют:**

- методологическое обоснование формирования конструкции устройств для повышения продольной устойчивости и снижения опрокидывания колёсного МЭС;
- аналитические зависимости, обосновывающие повышение продольной устойчивости, перераспределение сцепного веса между звеньями ТТА, формирующиеся при воздействии буксирно-распределяющего устройства новой конструкции;
- зависимости, подтверждающие улучшение технологических параметров от условий стабилизации звеньев тракторно-транспортного агрегата в движении;
- технические решения и программные продукты, новизна, оригинальность, изобретательский уровень и промышленная применимость

которых подтверждена патентами и свидетельствами Российской Федерации на интеллектуальную собственность.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработаны и проверены новые подходы к формированию методологического обоснования подбора и формирования устройств, позволяющих улучшить продольную, траекторную устойчивость, стабилизировать колебания звеньев агрегата с целью повышения эффективности их использования на мелкоконтурных полях и земельных участках, имеющих большой угол уклона. Установлено, что использование ТТА с устройством предлагаемой конструкции, предназначенным для улучшения продольной устойчивости и стабилизации колебаний звеньев ТТА, повышает величину производительности при проведении транспортных работ за счет рационального распределения веса.

Полученные экспериментальные зависимости позволяют сократить затраты времени и материальных средств при конструировании, совершенствовании, доработке и внедрении колесных МЭС с устройством для стабилизации колебаний звеньев тракторно-транспортного агрегата.

Материалы исследований используются в КФХ «Бондаренко Н.А.» Мазановского района, КФХ «Гученко Е.А.» и КФХ «Стукун Р.В.» Ромненского района, ООО «АгроСевер-3» Шимановского района, ООО «Амур Хэ Шэн» Зейского района Амурской области. Полученные результаты и уточнения теории использования колесного МЭС с устройством для стабилизации колебаний звеньев тракторно-транспортного агрегата в технологии возделывания сельскохозяйственных культур внедрены и используются в учебном процессе на кафедрах «Транспортно-энергетических средств и механизации АПК», «Эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов» ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ.

**Методология и методы исследований.** Исследования по теме НКР выполнены в Дальневосточном ГАУ в соответствии с научно-технической программой на 2021-2025 г.г. тема 8 «Мобильная энергетика» ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, номер государственной регистрации № 121022000099-61.

Общим методологическим подходом к проведению исследований является системный аналитико-математический метод с проведением комбинированного дисперсионно-аналитического анализа, позволяющий выявить и изучить связи в пределах раскрытия взаимодействующих величин и оптимумов между технологическими и конструктивно-режимными параметрами работы ТТА, позволяющими повысить эффективность их использования.

В теоретических исследованиях по повышению продольной и траекторной устойчивости МЭС в технологии возделывания сельскохозяйственных культур использованы как известные, так и авторские математические и

экспериментальные методики, методы эмулирования, 3-D проектирования, прогнозирования и математического программирования, основные положения теоретической и прикладной механики, деталей машин и механизмов. Экспериментальные исследования проведены в реальных производственных условиях эксплуатации ТТА. Полученные экспериментальные данные обработаны с применением методов математической статистики, 3D-графического моделирования и использованием специализированных программ для ЭВМ Blender, КОМПАС-3D v.20, Mathcad и SigmaPlot v.11.0.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- методологическое обоснование формирования конструкции устройств для повышения продольной устойчивости и снижения опрокидывания колёсного МЭС;

- аналитические зависимости, обосновывающие повышение продольной устойчивости, перераспределение сцепного веса между звеньями ТТА, формирующиеся при воздействии буксирно-распределяющего устройства новой конструкции;

- зависимости, подтверждающие улучшение технологических параметров от условий стабилизации звеньев тракторно-транспортного агрегата в движении;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований по повышению продольной устойчивости и эффективности использования ТТА в условиях Амурской области;

- технико-экономическая оценка работы ТТА с буксирно-распределяющим устройством в технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.**

Достоверность полученных данных подтверждается сходимостью теоретических обоснований и экспериментальных показателей в рамках доверительных интервалов, результатами лабораторных и полевых испытаний, проведённых с достаточным количеством опытов, принятой повторяемостью и применением программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего требуемую точность измерений, обработкой опытных данных с использованием специализированных математических программ на персональных ЭВМ, высокими экономическими показателями внедрения предложенных методологических и технических решений, рекомендациями производственных коллективов, а также использованием результатов исследований конструкторскими и другими организациями.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ (2020 - 2023 г.г.), региональных, национальных и международных научно-практических конференциях: «Стратегии устойчивого развития мировой науки»

(Москва, 2020 г.), Актуальные вопросы развития науки в мире (г. Москва, апрель 2021), Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития (Благовещенск, 21 апреля 2021 г.), «Актуальные вопросы развития науки в мире» (Москва, 2021 г.), Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития (Благовещенск, 20–21 апреля 2022 г.), Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК (Молодёжный: Иркутский ГАУ, 2022 г.), Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия (Москва, 2022 г.), Influence of natural production conditions on efficient operation of wheel tractors (BIO Web of Conferences 42, 03003, 2022 г.).

Результаты исследований используются в КФХ «Бондаренко Н.А.» Мазановского района, КФХ «Гученко Е.А.» и КФХ «Стукун Р.В.» Ромненского района, ООО «АгроСевер-3» Шимановского района, ООО «Амур Хэ Шэн» Зейского района Амурской области, а также применяются в учебном процессе при преподавании дисциплин на кафедрах «Транспортно-энергетических средств и механизации АПК», «Эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов» ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в сборниках региональных, национальных и международных научно-практических конференций и научных трудов ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, в журналах: Известия Оренбургского государственного аграрного университета; АПК РОССИИ; Дальневосточный аграрный вестник; АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал; International Journal of Applied Engineering Research, Fundamental and Applied Scientific Research in the Far East (AFE-2021), BIO Web of Conferences (SDGE 2021).

В список основных работ, опубликованных по теме диссертации включены 26 публикаций, в том числе 2- в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus, 9 статей в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, 3 патента на изобретения и полезную модель.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, состоящего из 177 наименований, в том числе 22 на иностранном языке и приложений. Общий объём работы составляет 218 страниц, содержит 140 рисунков, 5 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, изложены степень её разработанности, научная новизна, методология и методы проведённых исследований, теоретическая и практическая значимость, представлены основные



положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов исследования.

**В первой главе** Показаны перспективы увеличения валового продукта растениеводства региона, которые связаны с повышением урожайности используемых или расширения посевных площадей, что осуществимо на землях центральной и северной земледельческой зоны за счёт обработки залежей и временно неиспользуемых земель, находящихся в основном в ведении КФХ или категории земель запаса, нуждающихся в мелиоративных, культивационных либо восстановительных мероприятиях, а также включения в севооборот склоновых земель, находящихся в северной и центральной агроклиматической зоне земледелия, что сопряжено с выполнением работ и движением энергетических средств в составе агрегатов в условиях наличия поверхностей с высокими поперечными и продольными углами. Осуществлён обзор научных работ, при этом анализ ранее проведённых исследований в области обоснования закономерностей функционирования и повышения эффективности использования парка колёсных мобильных энергетических средств в условиях стабилизации их курсовой, тракторной и поперечной устойчивости, позволил предложить перспективную схему для серийного колёсного МЭС, способную выполнить условия его эффективного использования в условиях склонового земледелия, для внедрения в конструкции МЭС на территории региона.

Вопросам повышения эффективности использования МЭС на транспортных работах посвящены исследования Н.В.Алдошина, А.Н. Баранского, Ю.А. Гуськова, Ф.С.Завалишина, С.А. Иофинова, А.Ю.Измайлова, З.Ф. Кривуцы, А.И.Новожилова, Н.Ф.Скурятин, С.Д. Сметнева, И.И. Трепененкова, В.С. Филонова, других учёных.

Направления повышения эффективности за счёт улучшения тягово-сцепных свойств тракторов сельскохозяйственного назначения нашли отражение в трудах Д.С. Гапича, А.Н. Панасюка, Н.И.Селиванова, В.А. Скотникова, А.М. Емельянова, С.А.Шишлова, С.В. Щитова, и многих других авторов.

Факторы стабилизации тракторной устойчивости, условия движения сельскохозяйственных комплексов и принципы формирования агрегатов на основе результатов опытных исследований рассматривались в работах П.А. Амельченко, Е.М. Асманкина, А.В.Богданова, В.И. Беляева, А.В. Войтикова, В.В. Гуськова, И.С.Житенко, В.Е.Красильникова, Г.М.Кутькова, А.Н.Кушнарера, И.П. Ксеневица, В.В.Ларина, Я.М.Певзнера, Е.С.Поликутиной, В.И.Поддубного, Н.И Селиванова, Н.М.Соколова, В.С. Стеновского, А.В.Сюмака, С.В.Тарасовой, Т.В. Хухуни и других исследователей.

Исследованию факторов «устойчивости» ходовой системы автомобилей и тракторов, взаимодействию звеньев агрегата посвятили свои работы авторы: Г.А.

Гаспарянц, Г.В. Зимелев, В.А. Иларионов, С.А. Иофинов, И.П. Ксенович, А.М. Ляпунов, М.И. Ляско, Е.В. Михайловский, Я.М. Певзнер, В.А. Скотников, Б.С. Фалькевич, Е.А. Чудаков. Общим выводом авторов является необходимость учёта показателей устойчивости агрегата и сопутствующих факторов, влияющих на тяговые и тормозные характеристики, управляемость, способность сопротивляться боковому скольжению при планировании и выполнении как транспортных, так и сельскохозяйственных операций.

Обзор проведённых исследований показал, что наиболее оптимальным способом повышения эффективности использования ТГА на транспортных работах, является улучшение их тягово-сцепных свойств и продольно-поперечной устойчивости при работе на склоновых поверхностях. При этом решить обозначенные выше проблемы возможно за счёт корректирования величины вертикальной нагрузки между колёсными осями ТГА и снижения взаимных колебаний звеньев, что позволило предложить конструкторское решение технической задачи с наименьшими материальными затратами и высокими режимно-эксплуатационными характеристиками.

**Во второй главе** В результате проведённых исследований предложено конструктивное решение в формате дополнительного тягово-сцепного устройства, которое при применении в ходовой системе колёсного агрегата позволяет получить технический эффект в виде коррекции приходящей нагрузки на движители, повышающей тягово-сцепные свойства ТГА при работе колёсного агрегата на наклонных поверхностях движения, и общей стабилизации продольно-поперечной, курсовой и траекторной устойчивости агрегата.

Полученная конструкция, получившая название «Буксирно-распределяющее устройство», соответствует всем условиям патентоспособности-новизной, изобретательским уровнем и промышленной применимостью, предъявляемым к изобретению, в связи с чем на предлагаемое техническое решение получен патент РФ на изобретение № 2753047, МКИ В60В 11/02.

Предлагаемое устройство устанавливается в средней и тыльной части корпуса трактора и способно равномерно распределять весовую нагрузку прицепа на движители трактора в движении в целях снижения буксования, увеличения тягового усилия и агротехнической проходимости, улучшения продольной, курсовой и траекторной устойчивости, повышения производительности и безопасности движения в ходе выполнения транспортных работ в условиях склоновых поверхностей. Принципиальная схема предлагаемого устройства представлена на рисунке 1.

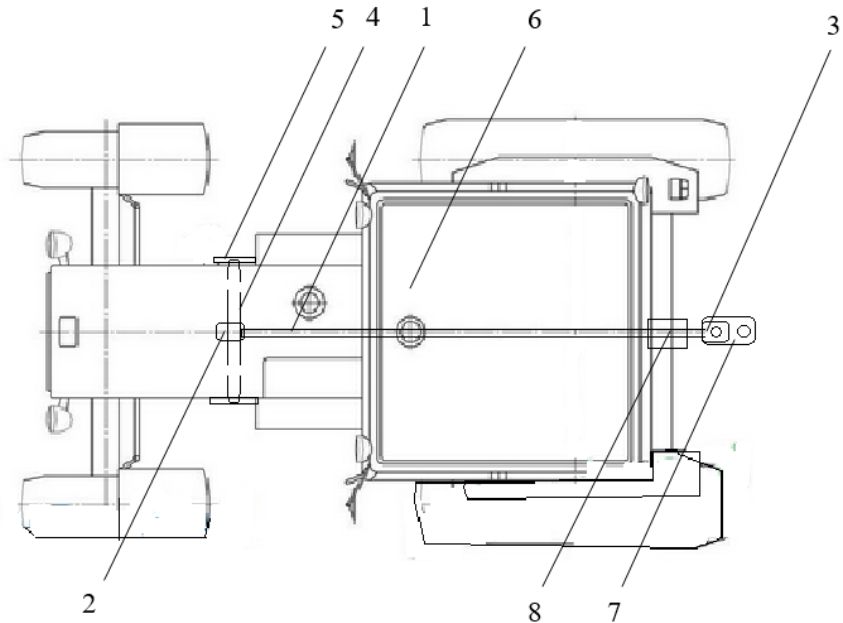


Рисунок 1- Принципиальная схема трактора с буксирно-распределяющим устройством (вид сверху):

1- плоская рессорная пружина; 2,3-проушины; 4-торсионная ось, 5- уголкового подвесной кронштейн; 6-рама трактора; 7-тяговая вилка; 8- рамочный опорный кронштейн.

При движении тракторно-транспортных агрегатов в результате воздействия различных эксплуатационных критериев наблюдается постоянное изменение стабилизационных факторов. Для теоретической оценки их взаимного влияния предлагается ввести дополнительный объёмный коэффициент стабилизации движения, который бы учитывал воздействующие величины и при необходимости позволил определить размеры технической эффективности исследуемого устройства.

При этом также необходимо учесть, что для определения вводимого коэффициента следует определить основные возмущающие факторы, параметры которых влияют на стабилизацию движения агрегата и в целом на предлагаемый коэффициент. Результирующую же оценку движения ТТА следует проводить в сравнении с серийным вариантом, используемым на перевозке грузов в сходных условиях.

Таким образом в ходе проведенных исследований и хронометражных наблюдений за работой тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) в условиях АПК Амурской области, в частности центральной сельскохозяйственной зоны региона, установлено влияние на стабилизацию движения следующих основных факторов:

- поперечный уклон поверхности движения ТТА;
- продольный уклон поверхности движения ТТА;
- состояние поверхности по которой движется ТТА.

Рассмотрим каждый из назначенных факторов для установления определённых граничных параметров коэффициентов с целью дальнейшего определения общего коэффициента стабилизации, характеризующего движение тракторно-транспортного агрегата.

При движении по поверхности, имеющей поперечный уклон возникает необходимость постоянного удержания ТТА при отклонении прямолинейности движения за счёт бокового наклона и с этой целью предлагается ввести коэффициент стабилизации поперечной устойчивости  $K_{пу}$

$$K_{пу} = K_{пус} / K_{пуэ}, \quad (1)$$

где  $K_{пус}$  - коэффициент стабилизации поперечной устойчивости серийного ТТА;  $K_{пуэ}$  - коэффициент стабилизации поперечной устойчивости экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством.

При движении по поверхности, имеющей продольный уклон, на подъём, возникает эффект снижения устойчивости и управляемости в связи с уменьшением веса, приходящегося на передние управляемые колёса, который при определённых обстоятельствах может вызвать явление галопирования и переворачивание трактора. С этой целью предлагается ввести коэффициент стабилизации продольной устойчивости при движении на подъём

$$K_{пруп} = K_{прупс} / K_{пруэ}, \quad (2)$$

где  $K_{прупс}$  - коэффициент стабилизации продольной устойчивости серийного ТТА при движении на подъём;  $K_{пруэ}$  - коэффициент стабилизации продольной устойчивости экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством при движении на подъём.

При движении по поверхности, имеющей продольный уклон, на спуске, также возникает эффект снижения устойчивости в связи с возникновением дополнительного поворачивающего момента от воздействия толкающего прицепа. С этой целью предлагается ввести коэффициент стабилизации продольной устойчивости при движении на спуске

$$K_{прус} = K_{прусс} / K_{прусэ}, \quad (3)$$

где  $K_{прусс}$  - коэффициент стабилизации продольной устойчивости серийного ТТА при движении на спуске;  $K_{прусэ}$  - коэффициент стабилизации продольной устойчивости экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством при движении на спуске.

Оценку стабилизации движения тракторно-транспортного агрегата в целом предлагается оценивать обобщённым коэффициентом, равным произведению ранее полученных коэффициентов:

$$\text{- для серийного ТТА} \quad K_{обс} = K_{пус} K_{прупс} K_{прусс}, \quad (4)$$

- для экспериментального ТТА с установленным дополнительным с буксирно-распределяющим устройством

$$K_{\text{обз}} = K_{\text{пуэ}} K_{\text{пруэ}} K_{\text{прусэ}}, \quad (5)$$

В связи с чем предложенные выше уравнения (1...3) дают возможность проанализировать и определить необходимость в повышении того или иного коэффициента стабилизации движения ТТА, а уравнения (4 и 5) получить формулу общего коэффициента стабилизации движения в зависимости от определённых граничных параметров. При этом необходимо учитывать, что на величину общего коэффициента стабилизации движения значимое влияние оказывает механизм формирования нормальных реакций почвы на движители.

В целях теоретического обоснования конструктивных и технологических параметров предлагаемого устройства определим условия распределения весовой нагрузки на опоры буксирующего колёсного трактора, для чего составим уравнений равновесия, описывающие процессы перераспределения нагрузки в ходовой системе ТТА : -при движении на подъём; - при движении на спуске; - при движении по горизонтальной поверхности.

Для упрощения расчёта рассмотрен тракторно-транспортный агрегат как составную конструкцию при движении на подъём: - без буксирно-распределяющего устройства (БРУ) трактор + прицеп; - с буксирно-распределяющим устройством трактор + торсионная ось + плоская рессорная пружина + прицеп.

Покажем все силы, действующие на составные части конструкции с буксирно-распределяющим устройством (БРУ) трактор + прицеп и рассмотрим равновесие вертикальных реакций опор каждой части в отдельности согласно схемы на рисунке 2.

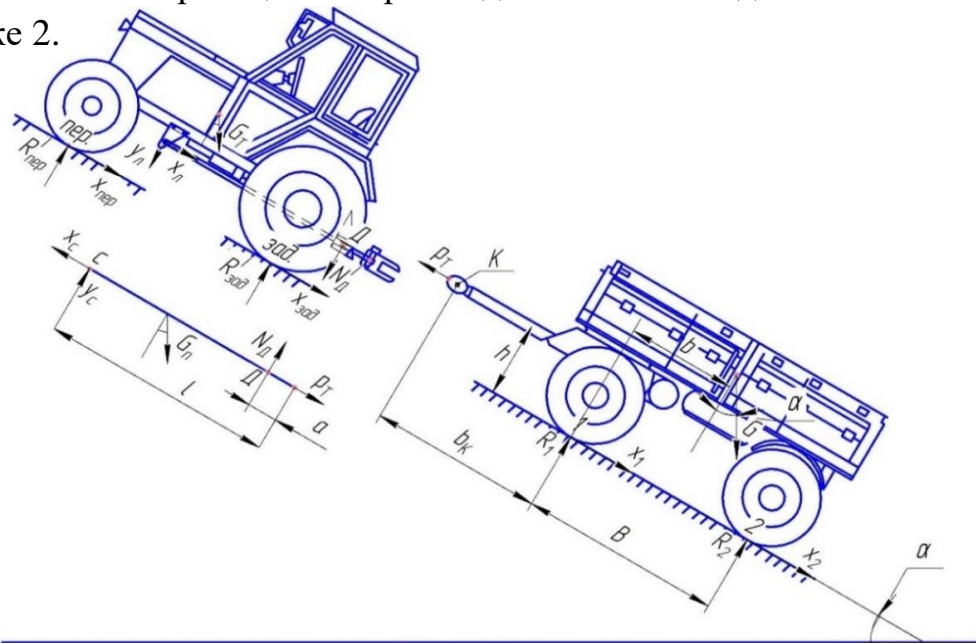


Рисунок 2 - Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности на опоры ТТА при движении на подъём

Где  $a$  – расстояние от тягово-сцепного устройства до демпфера, м;  $l$  – длина рессорной пружины, м;  $N_D$  – реакция демпфера, Н;  $P_T$  – тяговое усилие, Н;  $y_c$  и  $x_c$  – реакции в точке  $c$ , Н;  $G_n$  – вес плоской рессорной пружины, Н,  $G_0$  – вес торсионной оси, Н;  $x_l$  и  $y_l$ ;  $x_p$  и  $y_p$  – реакции левой и правой опоры трактора, Н;  $f$  – длина торсионной оси, м, Где  $b_D$  – расстояние от опоры заднего колеса до вертикальной составляющей действия силы  $N_D$ , м;  $a_k$  – расстояние от опоры переднего колеса до вертикальной реакции действия силы  $y_l$ , м;  $h_k$  – расстояние от поверхности земли до точки соединения кронштейна и торсионной оси БРУ, м.,  $B$  – колёсная база прицепа, м;

Составив и решив уравнения равновесия получили изменения вертикальных составляющих реакций поверхности :

- для задних колёс серийного трактора

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{N_D(B_T + b_D) + y_l \cdot a_k + x_l \cdot h_k}{B_T} \quad (6)$$

- для передних колёс серийного трактора

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{y_l(B_T - a_k) - x_l \cdot h_k - N_D \cdot b_D}{B_T} \quad (7)$$

- для задних колёс экспериментального трактора

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{1}{2} \left( \frac{G_n \cdot \cos \alpha}{(l-a)B_T} (l(B_T + b_D + 0,5a_k) - a \cdot a_k) - \frac{G_0 \cdot \cos \alpha \cdot a_k}{B_T} + \frac{P_T \cdot h_k}{B_T} \right) \quad (8)$$

- для передних колёс экспериментального трактора

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{1}{2} \left( \frac{G_n \cdot \cos \alpha}{(l-a)B_T} ((0,5l - a)(B_T - a_k) - l \cdot b_D) - G_0 \cdot \cos \alpha \left( 1 - \frac{a_k}{B_T} \right) - \frac{P_T \cdot h_k}{B_T} \right) \quad (9)$$

Анализ полученных выражений (8) и (9) позволяет сделать вывод, что в результате работы БРУ задняя ось трактора с БРУ в работе загружается, а передняя- разгружается.

Аналогичным образом рассмотрим изменения вертикальных составляющих реакций поверхности при движении на спуске и по горизонтальной поверхности.

При движении на спуск изменения вертикальных реакций почвы для трактора с БРУ составит:

- для передних колёс

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{G_n \cdot \cos \beta \left( \left( \frac{l}{2} - a \right) - b_D \right) \cdot (B_T - a_k)}{(l-a)B_T} + \frac{G_0 (\cos \beta (B_T - a_k) - h_k \cdot \sin \beta)}{B_T} + \frac{G_n \cdot \sin \beta \cdot h_k}{B_T} \quad (10)$$

- для задних колёс

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{G_n \cdot \cos \beta \left( \frac{l}{2} (B_T + b_D) + \left( \frac{l}{2} - a \right) \cdot a_k \right)}{(l-a)B_T} + \frac{G_0 (\cos \beta \cdot a_k + \sin \beta \cdot h_k)}{B_T} - \frac{G_n \cdot \sin \beta \cdot h_k}{B_T} \quad (11)$$

Анализ полученных выражений (10) и (11) позволяет сделать вывод, что в результате работы БРУ задняя ось и передняя ось трактора с БРУ в работе загружаются.

При движении по горизонтальной поверхности изменения вертикальных реакций почвы для трактора с БРУ составит:

- для передних колёс

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{1}{2} \left( \frac{G_n}{(l-a)B_T} (l(B_T + b_D + 0,5a_K) - a \cdot a_K) - \frac{G_0 \cdot a_K}{B_T} + \frac{P_T \cdot h_K}{B_T} \right). \quad (12)$$

- для задних колёс

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{1}{2} \left( \frac{G_n}{(l-a)B_T} ((0,5l - a)(B_T - a_K) - l \cdot b_D) - G_0 \left( 1 - \frac{a_K}{B_T} \right) - \frac{P_T \cdot h_K}{B_T} \right). \quad (13)$$

Анализируя выражения (12) и (13) делаем вывод, что задняя ось трактора с устройством в работе загружается, а передняя управляемая- разгружается.

Таким образом проведённые исследования подтверждают, что изменение веса, приходящегося на колёса трактора, корректирует положение центра тяжести, что позволит в общем случае увеличить тягово-сцепные свойства трактора.

Кроме этого были проведены теоретические исследования по влиянию БРУ на условия галопирования трактора, которые показали, что применение устройства предложенной конструкции позволяет добиться не только стабилизации ходовой системы трактора, но и повысить устойчивость колёсного энергетического средства против опрокидывания при проявлении эффекта галопирования.

**В третьей главе** приводится методика и условия экспериментальных исследований. Для подтверждения полученных теоретических исследований были проведены экспериментальные исследования, для чего сформулированы следующие задачи экспериментальных исследований:

1. Экспериментально проверить влияние предлагаемого устройства на продольную, курсовую, траекторную устойчивость и галопирование, перераспределение нагрузки на оси при движении тракторно-транспортного агрегата.

2. Провести сравнительные хозяйственные испытания экспериментального и серийного тракторно-транспортного агрегата.

3. Выполнить экономическую и топливно-энергетическую оценку использования экспериментального тракторно-транспортного агрегата на транспортных работах.

В качестве объектов исследования были взяты- трактор МТЗ-82 с прицепом 2ПТС-4 в серийном исполнении и трактор МТЗ-82 с прицепом 2ПТС-4 с установленным буксирно-распределяющим устройством. Экспериментальные исследования проводились в реальных условиях эксплуатации в дорожных условиях: дорога с улучшенным асфальтобетонным покрытием; гравийная грунтовая дорога; заснеженная грунтовая дорога. При этом замерялись следующие параметры агрегата: пройденный путь, скорость движения(частота

вращения ведущих колёс), время опыта, время движения – приборный комплекс MAGENE C406 Pro; масса перевозимого груза, масса транспортного средства (переносные подкладные весы типа CAS RW-10 (15)P ; расход топлива- контроллер расхода топлива ZJ-LCD-M с сенсором US211M модели OF 052AT; амплитудные колебания при взаимных отклонениях и перемещении звеньев агрегата в движении -цифровой инклинометр BWT901CL; угол наклона поверхности движения- цифровой инклинометр Absolute Digital Protractor. При проведении исследований применялись общие и частные методики, использовался аппарат математического моделирования эксперимента, методы регрессионного анализа. Опытные испытания проводились в реальных условиях производственной эксплуатации энергетических средств в Амурской области. Обработка данных, полученных в ходе эксперимента, проводилась известными методами математической статистики с использованием ЭВМ и специализированных программ обработки данных.

**В четвертой главе** работы приводятся результаты экспериментальных исследований.

Как известно передний управляемый мост является наиболее ответственным звеном трактора, отвечающим как за маневренные показатели, так и за безопасность движения агрегата. В связи с чем эксперименты были проведены в основных условиях движения - при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием в целях фиксации показателей стабилизации колебаний переднего управляемого моста. Экспериментальные исследования были проведены на базе тракторно-транспортного агрегата, состоящего из трактора класса 1,4 с прицепом 2ПТС-4, при этом замеры проводились в состояниях ТТА- серийный ТТА с незагруженным прицепом, экспериментальный ТТА с незагруженным прицепом, серийный ТТА с загруженным прицепом (семена сои массой 3,8 т.), экспериментальный ТТА с загруженным прицепом (семена сои массой 3,8 т.).

Исследования проводились в реальных условиях эксплуатации как на грунтовых дорогах, так и на дорогах с улучшенным покрытием, с повторностью снятия показателей на экспериментальном маршруте не менее 5 раз.

Для переднего моста ТТА, при движении по дороге с усовершенствованным покрытием, получены показатели, представленные на рисунках 3...5.



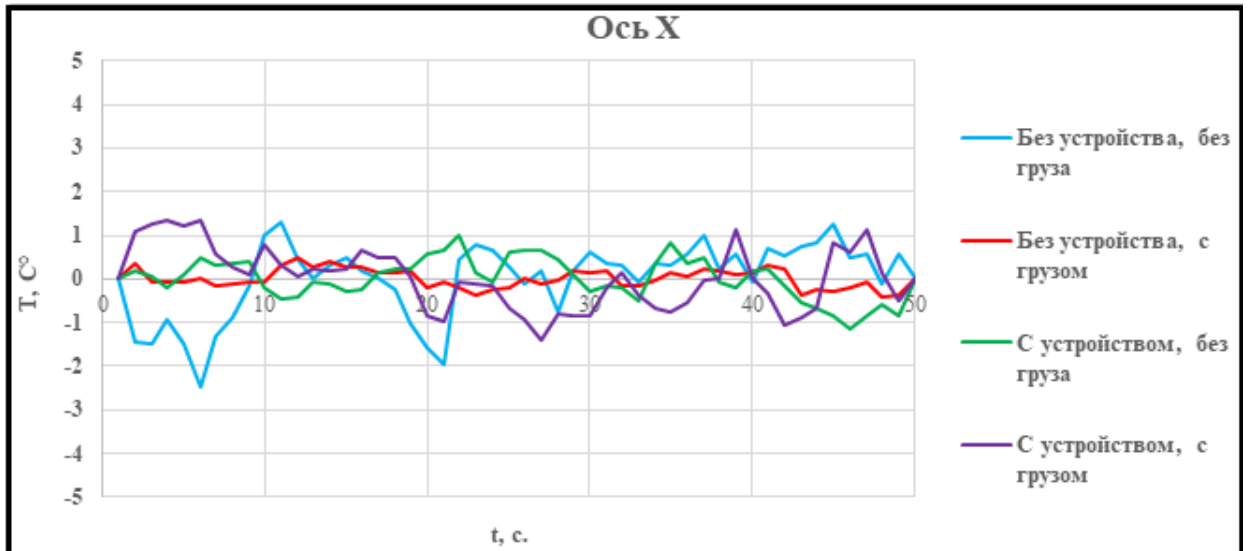


Рисунок 3- Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси X в режиме установившегося движения

Полученные зависимости (рисунок 2) могут быть описаны уравнениями:

Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза

$$y = -0,0011x^2 + 0,0467x - 0,198. \quad (14)$$

Для экспериментального ТТА со стабилизирующим устройством, без груза

$$y = -0,0008x^2 + 0,0702x - 1,1275. \quad (15)$$

Для серийного ТТА с грузом

$$y = -0,0002x^2 + 0,0074x + 0,0141. \quad (16)$$

Для экспериментального ТТА со стабилизирующим устройством, с грузом

$$y = 0,002x^2 - 0,1197x + 1,3823. \quad (17)$$

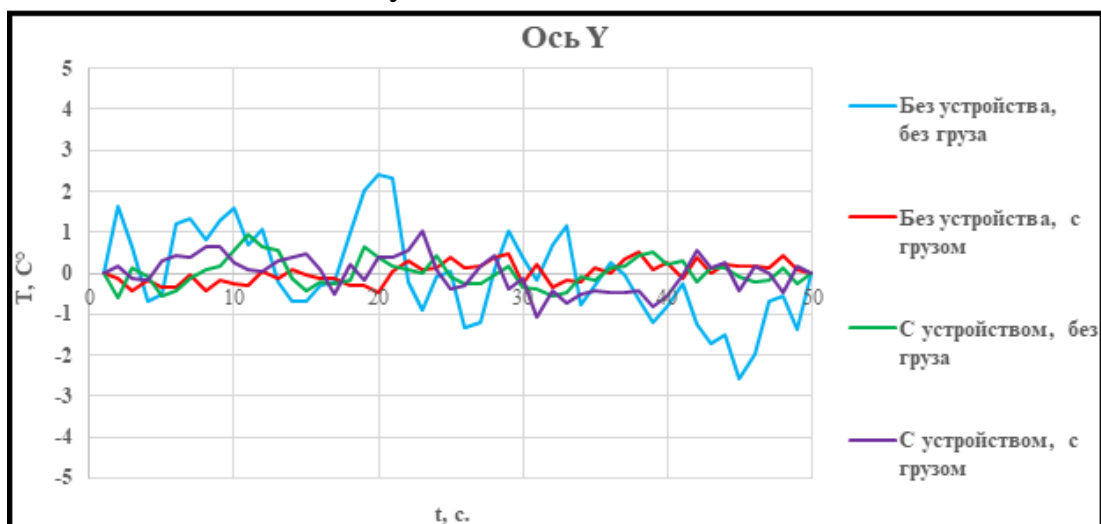


Рисунок 4- Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Y в режиме установившегося движения

Полученные зависимости (рисунок 3) могут быть описаны уравнениями:

Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза

$$y = -0,0002x^2 + 0,0094x - 0,0659. \quad (18)$$

Для экспериментального ТТА со стабилизирующим устройством, без груза

$$y = -0,0011x^2 + 0,0119x + 0,5854. \quad (19)$$

Для серийного ТТА с грузом

$$y = -0,0002x^2 + 0,018x - 0,3144. \quad (20)$$

Для экспериментального ТТА со стабилизирующим устройством, с грузом

$$y = 0,0003x^2 - 0,0258x + 0,41 \quad (21)$$

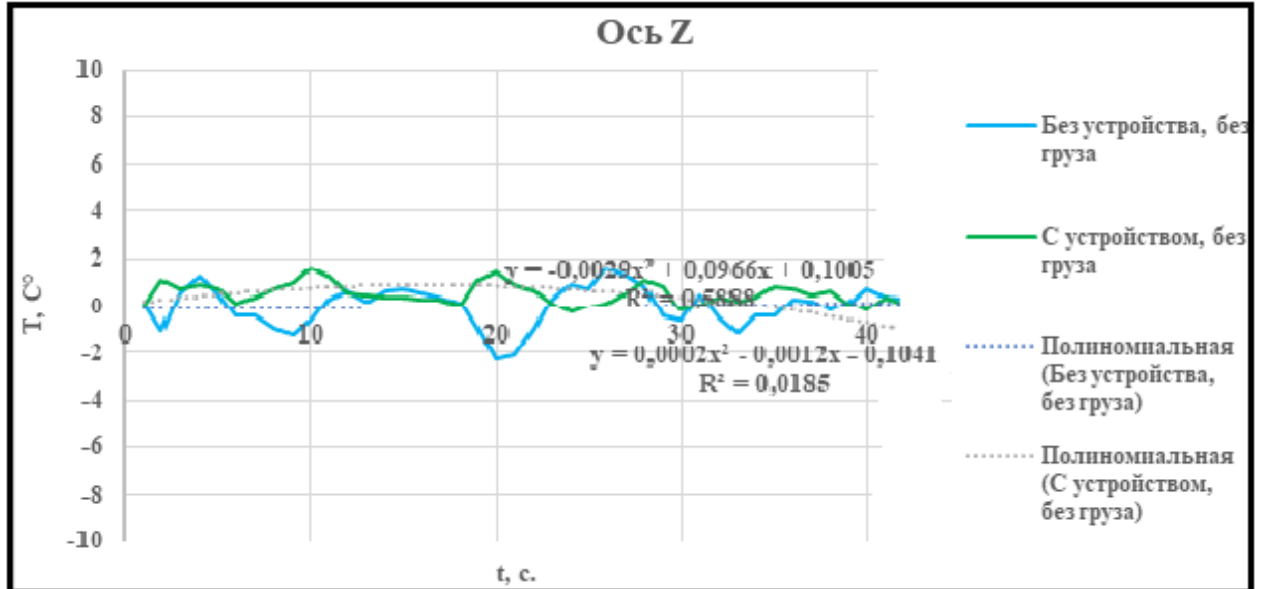


Рисунок 5- Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Z в режиме установившегося движения

Полученные зависимости (рисунок 4) могут быть описаны уравнениями:

Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза

$$y = -0,0029x^2 + 0,0966x + 0,1005. \quad (22)$$

Для экспериментального ТТА со стабилизирующим устройством, без груза

$$y = 0,0002x^2 - 0,0012x - 0,1041. \quad (23)$$

Для серийного ТТА с грузом

$$y = 0,0004x^2 - 0,0372x + 0,6008. \quad (23)$$

Для экспериментального ТТА со стабилизирующим устройством, с грузом

$$y = 0,0019x^2 - 0,4204x + 9,0906.$$

Сравнение полученных показателей и полиномиальных уравнений позволяет сделать вывод, что постановка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации переднего управляемого моста трактора в движении.

Установлено, что при движении по дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием:

-Максимальная амплитуда колебаний по оси X (рисунок 2) экспериментального трактора без груза  $(-1^0-+1^0)$  меньше амплитуды колебаний серийного трактора  $(-2,5^0-+2,5^0)$  на 60 %. Также установлено, что наличие груза в прицепе в целом также стабилизирует положение переднего управляемого моста,

хотя показатели экспериментального ТТА с грузом  $(-0,5^0-+0,5^0)$  также отличны от показателей загруженного серийного ТТА  $(-1,3^0-+1,3^0)$  на 38,4 %;

-Максимальная амплитуда колебаний по оси У (рисунок 3) экспериментального трактора без груза  $(-1^0-+1^0)$  меньше амплитуды колебаний серийного трактора  $(-2,5^0-+2,5^0)$  на 60 %. Также установлено, что наличие груза в прицепе в целом также стабилизирует положение переднего управляемого моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом  $(-0,3^0-+0,3^0)$  также отличны от показателей загруженного серийного ТТА  $(-1,0^0-+1,0^0)$  на 30,0 %;

- Максимальная амплитуда колебаний по оси Z-параметр горизонтального раскачивания (рисунок 4) экспериментального трактора без груза  $(-1,6^0-+1,6^0)$  меньше амплитуды колебаний серийного трактора  $(-2,0^0-+2,0^0)$  на 20 %.

Аналогичные исследования были получены и на дорогах с другими видами дорожного покрытия.

Доказано, что постройка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации переднего управляемого моста трактора в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием. Фиксация по осям колебаний X, Y, Z при движении по дорогам с улучшенным покрытием показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 60%, 30%, 20% в сравнении с серийным агрегатом. Фиксация по осям колебаний X, Y, Z при движении по грунтовым дорогам показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 25%, 28,6%, 60% в сравнении с серийным агрегатом.

Также установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение переднего управляемого моста экспериментального ТТА, при этом результаты по осям колебаний X, Y, Z показывают уменьшение показателей на 38,4 %, 30,0 %, 24% на дорогах с улучшенным покрытием, и на 9,4%, 8,6%, 30% на грунтовых дорогах в сравнении с загруженным серийным агрегатом.

Доказано, что постройка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации заднего ведущего моста трактора в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием. Фиксация по осям колебаний X, Y, Z при движении по дорогам с улучшенным покрытием показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 44,2%, 31,5%, 54,8% в сравнении с серийным агрегатом. Фиксация по осям колебаний X, Y, Z при движении по грунтовым дорогам показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 18,0%, 32,8%, 14,5% в сравнении с серийным агрегатом.

Также установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение заднего ведущего моста экспериментального ТТА, при этом результаты по осям колебаний X, Y, Z показывают уменьшение показателей на 29,1 %, 40,0 %, 54% на дорогах с улучшенным покрытием, и на 38,6%,11,2%, 24,3% на грунтовых дорогах в сравнении с загруженным серийным агрегатом.

Доказано, что постройка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации узла «тягово-сцепное устройство трактора-дышло прицепа» в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием. Фиксация по осям колебаний X, Y, Z при движении по дорогам с улучшенным покрытием показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 35,9%, 76,4%, 68,4% в сравнении с серийным агрегатом. Фиксация по осям колебаний X, Y, Z при движении по грунтовым дорогам показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 64,6%, 70,3%, 41,8% в сравнении с серийным агрегатом.

Также установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение узла «тягово-сцепное устройство трактора-дышло прицепа» экспериментального ТТА, при этом результаты по осям колебаний X, Y, Z показывают уменьшение показателей на 41,6 %, 27,3 %, 5,3% на дорогах с улучшенным покрытием, и на 46,5%,43,8%, 5,3% на грунтовых дорогах в сравнении с загруженным серийным агрегатом.

В ходе исследований зафиксированное отклонение от прямолинейного движения, соответствующее полученным результатам, серийного тракторно-транспортного агрегата составило от 0,152 м до 0,158 м, а у экспериментального тракторно-транспортного агрегата с установленным устройством от 0,132 м до 0,136м., что подтверждает стабилизацию ходовой системы ТТА и качественную коррекцию траектории движения ТТА.

Сравнительный анализ данных показывает, что наибольшей амплитудой колебаний при движении на подъём обладает серийный ТТА без устройства без груза и серийный ТТА без устройства с грузом при этом экспериментальный ТТА с устройством без груза обладает наименьшей амплитудой колебаний переднего управляемого моста. Амплитуда же колебаний экспериментального ТТА с устройством и грузом при движении на подъём на 27 % стабильнее зафиксированной амплитуды колебаний серийного агрегата.

Приведённые результаты показывают, что при движении на спуск наиболее нестабильной колебательной траекторией обладает задний ведущий мост серийного ТТА без устройства без груза, так именно на него передаётся нагрузка прицепа, тогда как показатели экспериментального ТТА по всем исследуемым осям имеют стабильные и малозначительные колебания, что подтверждает

оптимальное перераспределение передаваемого сцепного веса на мосты трактора при помощи установленного устройства.

Представленные данные подтверждают, что наименьшими колебаниями и более стабильной траекторией движения обладает ТТА с устройством без груза и ТТА с устройством и с грузом, при этом совокупность исследуемых показателей позволяет обосновать как углы безопасного использования ТТА, так и предложить рекомендации производству по использованию ТТА в условиях склоновых земель.

В второй главе было предложено для оценки влияния данных факторов использовать дополнительный коэффициент оценивающий стабилизацию движения тракторно-транспортного агрегата.

При этом необходимо учесть тот момент, что для его определения необходимо выявить основные возмущающие факторы, влияющие на стабилизацию движения и в целом на предлагаемый коэффициент. Оценку необходимо проводить в сравнении с серийным вариантом, используемым на перевозке грузов.

Математическая обработка проведённых экспериментальных исследований позволила предложить значения коэффициентов, влияющих на технологические характеристики ТТА и параметры движения- коэффициент поперечной устойчивости, коэффициент продольной устойчивости на подъёме, коэффициент продольной устойчивости на спуске (рисунок 6...8).

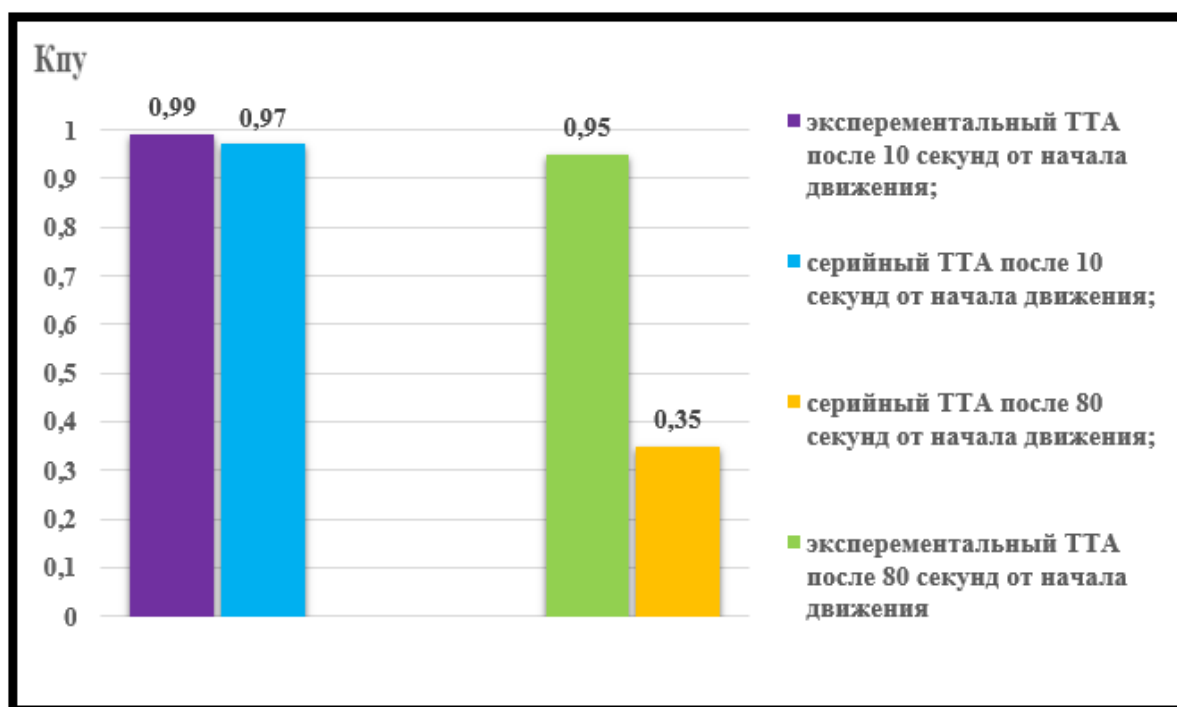


Рисунок 6- Коэффициент поперечной устойчивости

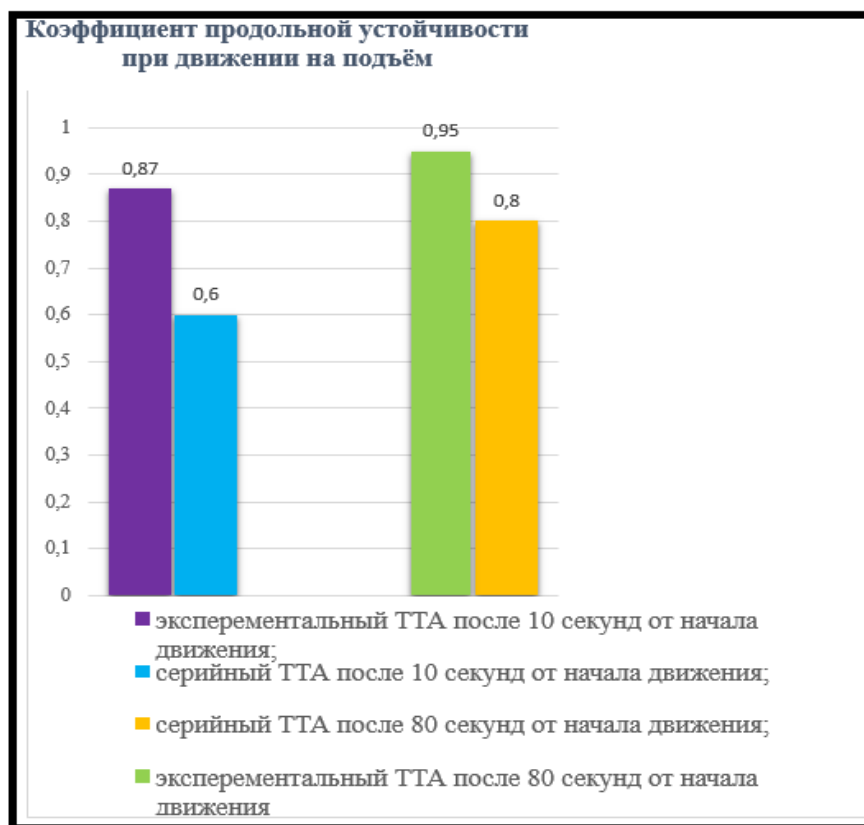


Рисунок 7 - Коэффициент продольной устойчивости на подъёме

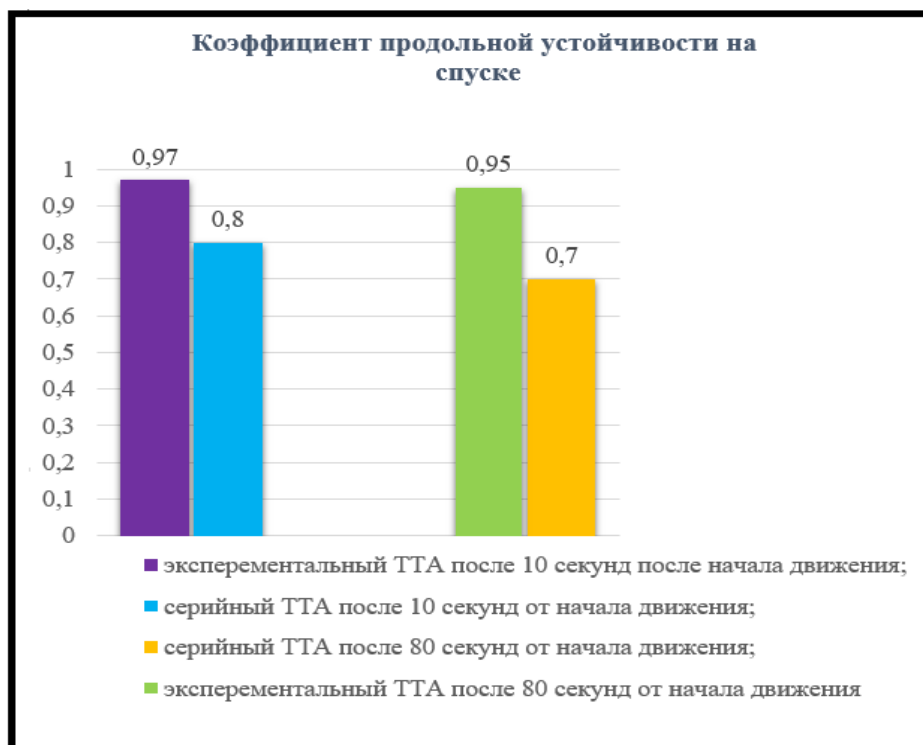


Рисунок 8- Коэффициент продольной устойчивости на спуске

Использование в качестве критерия выше приведённых коэффициентов стабилизации позволяет в целом оценить движение ТТА, определить параметры эффективности и получить базисные данные для дальнейшего расчёта эффективности предлагаемой разработки. В результате проведенных

сравнительных хозяйственных испытаний установлено, что производительность в час основного рабочего времени составила у серийного 6,4 т.км, а с установленным БРУ 8,1 т.км при этом расход топлива снизился с 0,98 до 0,79 л/т.км.

**В пятой главе.** В результате проведённых исследований установлено, что использование ТТА с буксирно-распределяющим устройством позволяет получить экономию энергозатрат в 13,76 МДж/ткм., что в рублёвом эквиваленте по шкале теплотворности дизельного топлива и его стоимости в Амурской области на период май 2023 года за 1л ДТ= 62,0 рубля, составит 19,8 рублей на один тонно-километр.

## ВЫВОДЫ

В результате проведённых теоретических и экспериментальных исследований, выполненных для решения научной задачи по повышению эффективности использования колёсных энергетических средств на транспортных работах в условиях Амурской области сформированы следующие обоснованные выводы:

1. Проанализированы особенности природно-климатических и производственных условий региона, установлено их влияние на эффективность использования ТТА в условиях склоновых земель. Определены перспективы увеличения валового продукта растениеводства региона связаны с повышением урожайности используемых или расширением посевных площадей, что осуществимо на землях центральной и северной земледельческой зоны за счёт обработки залежей и временно неиспользуемых земель, находящихся в основном в ведении КФХ, что сопряжено с выполнением работ и движением энергетических средств в составе агрегатов в условиях наличия поверхностей с высокими поперечными и продольными углами.

2. Предложено методологическое обоснование подбора конструкции устройств для повышения продольной и тракторной устойчивости ТТА в движении, высокоэффективная и малозатратная конструкция «Буксирно-распределяющего устройства» по патенту на РФ № 2753047 на изобретение, а также ряд технических решений, защищённых патентами РФ № 2780683, 2780711, способствующих реализации научной задачи по повышению тягово-сцепных свойств и стабилизации колебаний колёсного тракторно-транспортного агрегата.

3. Выявлено влияние перераспределения сцепного веса и стабилизации колебаний звеньев агрегата на продольную, тракторную устойчивость и эксплуатационно-технологические параметры ТТА в условиях движения по склоновым поверхностям. Предложенный математический аппарат обладает новизной и оригинальностью, защищён охранными Свидетельствами на

программу для ЭВМ № 2022618203, 2023616711, 2023617001. Экспериментально доказано, что постановка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации переднего управляемого моста, заднего ведущего моста трактора, узла «тягово-цепное устройство трактора-дышло прицепа» в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом также стабилизирует положение переднего управляемого моста, заднего ведущего моста экспериментального трактора, узла «тягово-цепное устройство трактора-дышло прицепа».

4. Определено, что наибольшей амплитудой колебаний при движении на подъём обладает серийный ТТА без устройства без груза и серийный ТТА без устройства с грузом при этом экспериментальный ТТА с устройством без груза обладает наименьшей амплитудой колебаний переднего управляемого моста. Амплитуда же колебаний экспериментального ТТА с устройством и грузом при движении на подъём на 27 % стабильнее зафиксированной амплитуды колебаний загруженного серийного агрегата. При движении на спуск наиболее нестабильной колебательной траекторией обладает задний ведущий мост серийного ТТА без устройства без груза, так именно на него передаётся нагрузка прицепа, тогда как показатели экспериментального ТТА по всем исследуемым осям имеют стабильные и малозначительные колебания, что подтверждает оптимальное перераспределение передаваемого сцепного веса на мосты трактора при помощи установленного устройства.

5. Проведены сравнительные хозяйственные испытания серийного и экспериментального ТТА в условиях движения по склоновым поверхностям. Установлено, что постановка предлагаемого устройства позволяет повысить производительность в час основного рабочего времени, при этом снизить удельный расход топлива экспериментального агрегата в сравнении с серийным ТТА.

6. Выполнена экономическая и топливно-энергетическая оценка проведённых исследований, которая показала, что использование ТТА с буксирно-распределяющим устройством позволяет получить экономию энергозатрат в 13,76 МДж/ткм., что в рублёвом эквиваленте по шкале теплотворности дизельного топлива и его стоимости в Амурской области на период май 2023 года за 1л ДТ= 62 рубля, составит 19,8 рублей на один тонно-километр.



**Список основных работ, опубликованных по теме НКР:  
В изданиях, входящих в международную базу цитирования  
Scopus и Web of Science:**

1. Shuravin A, Kushnarev A., Kuznetsov E., Shchitov S., Goncharuk A., Mitrokhina O. Studies on Correction of the Trajectory of a Tractor Train. Fundamental and Applied Scientific Research in the Far East (AFE-2021). Lecture Notes in Networks and Systems, vol.353. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91402-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91402-8_4)

2. Shuravin A, Leonov V, Polikutina E., Kuznetsov E., Shchitov S., Influence of natural production conditions on efficient operation of wheel tractors. BIO Web of Conferences 42, 03003 (2022). International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy” (SDGE 2021). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224203003>

**в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации:**

3. Шуравин А.А. Исследования криволинейного движения транспортных агрегатов/ А.Н. Кушнарев, А.А. Шуравин, Е.С. Поликутина, С.В. Щитов О.П. Митрохина, Н.П. Кидяева // Дальневосточный аграрный вестник.-2021.-№ 1 (57).- С.98-107.

4. Результаты исследований по расширению условий использования тракторно-транспортных агрегатов на склоновых поверхностях/ С.В. Щитов, А.Н. Кушнарев, В.В. Леонов, А.А. Шуравин, Е.С. Поликутина // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3 (45). - 0,44 п.л. (0,58 Мб.) DOI: <https://doi.org/10.51419/20213301>. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st\\_301.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_301.pdf).

5. Шуравин А.А. Результаты сравнительных экспериментальных исследований условий поворота тракторных поездов и соблюдения ширины транспортного коридора/ А.Н. Кушнарев, А. А. Шуравин, В.В. Леонов, Е.В. Панова, А.А. Кислов, С.В. Щитов // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3 (45).- 0,87 п.л. (0,9 Мб.) – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st\\_320.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_320.pdf).DOI: <https://doi.org/10.51419/20213320>

6. Шуравин А.А. Исследования опорных реакций тракторно-транспортного агрегата, оборудованного распределяющим тягово-сцепным устройством/ А.А. Шуравин, А.Н. Кушнарев, В.В. Леонов, О.А. Кузнецова, С.В. Щитов// АПК РОССИИ.-2021.-№ 4(28).-С.498-505.

7. Шуравин А.А. Результаты исследований по использованию тракторных агрегатов на технологических работах/ А.Н. Кушнарев, В.В. Леонов, А.А. Шуравин, Е.В. Панова, С.В. Щитов, Е.И. Решетник// АгроЭкоИнфо: Электронный

научно-производственный журнал. – 2022. – №1(49). – 0,52 п.л. (0,56 Мб.) Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st\\_104.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st_104.pdf).

8. Шуравин А.А. Определение нормальных реакций почвы при работе колёсного агрегата на наклонных поверхностях движения/ А.А.Шуравин, А.Н.Кушнарев, С.В.Щитов, О.А.Кузнецова// Известия Оренбургского государственного аграрного университета.- 2022.- № 2 (94).- С. 143–148.

9. Шуравин А.А. Результаты исследований по обеспечению курсовой устойчивости тракторно-транспортных агрегатов/ А.А. Шуравин, Е.В. Маршанин, Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов, В.Г. Евдокимов, Е.С. Поликутина// Известия Оренбургского государственного аграрного университета.- 2022.- № 6 (98).- С. 108–112. DOI 10.37670/2073-0853

10. Шуравин А.А. К вопросу стабилизации ходовой системы и повышения устойчивости против опрокидывания колесного энергетического средства/ А.А.Шуравин, Н.В.Пономарев, Д.В.Беляков, Е.В.Панова, С.В.Щитов// Дальневосточный аграрный вестник.-2022.-№ 4 (16).- С. 144–150. doi: 10.22450/199996837\_2022\_4\_144.

11. Шуравин А.А. Результаты экспериментальных исследований по стабилизации прямолинейного движения транспортных агрегатов/ А.А. Шуравин, Н.В.Пономарев, Д.В.Беляков, С.В. Щитов, В.В.Петроченко// Известия Оренбургского государственного аграрного университета.- 2023.- № 1 (99).- С. 77-82 DOI 10.37670/2073-0853.

#### ***патенты на изобретение и полезную модель:***

12. Шуравин А.А. Буксирно-распределяющее устройство. Патент на изобретение: пат. № 2753047 Российская Федерация. 2021. Бюл. № 28.

13. Шуравин А.А. Распределяюще-корректирующее тягово-сцепное устройство для полурамного трактора. Патент на изобретение: пат. № 2780683 Российская Федерация. 2022. Бюл. № 28.

14. Шуравин А.А. Буксирно-сцепное устройство с вертикальным регулированием. Патент на изобретение: пат. № 2780711 Российская Федерация. 2022. Бюл. № 28.

#### ***свидетельство о регистрации программы для ЭВМ***

15. Шуравин А.А. Программа расчёта массо-динамических нагрузок при движении энергетического средства в условиях склоновых земель. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023616711: заявка № 2023615691 Российская Федерация. 2023.

16. Шуравин А.А. Программа расчёта опорных реакций колёсного агрегата,

оборудованного распределяюще-стабилизирующим устройством. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023617001: заявка № 2023615501 Российская Федерация. 2023.

17. Шуравин А.А. Программа топливно-энергетического расчёта при экономическом анализе использования мобильного энергетического средства с устройствами для перераспределения сцепного веса на сельскохозяйственных работах. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022618203: заявка № 2022616624 Российская Федерация. 2022.

***в других научных изданиях:***

18. Шуравин А.А. Дисперсионный анализ управляемости многозвенного тракторного поезда в произвольном повороте/ С.В.Щитов, А.Н. Кушнарв, А.А.Шуравин, К.Е. Кузнецов // 63я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения ISSN 2411-1899 Стратегии устойчивого развития мировой науки/ Сборник научных работ 63й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, май 2020). -№ 5(63). - Москва: ЕНО, 2020. —С.125-128 <https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2020/06/esa-may-2020-part2.pdf>

19. Шуравин А.А. Повышение тягово-сцепных свойств колёсного трактора в условиях продольного уклона поверхности движения/ А.А. Шуравин, Е.С. Поликутина// Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: матер. всерос. науч.- практ. конф. (Благовещенск, 21 апреля 2021 г.). В 2 частях. Часть 1.- – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2021. –С.299-302

20. Шуравин А.А. Полевые испытания многозвенного транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством/ А.А.Шуравин, А.Н.Кушнарв, В.В.Леонов, Е.С. Поликутина, С.В.Щитов // 74я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения ISSN 2411-1899 Актуальные вопросы развития науки в мире / Сборник научных работ 74й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, апрель 2021). -№ 4(74). — Москва: ЕНО, 2021.-С.55-57 <https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2021/05/esa-april-2021-part1.pdf>

21. Шуравин А.А. Применение цифровых методов фиксации данных для безразборной диагностики транспортно-технологических машин и комплексов в АПК/ С.С. Ус, А.А. Шуравин, С.В. Щитов, В.В. Петроченко// 83я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения ISSN 2411-1899 Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия/ Сборник научных работ 83й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, январь 2022). -№ 1(83). — Москва: ЕНО, 2022.-С.175-177 <https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2022/02/esa-january-2022-part2.pdf>

22. Шуравин А.А. Буксирно-цепное устройство с вертикальным регулированием для колёсного энергетического средства/ А.А. Шуравин, С.В. Щитов// Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских» – Молодёжный: Иркутский ГАУ, 2022. – С. 87-92 <https://irsau.ru/structure/science/materials.php>

23. Шуравин А.А. Перспективы применения прогрессивных технологий ремонта и восстановления объектов в агропромышленном комплексе России/ С.С.Ус, А.А.Шуравин, Е.В.Маршанин // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: сборник статей XVI Международной научно - практической конференции. – Пенза: Пензен. гос. аграр. ун-т, 2022. – С.156-160.

24. Шуравин А.А. Повышение эффективности использования колёсных энергетических средств на транспортных работах в условиях Амурской области/ А.С. Вторников, А.А. Шуравин// Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции (Благовещенск, 20–21 апреля 2022 г.). Т. 2. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С.47-53 DOI: 10.22450/9785964205470\_2\_6

25. Шуравин А.А. Буксирно-распределяющее устройство для колёсного энергетического средства/ А.А.Шуравин //Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции (Благовещенск, 20–21 апреля 2022 г.). Т. 2. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С.279-283 DOI: 10.22450/9785964205470\_2\_39

26. Шуравин А.А. Результаты экспериментальных исследований по стабилизации движения колесного агрегата/ А.А. Шуравин, С.В. Щитов// Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции (Благовещенск, 20–21 апреля 2023 г.). [В 3 т.]. Т. 2. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ.-2023. – С.282-289. DOI: 10.22450/9785964205401\_2\_282