

На правах рукописи



Леонов Владимир Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТРАКТОРОВ С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ ПРИ
РАБОТЕ С ДИСКОВЫМИ БОРОНАМИ**

Специальность

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Благовещенск - 2025

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

Научный руководитель доктор технических наук, доцент **Воякин Сергей Николаевич**

Официальные оппоненты: **Милютин Владимир Александрович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», кафедра «Технический сервис», профессор

Бережнов Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова», кафедра «Агроинженерия», доцент

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет»

Защита состоится 26 ноября 2025 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.013.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет», (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) по адресу: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, телефон: +7(4162)99-51-79; E-mail: dis35201303@dalga.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» www.dalga.ru

Автореферат разослан «___» 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Панова: Панова Елена Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования и степень разработанности проблемы. Особенностями земледелия в Амурской области являются сжатые сроки проведения операций по обработке почвы, обусловленные поздним созреванием урожая. Так, к примеру после уборки сои, обработать почву осенью не всегда получается из-за перенасыщенности влагой верхнего слоя, заморозков и осадков в виде снега. Основная подготовка почвы под посев происходит в весенне время, когда сроки выполнения работ также ограничены наличием мерзлотного подстилающего слоя, который при повышении окружающей температуры воздуха начинает таять, в связи с чем снижается несущая способность слоя почвы.

Наиболее эффективно в жестких условиях Амурской области, а также для обработки больших площадей является применение прицепных дисковых борон, которые работают с дисками диаметром от 650 мм со скоростью 6–12 км/ч и агрегатируются колёсными полурамными энергетическими средствами 5-8 классов тяги. За один проход они способны полностью подготовить пашню под посев, измельчив и заделав на оптимальную глубину растительные остатки предшественников и одновременно культивировать заброшенные сельхозугодия, осущенные заболоченные участки и выровнять поверхность пашни.

При использовании тяжелых дисковых борон необходимым является обеспечение достаточной нагрузки на рабочий орган-диск. Повысить эффективность процесса боронования возможно за счет корректирования сцепного веса в звене трактор-борона и использованием специальных догружающих устройств, представляющих возможность перераспределения. Вместе с тем в работе машинно-тракторного агрегата (МТА) необходимо соблюсти необходимое условие баланса между нагрузкой на рабочий орган и тягово-цепными качествами трактора при низкой несущей способности почвы.

Таким образом возникает необходимость поиска решений изложенной задачи, применением дополнительного устройства, способного регулировать полезную нагрузку между трактором с шарнирно-сочлененной рамой и тяжелой бороной, что позволит повысить эффективность МТА при снижении металлоёмкости и расхода топлива. Приведённым обзором обосновано направление дальнейших исследований для поиска технических решений по траектории перераспределяющих устройств, как наиболее результативных и высокоэффективных в рассматриваемой области техники.

Для этого сформулирована и предложена **научная гипотеза**, заключающаяся в том, что перераспределение веса между звеньями машинно-тракторного агрегата будет способствовать как улучшению качества и глубины обработки почвы без использования дополнительного балласта для боронь, так и повышению тягово-цепных свойств мобильного энергетического средства.

Цель исследования – повышение эффективности использования МТА на бороновании за счёт применения дополнительного устройства, перераспределяющего сцепной вес между трактором и бороной дисковой тяжелой.

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

1) проанализировать региональные особенности АПК и их влияние на процесс подготовки почвы, существующие приёмы и методы почвенной обработки, обосновать пути повышения эффективности использования МТА на бороновании;

2) проанализировать перспективные направления повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании и предложить схему устройства для перераспределения сцепного веса машинно-тракторного агрегата в составе колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой и бороной дисковой тяжелой;

3) теоретически обосновать и экспериментально проверить влияние предлагаемого устройства на перераспределение нагрузки между опорными поверхностями энергетического средства и рабочими органами боронь;

4) провести испытания экспериментального и серийного машинно-тракторного агрегата в производственно-климатических условиях Амурской области при обработке почвы;

5) дать экономическую и топливно-энергетическую оценку проведённых исследований.

Объект исследования – процесс подготовки почвы под посев машинно-тракторным агрегатом в составе колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой и боронами дисковой тяжелой.

Предмет исследований – изучение закономерностей влияния корректирования нагрузки в системе МТА на эксплуатационные и технологические показатели колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой при работе с бороной дисковой тяжелой при подготовке почвы.

Научная новизна заключается в исследовании и обосновании причинных факторов и закономерностей, проявляющихся при перераспределении сцепного веса составляющих машинно-тракторного агрегата. Получены аналитические выражения, позволяющие описать влияние предложенного устройства – корректора-распределителя сцепного веса на тягово-сцепные свойства, скоростные характеристики, качество и глубину обработки почвы, эффективность использования тракторов с шарнирно-сочлененной рамой при работе с дисковыми боронами. Изобретательский уровень и практическая применимость предложенных аналитических и технических решений подтверждены патентами РФ на объекты интеллектуальной собственности и свидетельствами на программу для ЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Обоснованы и экспериментально исследованы в условиях эксплуатации Амурской области новые подходы, позволяющие повысить эффективность применения способов перераспределения сцепного веса в составе машинно-тракторного агрегата, способствующие более рациональной реализации тягово-сцепных свойств колёсной ходовой системы на почвах с недостаточной несущей способностью. Доказано, что использование предлагаемого устройства в составе машинно-тракторного агрегата повысит тягово-сцепные свойства колёсного трактора с шарнирно-сочлененной рамой, снизит воздействие колёсных движителей на почву за счёт уменьшения буксования, и как следствие улучшит временные, экономические и качественные показатели при обработке почвы. Полученные экспериментальные зависимости позволяют сократить затраты времени и материальных средств при конструировании, изготовлении, внедрении, совершенствовании и доработке серийных машинно-тракторных агрегатов, используемых при подготовке почвы под посев.

Материалы исследований внедрены и используются в технологии растениеводства, применяемой в ООО «СОЮЗ», КФХ «Жуковин С.А» Ивановского района Амурской области.

Результаты исследований по повышению эффективности применения машинно-тракторного агрегата с шарнирно-сочлененной рамой на бороновании за счет изменения сцепного веса, посредством предлагаемого устройства, используются в учебном процессе на кафедре транспортно-энергетических средств и механизации АПК, кафедре эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования по влиянию процессов, сопровождаемых перераспределением сцепного веса, между составными частями машинно-тракторного агрегата, на производительность, экономичность и эффективность предпосевной обработки почвы проведены с применением методов теоретической и прикладной механики, теории расчёта деталей машин и принципов конструирования. Производственные эксперименты проводились в ходе подготовки почвы под посев в условиях реальной эксплуатации в Амурской области. Результаты, полученные при проведении экспериментов, были обработаны в соответствии с современными методами теории вероятностей, математической статистики и перспективного планирования экспериментальных исследований с применением программных продуктов «Sigma Plot 11.0», «Mathcad». Проведен регрессионно-дисперсионный анализ результатов исследования использования корректора-распределителя сцепного веса в составе машинно-тракторного агрегата.

Основные положения, выносимые на защиту:

- способ повышения тягово-сцепных свойств колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой при работе с дисковыми боронами в условиях Амурской области;

– аналитические зависимости, определяющие влияние устройства для перераспределения силовых нагрузок между звеньями машинно-тракторного агрегата на его тягово-сцепные свойства, технологические и эксплуатационные характеристики;

– показатели сравнительных производственных испытаний, экономической и энергетической эффективности использования серийного МТА и экспериментального МТА с корректором-распределителем сцепного веса.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается сходимостью теоретических показателей и экспериментальных результатов, полученных в производственных условиях эксплуатации колесных тракторов с шарнирно-сочлененной рамой и дисковых борон.

Результаты докторской работы доложены, обсуждены и одобрены на тематических научных конференциях ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ (2021 - 2025 гг.), национальных и международных научно-практических конференциях: X Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в АПК, теория и практика» (Пенза, 2022 г.), X Национальной научно-практической конференции с международным участием (Молодежный 2022 г.), а также используются в учебном процессе на кафедре транспортно-энергетических средств и механизации АПК» (ТЭС и МАПК) ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, что дает право сделать обоснованный вывод о достаточной полноте отражения результатов исследования в научных публикациях и высокой степени апробации.

Публикации. Основные положения докторской работы опубликованы в сборниках национальных и международных научно-практических конференций, научных трудов ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, в научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки Российской Федерации: «Вестник Ульяновской ГСХА» (К1), «Сельский механизатор» (К2), «Известия Оренбургского государственного аграрного университета» (К2), «Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ» (К2), «Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова» (К2), «Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии» (К2), «Вестник Алтайского государственного аграрного университета» (К2), «Нива Поволжья» (К2).

В перечень работ, опубликованных по теме докторской, включено 24 публикации, в том числе двенадцать статей в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, получено 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и 3 патента на объекты интеллектуальной собственности.

Структура и объём докторской. Докторская состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, состоящего из 140 наименований и приложений. Общий объем работы составляет 166 с., содержит 102 рисунка и 18 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, изложена степень её разработанности, представлены цель и задачи исследования, 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 приведен анализ земельного потенциала региона, производственных мощностей машинно-тракторного парка и возможностей по почвообработке. Рассмотрены перспективные направления повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании. Обосновано направление дальнейших исследований для поиска технических решений по применению перераспределяющих устройств, как наиболее результативных и высокоэффективных в рассматриваемой области техники.

Проблеме обработки почвы и повышения эффективности использования почвообрабатывающих машин и механизмов посвящены многие труды. Среди них работы авторов Горячина В.П., Желиговского В.А., Синеокова Г.Н., Апажева А.К., Аушева М.Х., Багманова Р.С., Беляева А.Н., Валиева А.Р., Голубева В.В., Демко А.Н., Егорова А.С., Кузнецова Е.Е., Макеевой Ю.Н., Мезниковой М.В., Никифорова М.В., Николаева В.А.,

Поликутиной Е.С., Раймера У.Т., Слепенкова А.Е., Старовойта С.И., Теличкиной Н.А. и других ученых.

Одним из основных требований, предъявляемых к дисковым боронам – это возможность заглубления диска на заданную глубину согласно агротехническим требованиям. Соблюдение заданной глубины обработки в первую очередь зависит от конструктивно-технологических параметров бороны, обусловленных почвенно-климатическими условиями региона, для которого предназначена данная борона. Как показывают исследования, выпускаемые промышленностью дисковые бороны не всегда обеспечивают заданную глубину обработки на тяжёлых почвах, характерных для Амурской области. Основная причина заключается в недостаточной вертикальной нагрузке на рабочий орган. Вопрос регулирования вертикальной нагрузки на рабочий орган бороны является актуальным и важным для земледелия Дальневосточного региона, так как позволит обеспечить оптимальную глубину обработки для любых типов почв.

Проведённый анализ известных исследований в вопросе повышения эффективности использования агрегатов предпосевной обработки почвы, наличия средств механизации в хозяйствах области и обзор существующих конструкций сельскохозяйственных орудий позволяет сформулировать требования к перспективной конструкции бороновального агрегата, обосновать направление патентного поиска и способы формирования высокоэффективного устройства, использующего модульные принципы построения и механизмы перераспределения веса, как наиболее оптимальные для использования в условиях агропромышленного комплекса Амурской области.

Таким образом, для повышения эффективности обработки почвы тяжелыми дисковыми боронами актуальным является вопрос обеспечения достаточной нагрузки на рабочие органы – диски, обеспечения курсовой устойчивости МТА и соблюдении баланса между нагрузкой на рабочий орган и тягово-цепными качествами трактора в различных условиях. Возникла необходимость поиска технического решения проблемы, применением дополнительного устройства, способного регулировать нагрузку на рабочие органы бороны и движители трактора с шарнирно-сочлененной рамой путем перераспределения.

Во второй главе для реализации предлагаемых направлений повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании в результате патентного поиска предложена конструкция корректора-распределителя сцепного веса, на которую получен патент на изобретение RU 2782360.

Принципиальная схема устройства предложена на (рисунке 1).

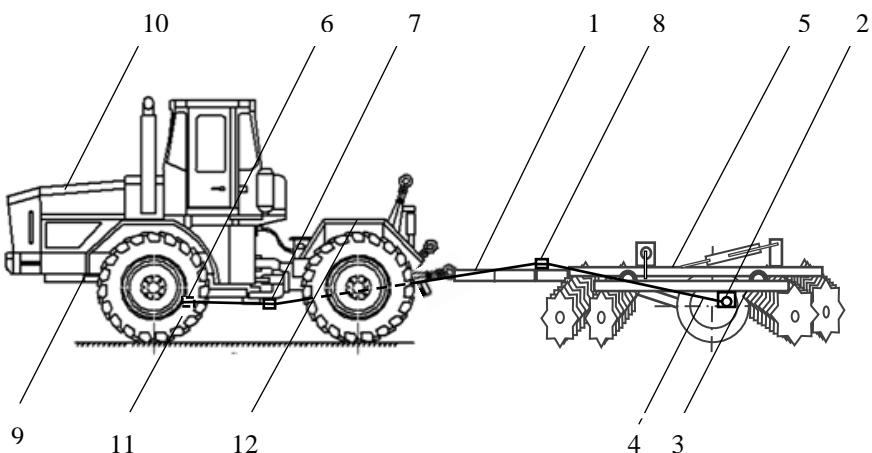


Рисунок 1 – Принципиальная схема корректора-распределителя сцепного веса боронового машинно-тракторного агрегата: 1- гибкая тросовая силовая связь, 2 – установочный кронштейн, 3 – боковая балка центральной рамы бороны, 4 – центральная рама бороны, 5 – борона, 6 – опорный блок-ролик, 7 – двойной блок-ролик на кронштейне; 8 – поддерживающий блок-ролик, 9 – передняя полурама, 10 – трактор, 11 – опорный кронштейн, 12 – задняя полурама

Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата изготовлен в виде устройства, содержащего гибкую тросовую силовую связь 1, закрепленную окончаниями в установочных кронштейнах 2, фиксированных на нижней центральной части боковых балок 3 центральной рамы 4 бороны 5, и систему блок-роликов 6,7,8. При этом тросовая силовая связь 1 проходит через два опорных одинарных блок-ролика 6, установленных в нижней части передней полурамы 9 трактора 10 на опорном кронштейне 11, двойной блок-ролик 7, закрепленный в нижней части задней полурамы 12 трактора 10 в месте горизонтального смещения полурам в повороте, тягово-сцепное устройство трактора 10, два поддерживающих одинарных блок-ролика 8, установленных на фронтальной части центральной рамы 4 бороны 5.

Для анализа работы корректора-распределителя сцепного веса машинно-тракторного агрегата рассмотрена составная конструкция в трех положениях:

- нейтральное – без работы корректора-распределителя сцепного веса МТА;
- при работе корректора-распределителя сцепного веса МТА:
- при поднятой задней навеске,
- при опущенной задней навеске.

На основании проведенных исследований были получены аналитические зависимости, позволяющие определить реакции опорных поверхностей машинно-тракторного агрегата при нейтральном положении предлагаемого устройства (гибкая тросовая связь устройства не натянута) (рисунок – 2):

- под передним движителем энергетического средства:

$$R_{\text{перед}} = \frac{G_n - N_T}{2} = 0,5G_n - 0,5G_H \frac{a_H C}{c_H(B-d_n)} + 0,5 \frac{G_3 a_3}{B-d_n} \quad (1)$$

- под задним движителем энергетического средства:

$$R_{\text{зад}} = N_T^{\text{I}} + G_3 + y_d = 0,5G_H \frac{a_H C}{c_H(B-d_n)} - 0,5 \frac{G_3 a_3}{(B-d_H)} + 0,5G_3 + 0,5G_H \frac{a_H}{c_H} \quad (2)$$

- под передней батареей дисковой бороны:

$$R_1 = 0,5G_6 \left(1 - \frac{a_6}{b} \right) + 0,5 \left(1 + \frac{f}{b} \right) \left(G_d + G_H \frac{(c_H - a_H)}{c_H} \right) \quad (3)$$

- под задней батареей дисковой бороны:

$$R_2 = \frac{G_6 a_6 - 2y_k f}{2b} = 0,5G_6 \frac{a_6}{b} = 0,5G_d \frac{f}{b} - 0,5 \frac{G_H(c_H - a_H)f}{c_H b} \quad (4)$$

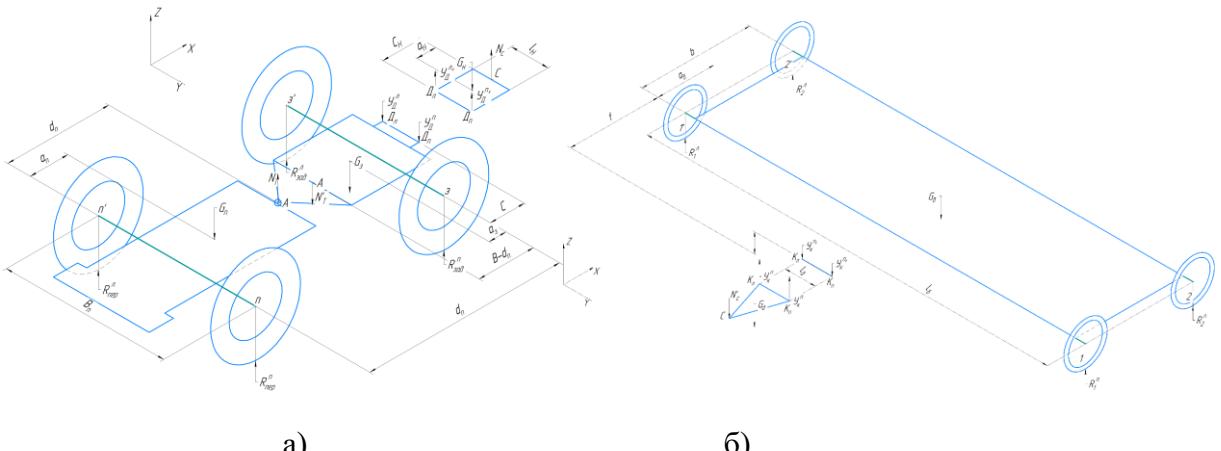


Рисунок 2 – Схемы определения силовых нагрузок, действующих на опорные поверхности машинно-тракторного агрегата (нейтральное положение): а – трактор; б – борона, где G_n ; G_3 ; G_H ; G_d ; G_6 – вес, соответственно, переднего и заднего мостов, навески, дышло, бороны, Н; В – база трактора продольная, м; B_n – база трактора поперечная, м; d_n – расстояние

от точки опоры переднего моста трактора до шарнира А, м; a_n – расстояние от точки опоры переднего моста трактора до центра тяжести передней полурамы, м; В - d_n – расстояние от точки опоры заднего моста трактора до шарнира А, м; a_3 – расстояние от точки опоры заднего моста трактора до центра тяжести задней полурамы, м; С – расстояние от точки опоры заднего моста трактора до вала рычагов, м; С_н – расстояние от вала рычагов до точки С, м; a_h – расстояние от точки С до центра тяжести навески, м; l – длина дышла бороны, м; a_d – расстояние от центра тяжести дышла до линии шарниров K_p и K_l , м; l_d – ширина дышла бороны, м; l_b – расстояние от точки опоры правой батареи до точки опоры левой батареи бороны, м; b – расстояние от точки опоры передней батареи до точки опоры задней батареи бороны, м; f – расстояние от точки опоры передней батареи бороны до шарнира К, м.

Рассмотрена работа предлагаемого устройства в случае, когда гибкая тросовая связь предлагаемого устройства натянута навеской трактора вверх (для увеличения тягово-цепных свойств трактора и уменьшения глубины погружения рабочих органов бороны в почву (рисунок 3).

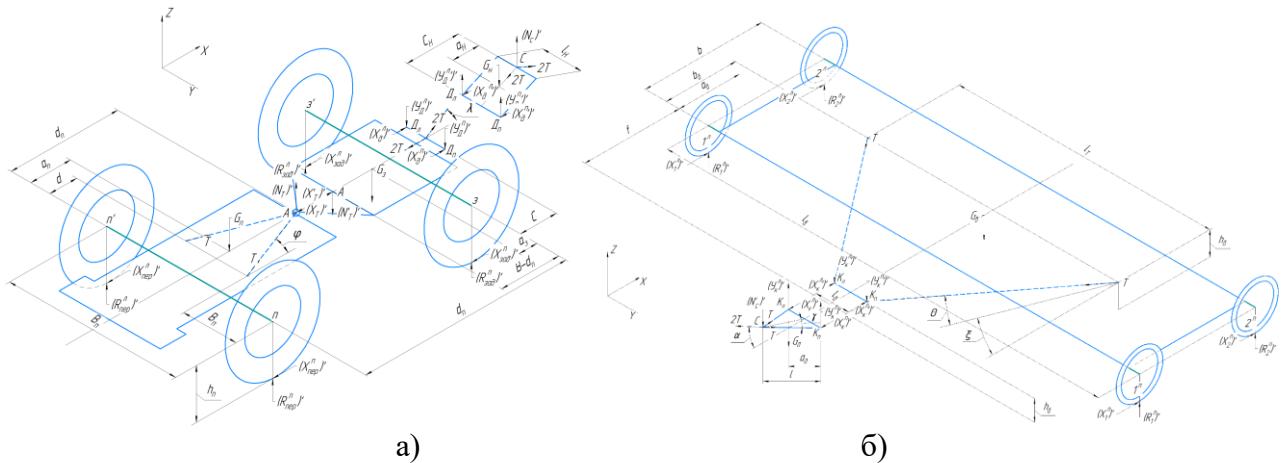


Рисунок 3 – Схемы распределения силовых реакций, действующих на опорные поверхности МТА, при работе устройства (при поднятии навески трактора); а – трактор; б – борона

При поднятии навески происходит:

– увеличении нагрузки на передние и задние движители (выражение 5, 6):

$$\Delta_{\text{пер}} = T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta) + T \frac{c}{B} (\cos \beta \tan \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) \quad (5)$$

$$\Delta_{\text{зад}} = T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta) + T (\cos \beta \tan \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) \left(\frac{Tc}{B} + 1 \right) \quad (6)$$

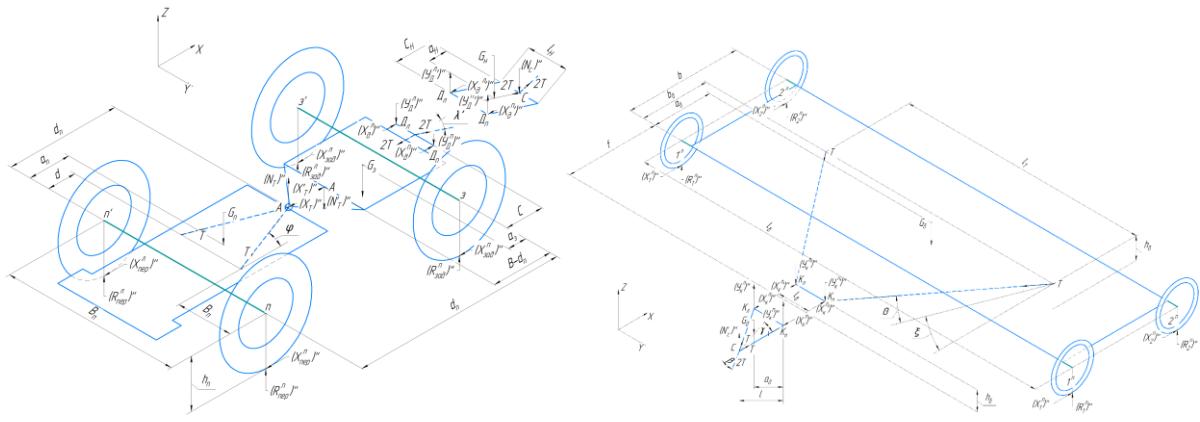
– уменьшение нагрузки на борону (выражение 7, 8):

$$\Delta_1 = -T (\sin \alpha + \cos \beta \tan \alpha + \cos \gamma \sin \beta - \sin \beta) \left(1 + \frac{f}{b} \right) + T \sin \Theta \left(\frac{b_6}{b} - 1 \right) + \quad (7)$$

$$\frac{h_k}{b} T \cos \beta (1 - \cos \gamma) + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b}$$

$$\Delta_2 = -\frac{T \sin \Theta b_6}{b} - \frac{f}{b} T (\sin \alpha + \cos \beta \tan \alpha + \cos \gamma \sin \beta - \sin \beta) - \frac{h_k}{b} T \cos \beta (1 - \cos \gamma) - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \quad (8)$$

Определены вертикальных реакций поверхности на МТА при работе корректора-распределителя сцепного веса при опущенной навески трактора (рисунок – 4).



а)

б)

Рисунок 4 – Схемы распределения силовых реакций, действующих на опорные поверхности МТА, при работе устройства (при опускании навески трактора): а – трактор; б – борона

Использование предлагаемого устройства позволяет:

– уменьшить сцепной вес приходящейся на передний и задний мосты (выражение 9, 10):

$$\Delta'_{\text{пер}} = -T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') - \frac{CT}{B} (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \sin \alpha') \quad (9)$$

$$\Delta'_{\text{зад}} = -T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') - \frac{CT}{B} (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \sin \alpha') + T(\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \sin \alpha') \quad (10)$$

– увеличить нагрузку, приходящуюся на борону (выражение 11, 12):

$$\Delta'_1 = T(\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \cos \gamma \sin \beta') \left(1 + \frac{f}{b}\right) - T \frac{h_K}{b} (\cos \gamma \cos \beta' - \cos \beta') - T \sin \Theta \left(1 - \frac{b_6}{b}\right) + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \quad (11)$$

$$\Delta'_2 = T \frac{f}{b} (\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \cos \gamma \sin \beta') + T \frac{h_K}{b} (T \cos \gamma \cos \beta' - \cos \beta') - T \sin \Theta \frac{b_6}{b} - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \quad (12)$$

Таким образом использование корректора-распределителя сцепного веса МТА при бороновании позволит перераспределить вертикальную нагрузку как между трактором и бороной, так и между мостами колёсного энергетического средства, что дает возможность как регулировать глубину заглубления рабочих органов бороны так и повысить тягово-цепные характеристики трактора.

В третьей главе приводится методика и условия экспериментальных исследований. Для подтверждения адекватности полученных теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации (производственные испытания). Были поставлены следующие задачи: изготовить опытный образец предлагаемого устройства; провести экспериментальные исследования по определению влияния предлагаемого устройства на распределение нагрузки между звеньями машинно-тракторного агрегата; провести сравнительные хозяйствственные испытания серийного и экспериментального МТА в производственных условиях; выявить влияние предлагаемого МТА (с установленным устройством) на физико-механические характеристики почвы. Исследования проводились по общим и частным методикам с использованием математического моделирования эксперимента и методов регрессивного анализа.

При этом замерялись следующие параметры: нагрузка на передние и задние мосты энергетического средства; нагрузка на рабочие органы бороны; усилие, передаваемое при работе устройства; тяговое усилие на крюке трактора; расход топлива; угол наклона тяг навески

(длина выхода штока гидроцилиндра); пройденный путь; влажность почвы; твёрдость почвы; глубину колеи; глубину обработки почвы; качество обработки почвы. Для определения вышеупомянутых параметров использовались измерительные приборы и инструменты. Опытные испытания проводились в реальных условиях эксплуатации МТА в Амурской области. При сравнительных хозяйственных испытаниях использовался метод сплошного хронометража. 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. Исследования проводили с одним и тем же трактором К-701 и бороной БДТ-7 для получения достоверных данных. Производственную проверку проводили на базе КФХ Жуковин А.С. Ивановского района, земли которого являются типичными для Амурской области – лугово-черноземовидные с уклоном рельефа до 2^0 (рисунок 5).



Рисунок 5 – Фрагменты испытаний экспериментального МТА с корректором-распределителем сцепного веса

При подготовке почвы с использованием дисковых борон и колёсных энергетических средств возникает необходимость корректировать нагрузку, как на ведущие движители, так и на рабочие органы в зависимости от физико-механических свойств почвы и её состояния. Это объясняется тем, что почва по своему составу на разных участках различная и для качественной обработки возникает необходимость корректировать нагрузку на рабочие органы (диски).

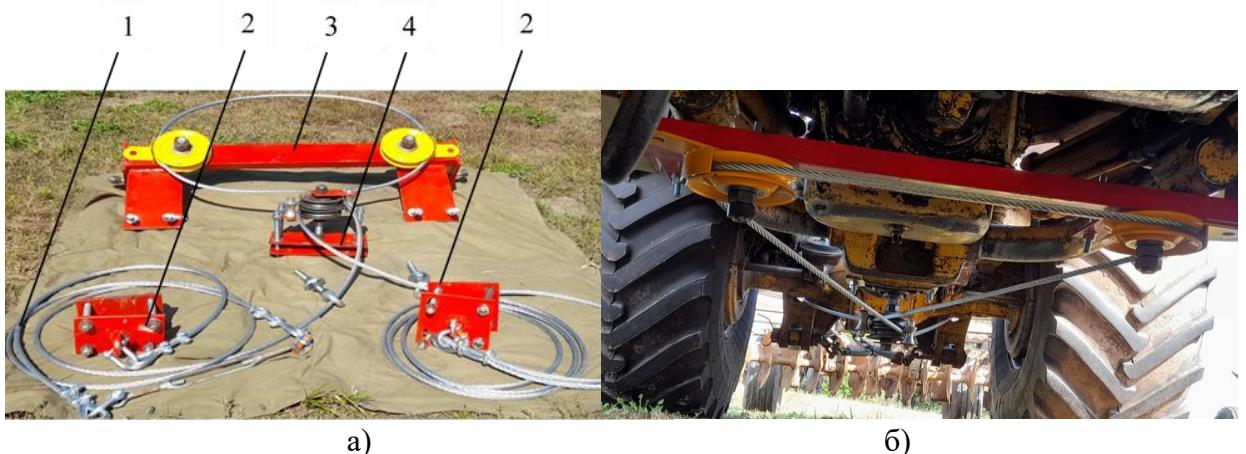


Рисунок 6 – Корректор-распределитель сцепного веса: а) подготовленный к установке: 1 – гибкая тросовая силовая связь, 2 – установочный кронштейн, 3 – передняя балка с опорными блок-ROLиками, 4 – двойной блок-ROLик на кронштейне; б) установленный на МТА.

Одним из способов решения этой проблемы установка дополнительного устройства корректора-распределителя сцепного веса (патент на изобретение RU 2782360) (рисунок 6).

Перераспределение нагрузки осуществляется за счёт гибкой тросовой связи, установленной между трактором и дисковой бороной. Изменение нагрузки в тросовой части регулировалось длиной выхода штока гидроцилиндра и углом наклона навески трактора.

При этом необходимо отметить, что предлагаемое устройство работает как на передачу части нагрузки с трактора на борону (при увеличении длины выхода штока от нейтрального положения) так и на передачу части нагрузки, при необходимости, с бороны на трактор (при уменьшении длины выхода штока от нейтрального положения). Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи устройства при увеличении длины штока гидроцилиндра и угла наклона навески представлена на рисунке 7.

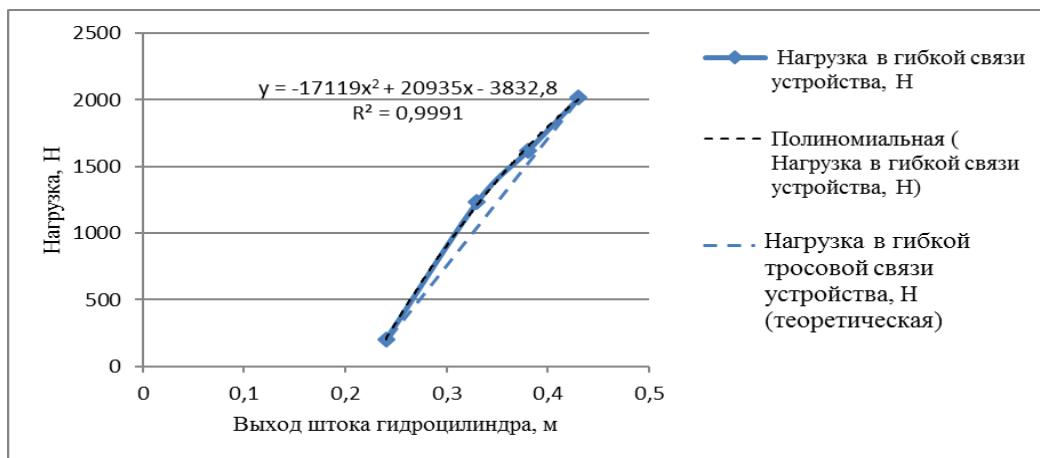


Рисунок 7 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи устройства от выхода штока гидроцилиндра навески
(при передаче нагрузки с трактора на борону)

Анализируя полученную зависимость (рисунок 7) изменения нагрузки в тросовой связи устройства необходимо отметить, что при увеличении длины штока гидроцилиндра (от нейтрального положения) нагрузка в гибкой тросовой связи возрастает от 201 Н при длине штока гидроцилиндра 0,24 м до 2015 Н при длине штока 0,43 м. Регулирование величины нагрузки на рабочие органы бороны очень важно. Особенно в условиях Амурской области, где происходит неравномерное оттаивание верхнего плодородного слоя и для обеспечения необходимой глубины обработки требуется увеличение нагрузки на рабочие органы в местах наличия мерзлотного основания.

Аналогичные исследования были проведены по определению зависимости нагрузки в гибкой связи устройства при уменьшении длины штока гидроцилиндра и угла наклона навески (рисунок 8).

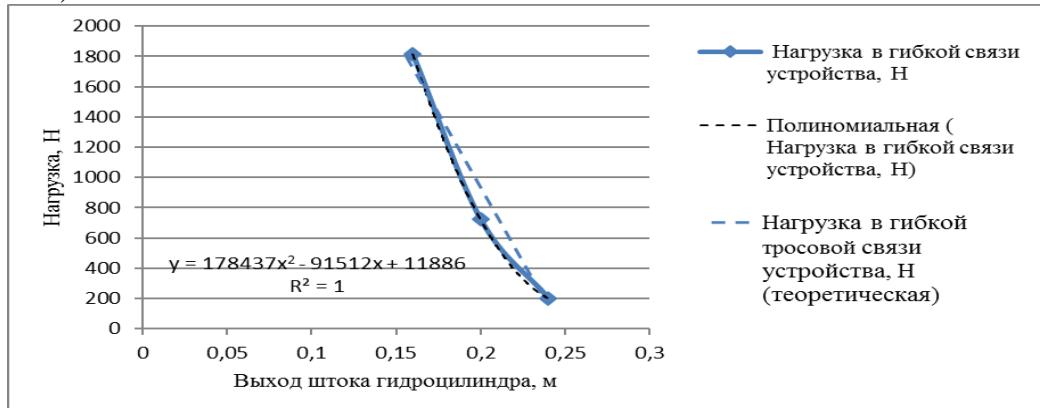


Рисунок 8 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи от выхода штока гидроцилиндра навески (при передаче нагрузки с бороной на трактор)

В результате проведенных исследований (рисунок 8) установлено, что при уменьшении длины выхода штока от 0,24 м до 0,16 м произошло увеличение нагрузки в гибкой тросовой связи устройства с 201 Н до 1812 Н. При проведении ранневесенних сельскохозяйственных работ, связанных с подготовкой почвы к посевным работам, наблюдается наличие небольших участков, на которых для повышения тягово-цепных свойств необходима кратковременная дополнительная нагрузка на движители.

Кроме этого, было определено влияние корректора-распределителя сцепного веса на перераспределение нагрузки между мостами энергетического средства и нагрузки приходящейся на рабочие органы дисковой бороны (таблицы - 1, 2).

Таблица 1 – Распределение нагрузки внутри МТА, при передаче нагрузки с бороны на трактор при уменьшении длины выхода штока гидроцилиндра относительно нейтрального положения

Измеряемые величины	Положение навески		
	макс поднята	промеж положение	(устройство выключено)
Длина выхода штока гидроцилиндра навески, м	0,16	0,20	0,24
Нагрузка на передний мост трактора, Н	80216	79608	78901
Нагрузка на задний мост трактора, Н	41102	40912	40703
Нагрузка на борону, Н	29009	29781	30502
Нагрузка в гибкой тросовой связи устройства, Н	1812	721	201

Установлено, что использование корректора-распределителя позволяет корректировать нагрузку внутри МТА – догружать или разгружать ведущие мосты трактора и рабочие органы тяжёлой дисковой бороны.

Таблица 2 – Распределение нагрузки внутри МТА, при передаче нагрузки с трактора на борону при увеличении длины выхода штока гидроцилиндра относительно нейтрального положения

Измеряемые величины	Положение навески			
	промеж положение (устройство выключено)	рабочее положение	промеж положение	макс загружена
Длина выхода штока гидроцилиндра навески, м	0,24	0,33	0,38	0,43
Нагрузка на передний мост трактора, Н	78901	77163	76896	76415
Нагрузка на задний мост трактора, Н	40703	40227	39954	39704
Нагрузка на борону, Н	30502	32081	32802	33545
Нагрузка в гибкой связи устройства, Н	201	1235	1620	2015



Рисунок 9 – Фрагмент проведения производственной проверки работы корректора-распределителя

Состояние поверхности поля при проведении работ на различных участках поля не одинаковое и требует принятие противоположных решений, связанных с повышением тягово-цепных свойств (догрузка ведущих мостов) или улучшения качества подготовки почвы (догрузка рабочих органов). В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по определению влияния корректора-распределителя на ряд эксплуатационных показателей, которые приведены в таблице 3 и на рисунке 9.

На основании полученных данных приведенных в таблице 3 установлено, что использование корректора-распределителя позволило повысить глубину обработки за счёт увеличения нагрузки приходящейся на рабочие органы тяжёлой дисковой боронь с 0,18 м до 0,20м. Таким образом за счёт изменения нагрузки, приходящейся на рабочий орган боронь можно изменять глубину обработки без использования каких-либо дополнительных догружателей, за счёт перераспределения веса в системе МТА. Наряду с этим при одинаковой глубине обработки использование корректора-распределителя сцепного веса обеспечивает повышение тягово-цепных характеристик энергетического средства, посредством снижения коэффициента буксования (рисунок 9).

Таблица 3 – Изменение параметров боронования при разных режимах работы корректора-распределителя сцепного веса

Эксплуатационно-технологические параметры МТА	Положение навески МТА		
	при отключенном корректоре-распределителе сцепного веса	при включенном корректоре-распределителе сцепного веса	при включенном устройстве с целью повышения тягово-цепных свойств энергетического средства
усилие на буксирующем крюке, Н	16191	20810	16195
скорость движения МТА, м/с	3,3	3,2	3,7
расход топлива, л/га	6,8	7	6,3
глубина обработки почвы	0,18	0,20	0,18

При проведении производственных испытаний было определено влияние корректора-распределителя сцепного веса бороновального агрегата на качество обработки почвы:

– результаты оценки выравненности поля после обработки показали, что экспериментальный МТА обеспечивает более качественное выравнивание – 3 балла, по сравнению с серийным образцом – 2 балла. Это объясняется тем, что при увеличении нагрузки на рабочий орган бороны, происходит снижение обратного отрицательного воздействия почвы на диски и увеличение вертикальной составляющей силы, передаваемой на борону, что способствует более эффективному выравниванию обрабатываемой поверхности;

– комковатость почвы после обработки экспериментальным и серийным МТА составила 2 балла в обоих случаях;

– экспериментальное определение глубины колеи, образованной задними движителями трактора при движении по необработанному полю, показало, что значения для серийного и экспериментального образцов практически совпадают и находятся в пределах 0,04 – 0,06 м.

В результате проведенной производственной проверки доказана работоспособность предлагаемого корректора-распределителя.

На основании проведенных исследований процесса подготовки почвы трактором с шарнирно-сочленённой рамой и установленным «корректором-распределителем сцепного веса» для лучшего анализа влияния различных конструктивно-технологических параметров на глубину обработки почвы, был проведен многофакторный эксперимент.

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров корректора-распределителя сцепного веса на глубину обработки почвы определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

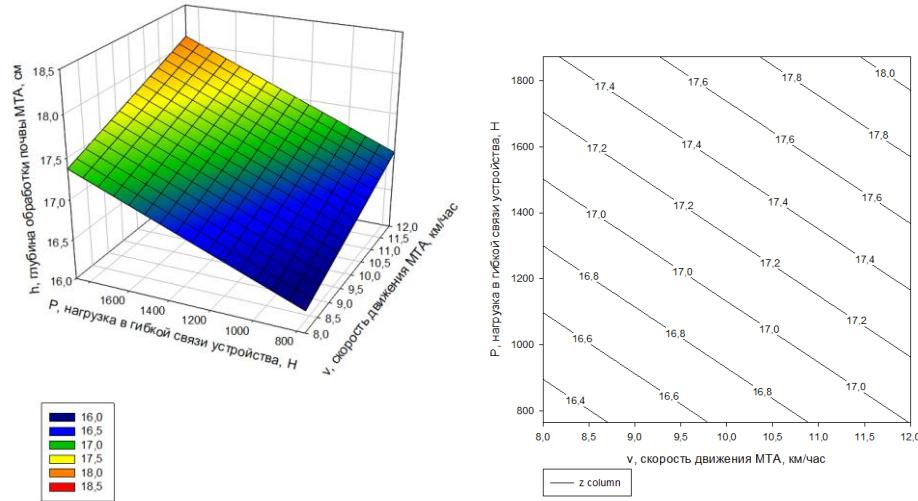


Рисунок 10 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от X_2 (v) и X_3 (P) (при зафиксированном на нулевом уровне X_1 ($\alpha = 25$ град.)).

$$h = 14,05 + 0,183v + 0,00099P \quad (13)$$

Факторами были выбраны $x_1 - \alpha$, град – угол положения навески трактора, $x_2 - v$, км/ч – скорость движения МТА и $x_3 - P$, Н – нагрузка в гибкой связи корректора-распределителя сцепного веса. Результирующей функцией выбрана $Y_1 - h$, см – глубина обработки почвы.

При построении поверхностей откликов (использовалась программа SigmaPlot v.11.0) варьировались три фактора (рисунок 10 – 12).

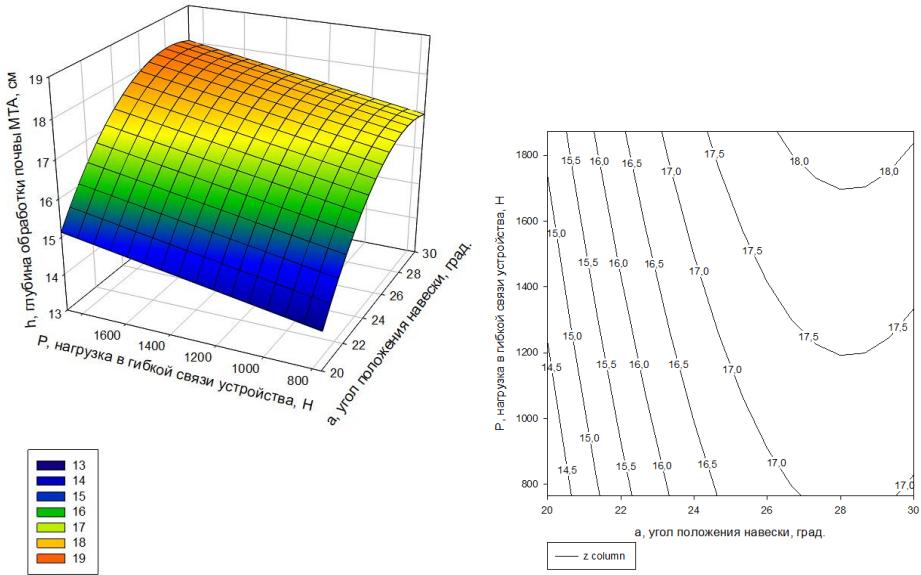


Рисунок 11 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от X1 (α) и X3 (P) (при зафиксированном на нулевом уровне X1 ($v = 10$ км/час)).

$$h = -19,52 + 2,54\alpha + 0,00099P - 0,045\alpha^2 \quad (14)$$

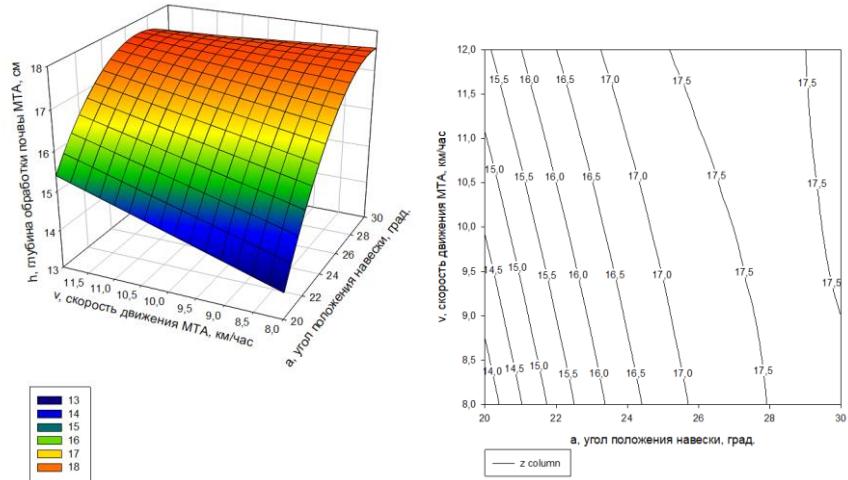


Рисунок 12 – Поверхность отклика h в зависимости от X1 (α) и X2 (v) (при зафиксированном на нулевом уровне X3 ($P = 1319$ Н)).

$$h = -32,54 + 3,039\alpha + 1,43v - 0,05av - 0,045\alpha^2 \quad (15)$$

В пятой главе проведена топливно-энергетическая оценка использования МТА в составе трактора К-701, бороны дисковой тяжелой БДТ-7 и корректора-распределителя сцепного веса. Оценка исследований показала, что использование предлагаемого устройства позволяет получить экономию полных энергозатрат в размере 44,039 МДж/га. При подготовке поля площадью 500 га экономический эффект составит 34328 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретических и экспериментальных исследований, проведенных для решения научной задачи по повышению эффективности использования тракторов с шарнирно-сочлененной рамой при работе с дисковыми боронами за счёт совершенствования конструктивно-технологических параметров МТА и дисковых борон сформированы следующие обоснованные выводы:

1. Проведённый анализ существующих приёмов и методов почвенной обработки, конструктивных особенностей технических средств, предназначенных для боронования почвы позволил определить их влияние на эффективность использования МТА в условиях зон рискованного земледелия.

2. Проанализированы перспективные направления повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании и предложена схема устройства для перераспределения сцепного веса машинно-тракторного агрегата в составе колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой и бороны дисковой тяжелой.

3. Теоретически обосновано и экспериментально проверено влияние предлагаемого устройства на перераспределение нагрузки, как между шарнирно-сочлененными рамами МЭС, так и между трактором и дисковой бороной. Так перераспределение нагрузки в режиме догружения на борону позволило повысить вертикальную нагрузку на рабочие органы бороны (диски) на 2266 Н, за счёт разгружения ходовой системы трактора в величинах: передний мост трактора на 2422 Н, задний мост трактора на 914 Н.

Экспериментально установлено, что использование корректора-распределителя сцепного веса позволило повысить глубину обработки за счёт увеличения нагрузки приходящейся на рабочие органы тяжёлой дисковой бороны на 10 % (с 0,18 м до 0,20 м). Таким образом, за счёт изменения нагрузки, приходящейся на рабочие органы бороны можно изменять глубину обработки без использования каких-либо дополнительных догружателей, за счёт перераспределения веса в системе МТА.

Перераспределение нагрузки в режиме догружения с бороны на мосты трактора в величинах: на передний мост трактора – 2024 Н, на задний мост трактора – 547 Н, при разгружении рабочих органов бороны на 1559 Н, позволило повысить тяговое усилие МТА. При этом при максимальной тяговой мощности произошло снижение мощности, затрачиваемой на буксование, у экспериментального трактора по сравнению с серийным с 15,18% до 10,25%. Таким образом при одинаковой глубине обработки, использование корректора-распределителя позволяет повысить тягово-цепные свойства энергетического средства за счёт снижения величины буксования.

Определено влияние корректора-распределителя сцепного веса боронового агрегата на некоторые показатели качества обработки почвы:

- результаты оценки выравненности поверхности поля после обработки показали, что экспериментальный МТА обеспечивает более качественное выравнивание – 3 балла, по сравнению с серийным образцом – 2 балла;

- комковатость почвы после обработки экспериментальным и серийным МТА составила 2 балла в обоих случаях;

- глубина колеи, образованная задними движителями трактора при движении по необработанному полю, для серийного и экспериментального образцов практически совпадают и находятся в пределах 0,04 – 0,06 м.

4. Проведённые сравнительные хозяйствственные испытания экспериментального и серийного МТА в производственно-климатических условиях Амурской области при обработке почвы показали, что использование трактора К-701 и БДТ-7 с установленным корректором-распределителем сцепного веса на бороновании позволило повысить производительность в час основного рабочего времени на 14% и снизить расход топлива на единицу обработанной площади на 8,6% по сравнению с трактором К-701 и БДТ-7, работающим в серийном варианте.

5. Экономическая и топливно-энергетическая оценка проведённых исследований показала, что общая экономия полных энергозатрат при бороновании составила 44,039 МДж/га обрабатываемой площади. Таким образом общая экономия в рублевом эквиваленте при внедрении предложенных конструкций в принятую технологию растениеводства составит сумму в 34328 рублей на используемую техническую единицу при однократной обработке (в ценах ДТ на февраль 2025 года из расчёта средних потребительских цен для Дальневосточного федерального округа – 76,57 рублей).

В результате проведенной производственной проверки доказана работоспособность предлагаемого корректора-распределителя.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшая разработка темы может быть направлена на повышение эффективности использования колёсных МТА других тяговых классов и ходовых систем, расширение технологических характеристик известной номенклатуры тяжёлых борон и лущильников посредством дальнейшей модернизации предложенных технических решений.

Рекомендации производству: Программные продукты и конструктивные схемы предлагаемых технических решений, в зависимости от физико-механических свойств почвы, а также состава и комплектности МТА позволяют провести прогнозирование технологических характеристик колесных энергетических средств на полевых работах. При этом масштабное внедрение результатов предлагаемых исследований в региональное растениеводство способствует обеспечению выполнения полевых операций с максимальной производительностью посредством применения дополнительных устройств, способствующих более рациональному распределению сцепного веса между звенями МТА при бороновании.

**Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:
в изданиях из перечня научных изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и
высшего образования Российской Федерации:**

1. Леонов, В.В. Результаты производственной проверки работы трактора с шарнирно-сочлененной рамой с тяжелой дисковой бороной / В.В. Леонов [и др.] // Вестник Ульяновской ГСХА. 2025. № 2 (70). С. 228-236.
2. Леонов, В.В. Результаты исследований по регулированию нагрузки, приходящейся на движители энергетического средства при бороновании / В.В. Леонов [и др.] // Нива Поволжья. 2025. № 1 (73).
3. Леонов, В.В. Результаты производственных испытаний по использованию корректора-распределителя сцепного веса боронового агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2025. № 1 (78). С. 140-147.
4. Леонов, В.В. Результаты производственной проверки работы боронового агрегата с установленным корректором-распределителем сцепного веса / В.В. Леонов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 1 (111). С. 67-73.
5. Леонов, В.В. Влияние конструктивно-технологических параметров «корректора-распределителя сцепного веса» на распределение нагрузки боронового агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 34-39.
6. Леонов, В.В. Результаты исследований по регулированию нагрузки на рабочие органы дисковой бороны / В.В. Леонов [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 2 (108). С 57-61.
7. Леонов, В.В. Исследование по оптимизации глубины обработки почвы / В.В. Леонов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 204. С. 143-151.
8. Леонов, В.В. Улучшение тягово-сцепных свойств боронового машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 199. С. 69-81.

9. Леонов, В.В. Влияние корректора-распределителя сцепного веса на перераспределение нагрузки внутри бороновального машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 10 (240). С. 85-93.

10. Леонов, В.В. Определение нагрузок, действующих на опорные поверхности бороновального машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 3 (107). С. 145-149.

11. Леонов, В.В. Распределение вертикальной нагрузки дисковой бороны с корректором сцепного веса / В.В. Леонов [и др.] // Сельский механизатор. 2022. № 3. С. 4-5.

12. Леонов, В.В. Теоретические исследования силовых реакций и устойчивости движения системы при выравнивании вертикальной нагрузки тяжёлой рамной дисковой бороны в условиях внешнего догружения / В.В. Леонов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (97). С. 111-118.

патенты на изобретение:

13. Леонов, В.В. Рапределяюще-корректирующее тягово-сцепное устройство для полурамного трактора. Патент на изобретение: пат. № 2780683 Российская Федерация. 2022. Бюл. № 28.

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

15. Леонов, В.В. Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата. Патент на изобретение: пат. № 2782360 Российская Федерация. 2022. Бюл. № 30.

свидетельство о регистрации программы для ЭВМ:

16. Леонов, В.В. Программа для определения воздействия тяжелой дисковой бороны на задние движители трактора с шарнирно-сочленённой рамой. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2024687136. Заявка № 2024686672 Российская Федерация. 2024.

17. Леонов, В.В. Программа для определения воздействия тяжелой дисковой бороны на передние движители трактора с шарнирно-сочленённой рамой. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2024687808. Заявка № 2024686822 Российская Федерация. 2024.

18. Леонов, В.В. 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. 2024.

в прочих научных изданиях:

19. Леонов, В.В. Особенности подготовки почвы под посев в условиях амурской области. / Воякин С.Н., Леонов В.В. // В сборнике: Актуальные вопросы энергетики в АПК. Материалы всероссийской (национальной)научно-практической конференции. Благовещенск, 2025. С. 127-132.

20. Леонов, В.В. Повышение эффективности применения машинно-тракторных агрегатов при подготовке почвы / В.В. Леонов [и др.] // В сборнике: Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции. В 5 томах. Благовещенск, 2024. С. 123-127.

21. Леонов, В.В. Применение способов перераспределения сцепного веса для расширения технологических показателей агрегатов / В.В. Леонов [и др.] // В сборнике: Инновационные технологии в АПК: теория и практика. Сборник статей X Международной научно-практической конференции. Под научной редакцией А.А. Галиуллина, В.А. Кошелевая, О.А. Тимошкина. Пенза, 2022. С. 102-104.

22. Леонов, В.В. Направления повышения эффективности бороновальных агрегатов / В.В. Леонов [и др.] // В сборнике: Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы

развития. Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х томах. Благовещенск, 2022. С. 151-157.

23. Леонов, В.В. Современное состояние средств механизации в региональном земледелии Амурской области / В.В. Леонов [и др.] // В сборнике: Организационно-экономические и инновационно-технологические проблемы модернизации экономики России. Сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Под научной редакцией В.Н. Лазарева, Б.Я. Татарских. Пенза, 2022. С. 221-228.

24. Леонов, В.В. Анализ конструктивных технологических особенностей современных бороновальных машин / В.В. Леонов [и др.] // В сборнике: Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК. Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича. Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. Молодёжный, 2022. С. 31-37.