

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

Воякин Сергей Николаевич,

доктор технических наук, доцент

Благовещенск – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	10
1.1 Региональные особенности и их влияние на процесс подготовки почвы .	10
1.2 Анализ конструктивных и технологических особенностей борон	20
1.3 Аналитические исследования по обработке почвы и использованию почвообрабатывающих машин	31
1.4 Выводы	41
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПО ВЛИЯНИЮ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ МТА ПРИ БОРОНОВАНИИ	43
2.1 Теоретические исследования работы МТА с корректором- распределителем сцепного веса	43
2.2 Распределение сил и нагрузок при нейтральном положении предлагаемого устройства	46
2.3 Распределение сил и нагрузок при работе устройства при поднятом положении навески трактора	52
2.4 Распределение сил и нагрузок при работе устройства при опущенном положении навески трактора	61
2.5 Выводы	69
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	71
3.1 Задачи экспериментальных исследований	71
3.2 Общая методика проведения экспериментальных исследований	71
3.3 Объекты и условия проведения экспериментальных исследований	72
3.4 Программа проведения исследований	81
3.5 Приборы и методика измерения параметров	88
3.5.1 Приборы и методика измерения нагрузки энергетического средства и рабочих органов бороны на опорные поверхности	88
3.5.2 Приборы и методика измерения усилия, передаваемого на МТА	89
3.5.3 Приборы и методика определения расхода топлива	91
3.5.4 Приборы и методика определения угла наклона навески трактора	92
3.5.5 Приборы и методика определения влажности почвы	93
3.5.6 Приборы и методика определения твёрдости почвы	94
3.5.7 Приборы и методика определения глубины колеи трактора	95
3.5.8 Приборы и методика определения качества подготовки почвы	96

3.5.9	Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний	98
3.6	Математическая обработка экспериментальных данных	99
3.7	Планирование многофакторного эксперимента	101
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ	103
4.1	Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на величину силовой нагрузки в тросовой связи	103
4.2	Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на перераспределение силовой нагрузки между мостами энергетического средства	108
4.3	Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на изменение силовой нагрузки, приходящейся на рабочие органы дисковой бороны	113
4.4	Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на эксплуатационно-технологические параметры МТА и физико-механические свойства почвы	118
4.5	Регрессионно-дисперсионный анализ результатов исследования по использованию трактора с шарнирно-сочленённой рамой и корректором-распределителем сцепного веса	123
5	ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОГО МТА	134
	ВЫВОДЫ	138
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	141
	ПРИЛОЖЕНИЯ	158

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Амурской области наблюдается рост посевных площадей под сою и зерновые, что связано с увеличением спроса на эти культуры и развитием агропромышленного комплекса. Третья часть посевных площадей закреплены за небольшими крестьянско-фермерскими хозяйствами, имеющими в собственности ограниченное количество средств механизации, обычно однооперационного типа.

Вместе с тем, учитывая низкие темпы обновления средств механизации, в хозяйствах области возникает значимая необходимость поиска способов более эффективного использования имеющихся в парках предприятий энергетических средств для достижения максимальной производительности сельскохозяйственного производства.

Особенностями земледелия в Амурской области являются сжатые сроки проведения операций по обработке почвы, обусловленные поздним созревaniem 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 весеннее 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 агрегируются 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, осушенные заболоченные участки и выровнять поверхность пашни. Для решения

этих задач средним боронам потребуется 2–3 прохода, а для легких борон эта важная задача является почти невыполнимой.

Также установлено, что 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-бороны и использованием специальных догружающих устройств. Вместе с тем в работе машинно-тракторного агрегата (МТА) необходимо соблюсти необходимое условие баланса между нагрузкой на рабочий орган и тягово-сцепными 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. Проведённым 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 бороны, так и повышению тягово-сцепных 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 бороны дисковой тяжелой;

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

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 бороны 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 диссертационной 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 диссертационной 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 диссертации, 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, 3 патента на объекты интеллектуальной собственности.

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

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Региональные особенности и их влияние на процесс подготовки почвы

В настоящее время количество посевных площадей в Амурской области остается практически неизменным. Ранее исключенные из сельскохозяйственного оборота участки, вновь отданы под сельхозугодия (рисунок 1.1).

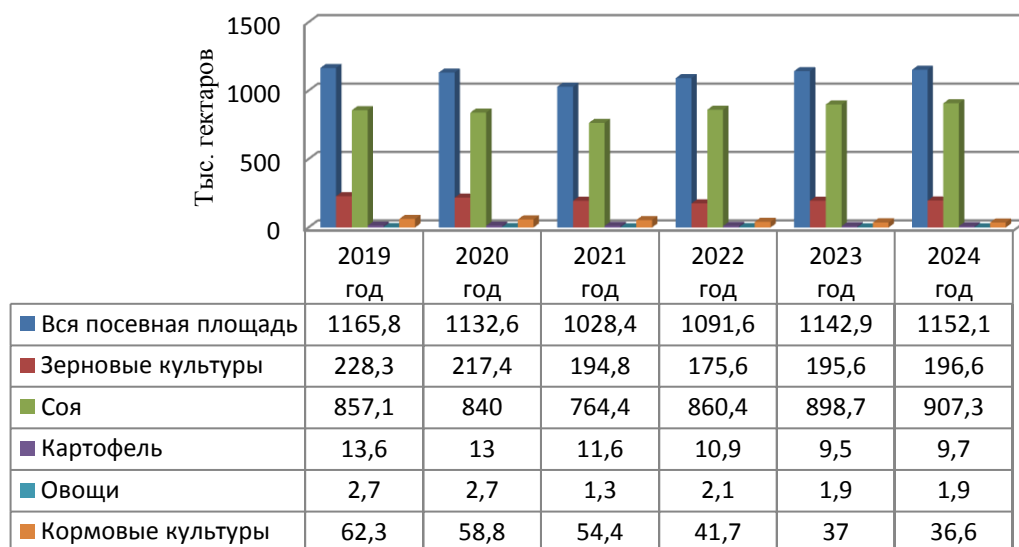


Рисунок 1.1 – Динамика посевных площадей сельскохозяйственных культур
[5]

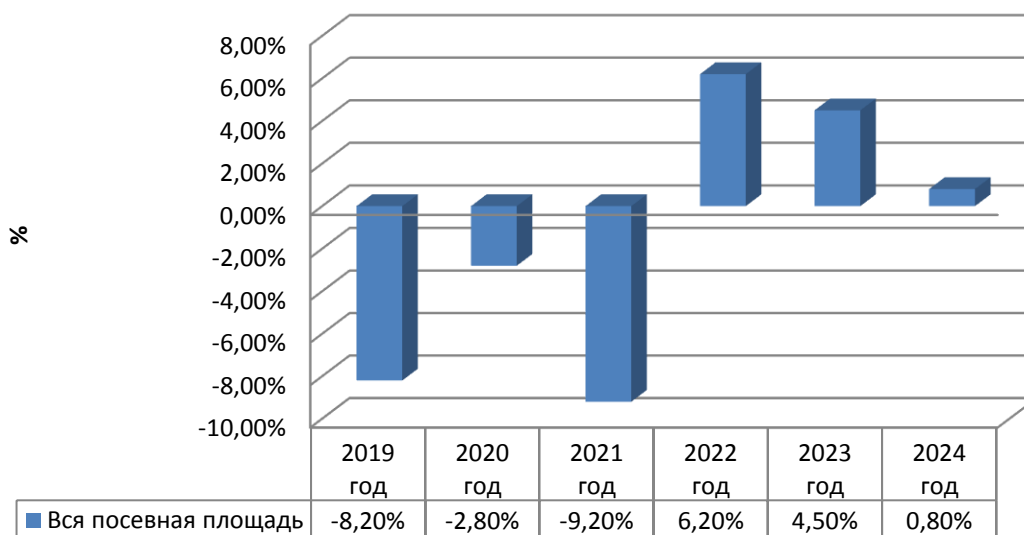


Рисунок 1.2 – Динамика посевных площадей сельскохозяйственных культур
[5]

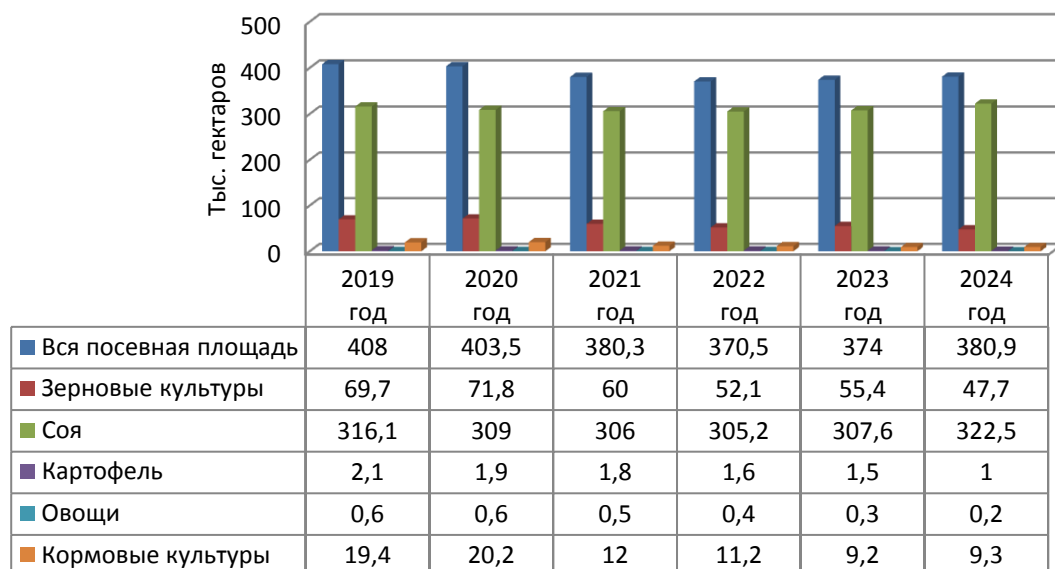


Рисунок 1.3 – Динамика посевных площадей сельскохозяйственных культур, используемых крестьянско-фермерскими хозяйствами [5]

Обычно такие участки принадлежат небольшим крестьянско-фермерским хозяйствам (рисунок 1.3), которые располагают в собственности ограниченным количеством средств механизации, обычно однооперационного типа.

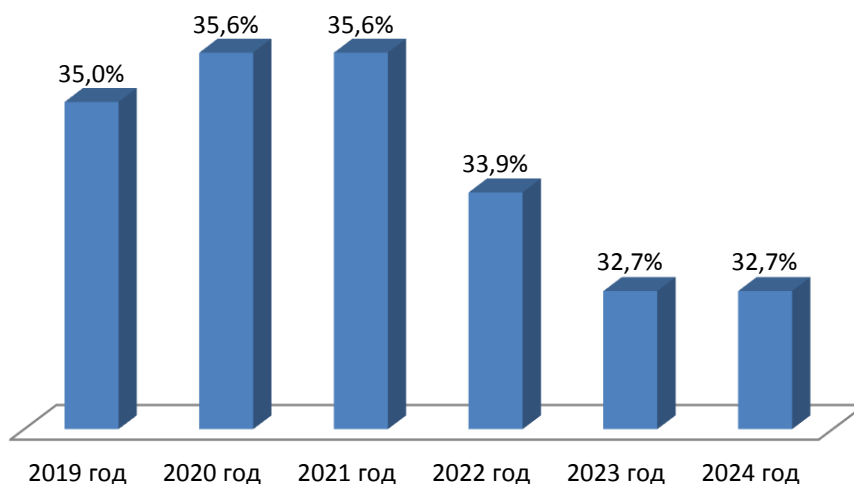


Рисунок 1.4 – Отношение количества КФХ к хозяйствам всех категорий [5]

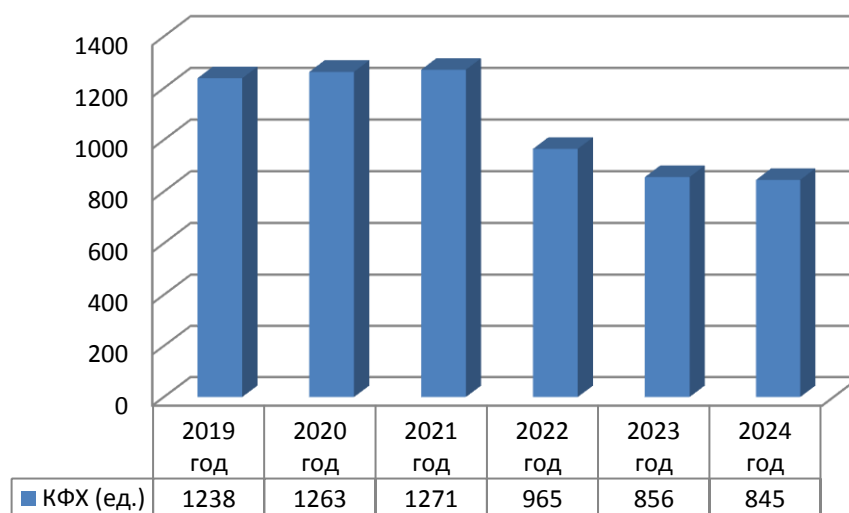


Рисунок 1.5 – Изменение количества крестьянско-фермерских хозяйств по годам [5]

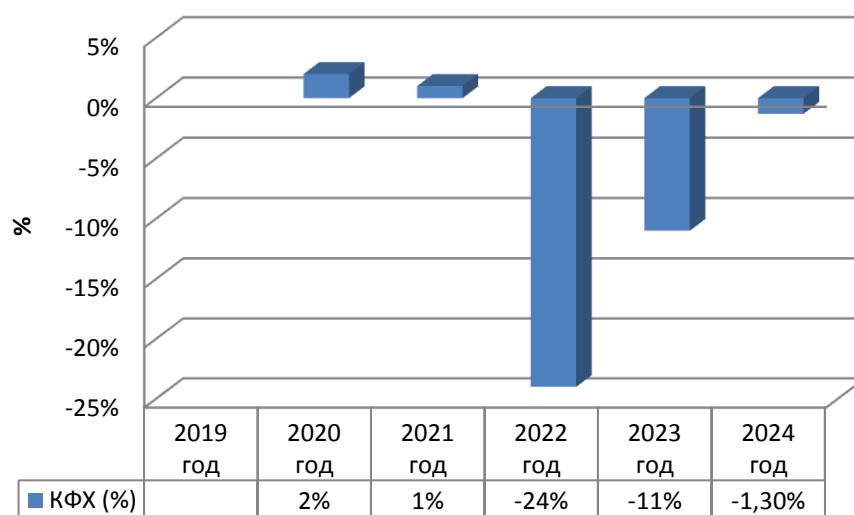


Рисунок 1.6 – Изменение количества крестьянско-фермерских хозяйств в процентном отношении

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве Амурской области занято 3450 тракторов, 2200 зерноуборочных комбайнов, 1510 сеялок и посевных комплексов, 2451 почвообрабатывающая машина, 1527 грузовых автомобилей и другие сельскохозяйственные машины [5], и оборудование (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Наличие сельскохозяйственных машин и тракторов в агропромышленных организациях Амурской области

Согласно данным Министерства сельского хозяйства Амурской области к весенним полевым работам 2024 года было привлечено 3450 тракторов различных марок, в том числе 800 тракторов марки К-701 и К-744, 34 трактора – Buhler, гусеничных ДТ-75, Т-4 и ДТ-175 – 12 тракторов, Т-150 – более 300, около 1200 МТЗ разных марок и другие (рисунок 1.8).

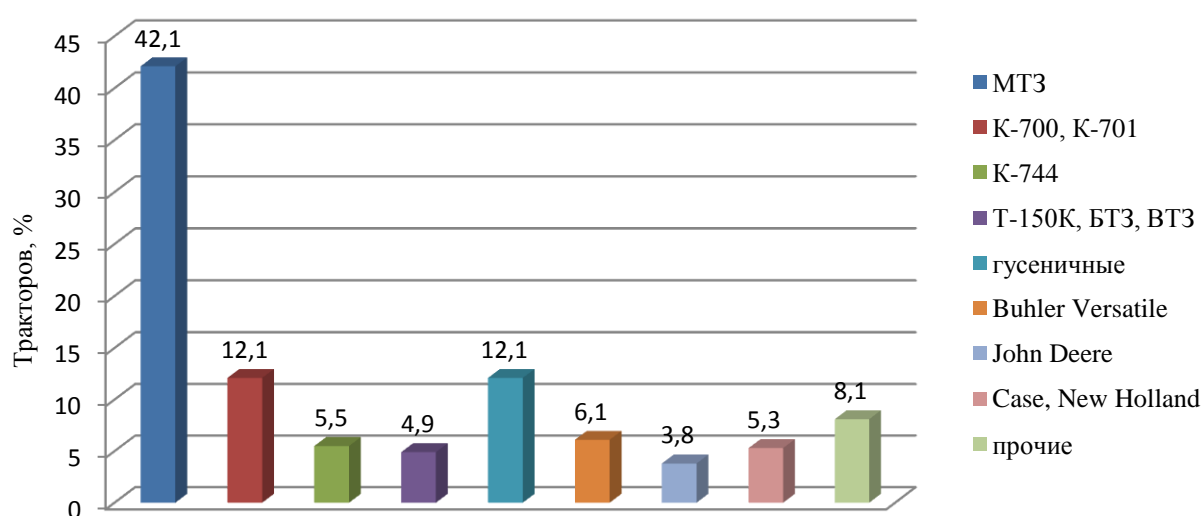


Рисунок 1.8 – Распределение сельскохозяйственного парка Амурской области по марочному составу, %

С целью повышения энергообеспеченности и снижения нагрузки на агропромышленный комплекс области, обусловленной списанием техники старше 10 лет, требуется ежегодное обновление парка машин в объеме около 500 тракторов. Анализ текущей динамики свидетельствует о недостаточном уровне обновления, составляющем лишь 25% от установленной потребности.

Ежегодно в сельскохозяйственных организациях области проходит обновление машинно-тракторного парка, техника приобретается как по прямым договорам купли – продажи, так и с использованием льготных схем приобретения техники. Хозяйствами области в 2024 году приобретено более 500 единиц сельскохозяйственной техники и оборудования, в т.ч. 130 трактора.

Несмотря на обновление машинно-тракторного парка с превышением сроков амортизации работает 57% тракторов [45].

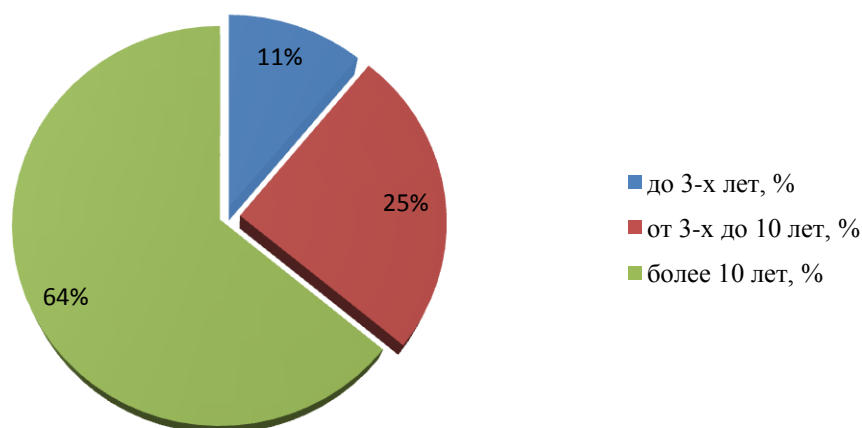


Рисунок 1.9 – Возрастная структура парка сельскохозяйственных тракторов Амурской области, % [53]

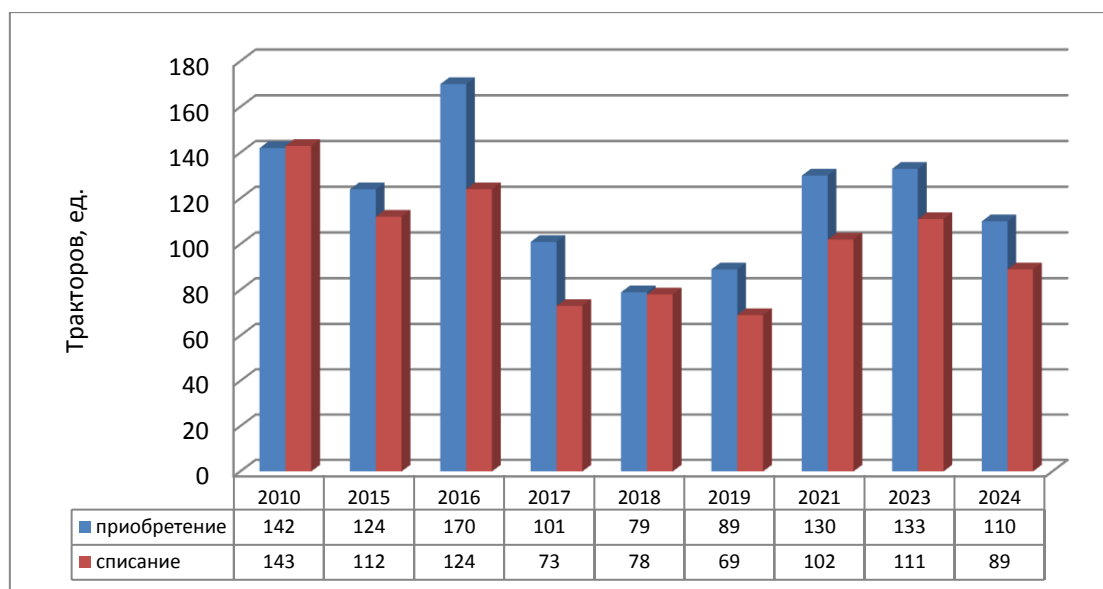


Рисунок 1.10 – Анализ приобретения и списания тракторов в Амурской области [5]

Старение парка машин, подтвержденное низкими темпами обновления (см. рисунки 1.10, 1.11), ставит перед хозяйствами области задачу поиска и внедрения инновационных методов и способов более эффективной эксплуатации существующих средств механизации для поддержания и увеличения объемов сельскохозяйственного производства.

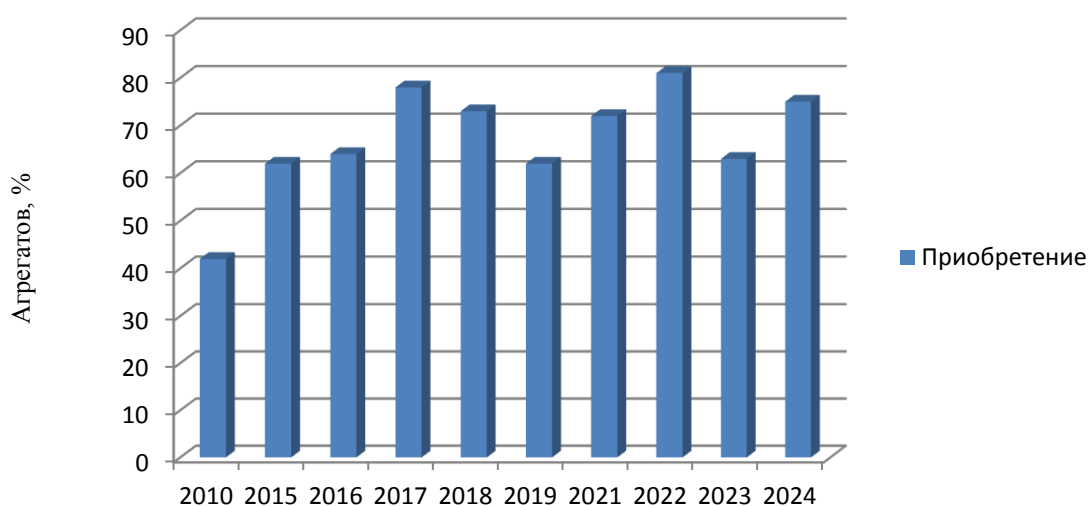


Рисунок 1.11 – Обновление средств механизации по обработке и подготовке почвы [5]

Таблица 1.1 – Анализ обеспеченности сельскохозяйственных организаций тракторами и почвообрабатывающими машинами [5]

	2020	2021	2022	2023	2024
Парк основных видов техники в сельскохозяйственных организациях					
Тракторы, шт.	1861	1836	1789	1861	1872
Плуги, шт.	318	289	274	282	289
Бороны и культиваторы, шт.	581	555	579	602	605
Всего почвообрабатывающей техники, шт.	899	844	853	884	894
Посевные площади сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий					
	1132,6	1028,4	1091,6	1142,9	1147,1
Обеспеченность сельскохозяйственных организаций тракторами					
Приходится тракторов на 1000 га пашни, шт	1,64	1,79	1,64	1,63	1,63
Нагрузка пашни на один трактор, га	689,30	576,04	666,07	701,89	702,91

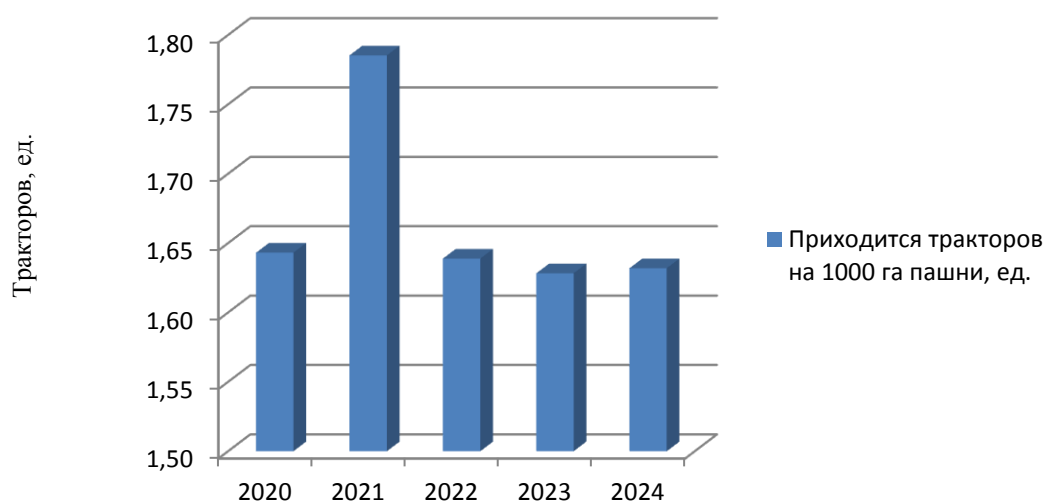


Рисунок 1.12 – Приходится тракторов на 1000 га пашни, ед. [5]

Известно, что обработка почвы включает выполнение несколько важных задач, таких как уничтожение сорняков, измельчение и заделка пожнивных остатков и удобрений, сохранение влаги и гумусного слоя, снижение эрозии, придание земле рыхлости и формирование прочих благоприятных условий для произрастания растений. Производственными наблюдениями установлено, что осуществить эти задачи за одну операцию наиболее щадящим способом, в максимально сжатые сроки и с минимальными энергозатратами под силу

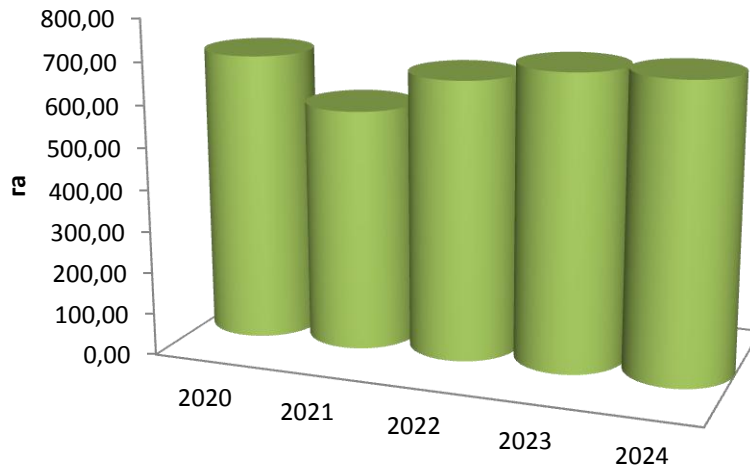


Рисунок 1.13 – Нагрузка пашни на один трактор, га [5]

дисковым почвообрабатывающим орудиям. К примеру такая операция, как уборка основной сельскохозяйственной культуры Амурской области – сои заканчивается тогда, когда подготовка почвы под посев на следующий год уже не всегда возможна. Так как особенность региона заключается в том, что этот этап сельскохозяйственных работ проходит тогда, когда верхний слой почвы значительно перенасыщен влагой, при этом возможно дальнейшее выпадение осадков в виде снега и проявление первых заморозков до минус 10-15 градусов Цельсия [71].

В связи с воздействием этих факторов в осенний период, подготовка почвы, в частности почв с тяжёлым механическим составом, преобладающих в регионе, происходит весной, когда сроки выполнения работ также ограничены наличием мерзлотного подстилающего слоя, который при повышении окружающей температуры воздуха начинает таять, в связи с чем также снижается несущая способность плодородного слоя почвы.

Для подготовки почвы под посев в условиях Амурской области на больших площадях эффективно применяются бороны дисковые тяжелые, агрегатируемые колесными тракторами с шарнирно-сочлененной рамой 5-8 классов тяги. За один проход эти машинно-тракторные агрегаты способны полностью подготовить

пашню под посев, обеспечить крошение, рыхление и выравнивание почвы, уничтожить проростки и всходы сорняков, а также измельчить и заделать на оптимальную глубину растительные остатки предшественников.

Установлено, что при использовании тяжелых дисковых борон необходимым является обеспечение достаточной нагрузки на рабочий орган-диск [71].

Успешное выполнение выше обозначенной проблемы можно обеспечить двумя способами:

- наличием необходимого количества борон для использования на различных типах почв;
- модернизацией имеющихся борон под различные типы почв.

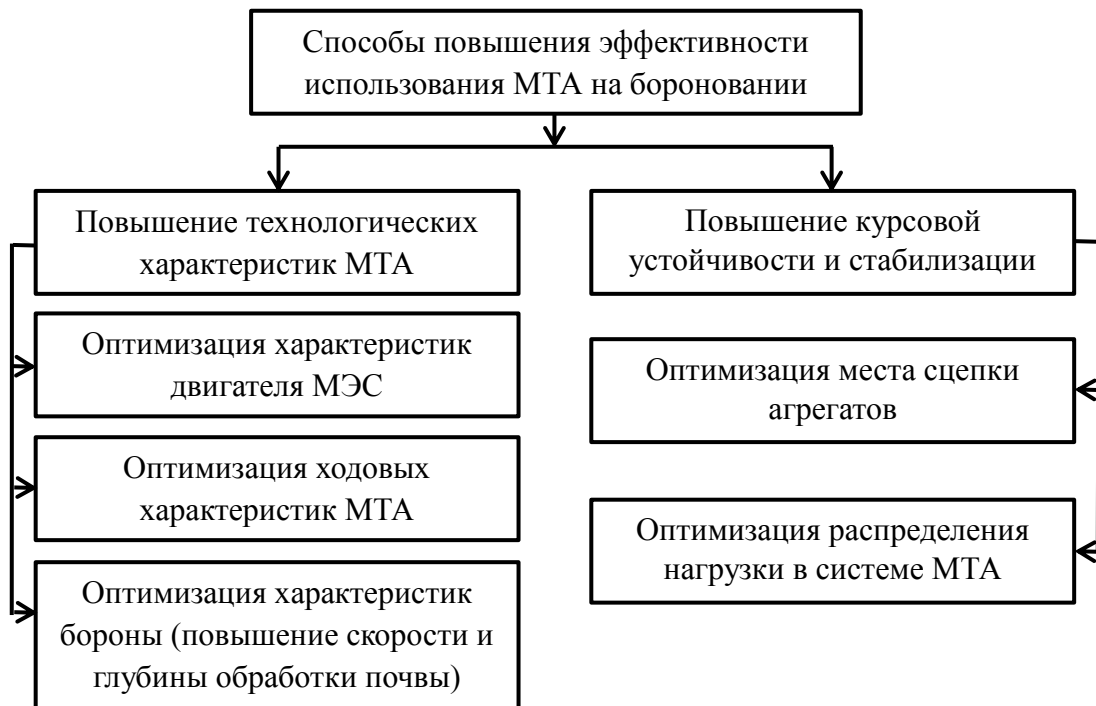


Рисунок 1.14 – Основные способы повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании [91]

Из-за ограниченных финансовых возможностей первый способ повышения эффективности подготовки почвы не приемлем особенно для небольших крестьянско-фермерских хозяйств. Решение второго способа заключается в повышении эффективности процесса боронования за счет корректирования сцепного веса как между шарнирно-сочлененными рамами энергетического

средства, так и в звене трактор-борова при помощи специальных догружающих устройств, представляющих возможность перераспределения.

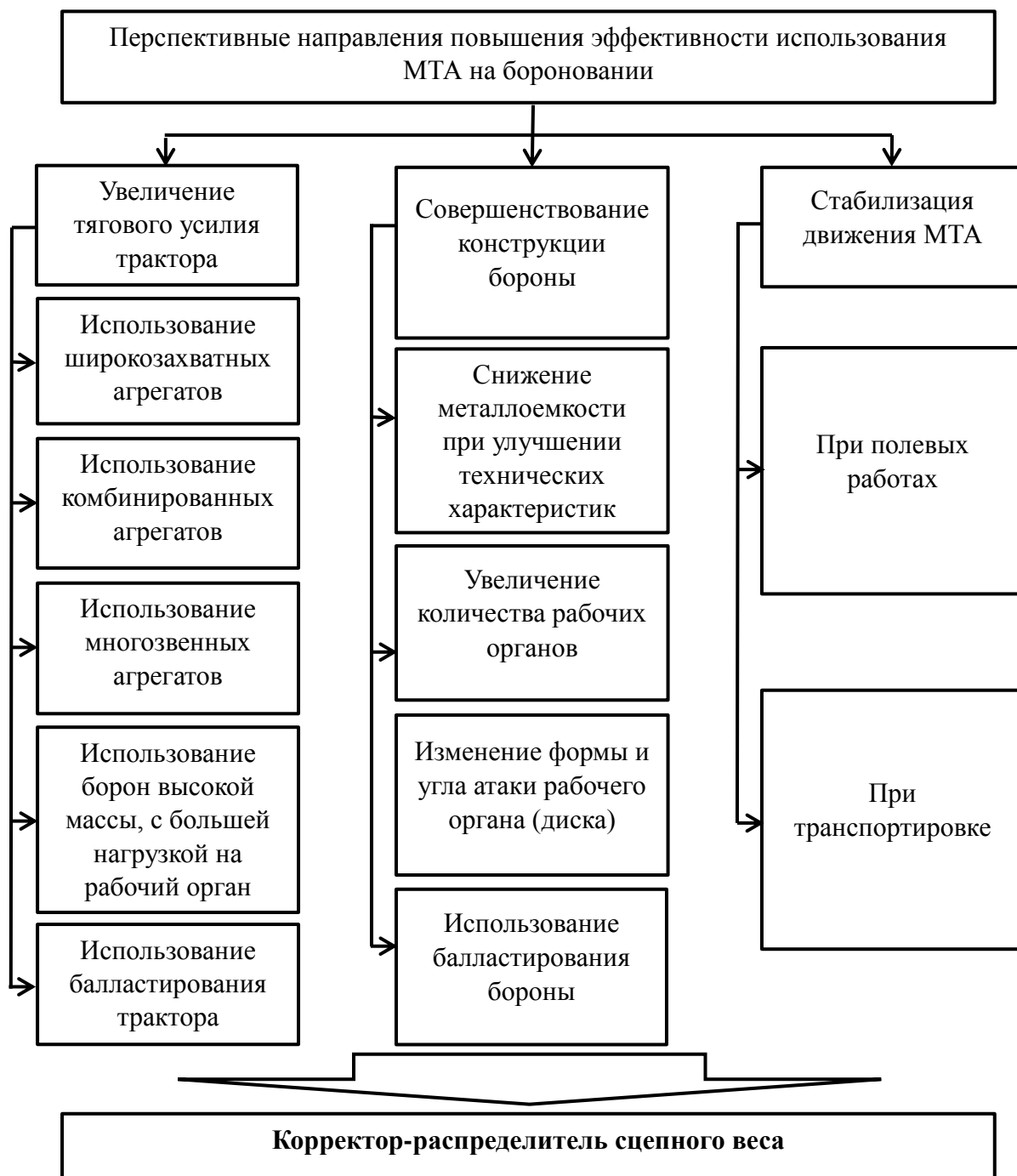


Рисунок 1.15 – Перспективные направления повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании [91]

Перспективные направления повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании представлены в виде блок-схемы (рисунок 1.14, 1.15).

В работе машинно-тракторного агрегата (МТА) необходимо соблюсти необходимое условие баланса между нагрузкой на рабочий орган и тягово-сцепными качествами трактора при низкой несущей способности почвы.

В процессе эксплуатации тяжелой бороны происходит износ шарнирных соединений между средней и боковыми рамами, в результате при бороновании происходит более сильное заглубление передних правых и левых (боковых) дисковых батарей. В связи с чем оператору МТА приходится в ручном режиме регулировать степень заглубления, приподнимая дышло. В итоге передние дисковые батареи, расположенные на средней раме, идут с минимальным заглублением. В этом случае приходится дополнительно балластировать среднюю раму бороны, увеличивая вес бороны, что приводит к снижению проходимости трактора и дополнительному расходу топлива [91].

Вместе с тем, учитывая низкие темпы обновления средств механизации в хозяйствах области возникает необходимость поиска путей расширенного использования имеющихся в парках предприятий средств механизации для достижения максимальной эффективности сельскохозяйственного производства.

Приведённым обзором обосновано направление дальнейших исследований для поиска технических решений по траектории перераспределяющих устройств, как наиболее результативных и высокоэффективных в рассматриваемой области техники.

1.2 Анализ конструктивных и технологических особенностей борон

Известно, что полевая обработка почвы обеспечивает выполнение важных технологических воздействий на плодородный слой и своей целью ставит реализацию следующих функций (рисунок 1.16), способствующих его плодородию, таких как уничтожение сорняков, измельчение и заделка пожнивных остатков и удобрений, сохранение влаги и гумусного слоя, уменьшение поверхностной эрозии, придание почве рыхлости, достижение оптимальной

выравниваемости и глыбистости, формирование прочих условий, благоприятных для культивирования растений [88].

Производственными наблюдениями установлено, что осуществить эти задачи за одну операцию наиболее щадящим и результативным способом, в максимально сжатые сроки и с минимальными энергозатратами под силу только бороновальным машинам.



Рисунок 1.16 – Основные функции боронования

Бороновальная машина представляет собой сельскохозяйственное орудие, используемое для поверхностной и глубокой обработки почвы с целью рыхления и аэрации. В процессе боронования происходит выравнивание верхнего слоя почвы и разрушение почвенной корки, что способствует улучшению влаго- и воздухообмена в корневой зоне. Данная операция является неотъемлемой частью подготовки почвы к последующим сельскохозяйственным мероприятиям.

Современная бороновальная машина должна соответствовать следующим заданным качественным критериям и характеристикам:

- глубина обработки полностью соответствует заданным параметрам;
- максимально допустимая погрешность глубины боронования ± 1 см;
- полное уничтожение сорняков после прохода бороны;
- повреждение культурных растений в процессе боронования не должно превышать 3%;
- высота гребней не должна превышать 4 см.

При выборе бороны для конкретных условий необходимо учесть 3 параметра:

- размер и конфигурацию поля;
- состояние и тип почвы;
- культивируемая культура, предшественники (озимая или зябь).

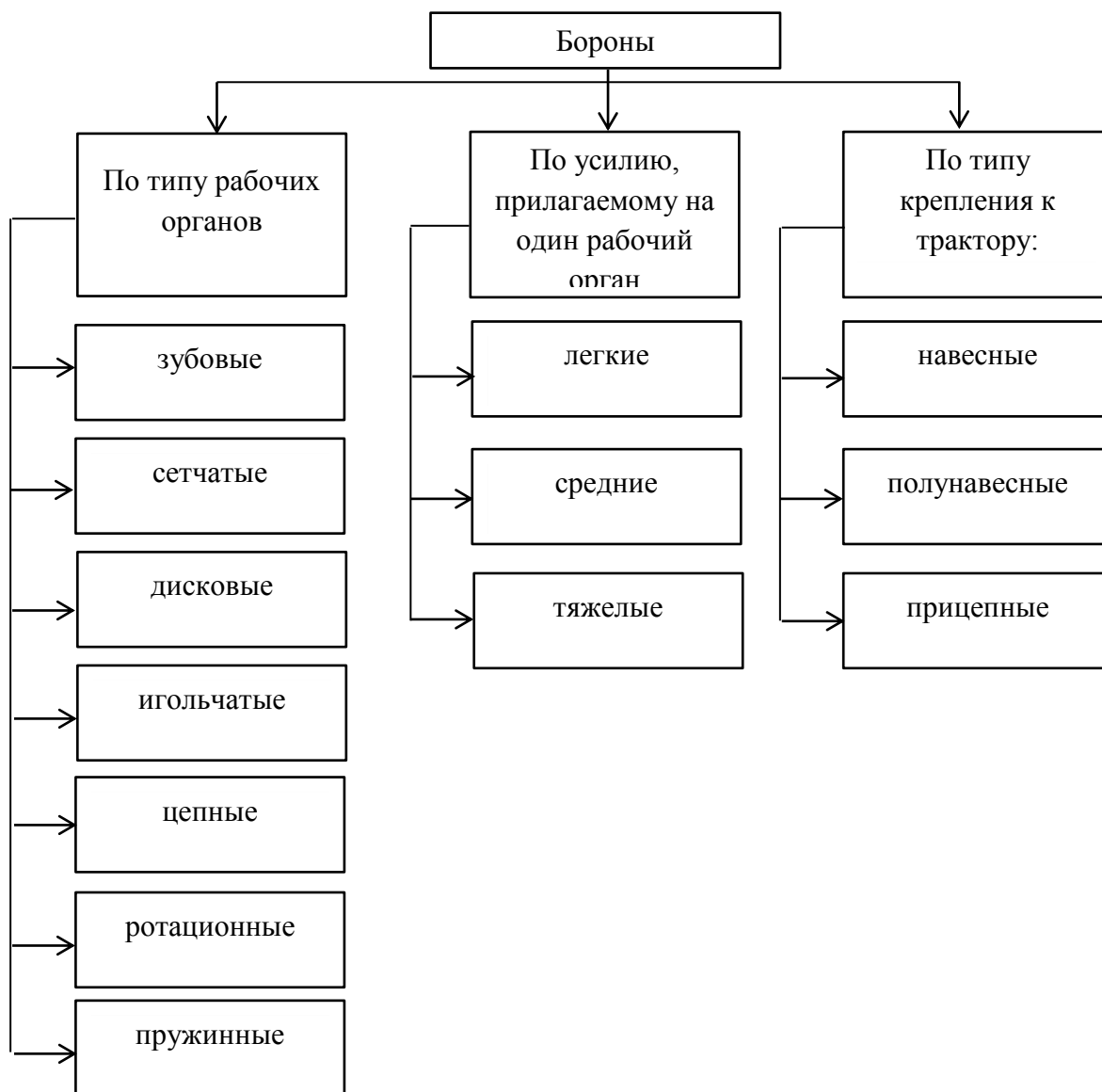


Рисунок 1.17 – Классификация борон

Основной отличительной чертой **зубовых борон** является наличие зубьев различной конфигурации (квадратных, круглых, прямоугольных, ножевых) в качестве рабочих органов. Зубья, как правило, жёстко закрепляются на раме в шахматном порядке.



Рисунок 1.18 – Боро́на зубовая навесная БЗН-9

Для работы с тяжелыми, глинистыми почвами часто используют тяжелые зубовые бороны. Они отлично справляются с разбивкой комьев, рыхлением и, что немаловажно, помогают удержать влагу в почве. Конструкция этих борон позволяет эффективно обрабатывать почву на глубину до 8 см, ведь на каждый зуб приходится ощутимая нагрузка – в среднем около 3 кг.

Средние зубовые бороны, конструктивно схожие с тяжелыми, применяют для весеннего ухода за озимыми посевами. Они менее эффективны на глинистых почвах и рыхлят землю на глубину до 6 см, создавая нагрузку на каждый зуб до 2 кг.

Лёгкие зубовые, или посевные, бороны используют непосредственно перед посевом для финальной подготовки почвы. Их зубья имеют коническую форму, а нагрузка на каждый зуб не превышает 1 кг. Такие бороны рыхлят верхний слой почвы на глубину до 3 см.

Конструкция зубовой бороны предполагает разрезание почвы передней гранью зуба и последующее перемешивание боковыми гранями, что способствует измельчению крупных комьев. Зубья с квадратным сечением, имеющие косой срез, направленный против движения, обеспечивают более глубокое проникновение в почву.

Для соединения бороны с рамой сцепки обычно используют цепные соединения. Однако в современных агрегатах все чаще применяют

гидравлическую систему, позволяющую быстро переводить борону из транспортного положения в рабочее. Это значительно повышает удобство эксплуатации и маневренность при перемещении как по полю, так и по дорогам.

Бороны пружинного типа представляют собой гидрофицированные широкозахватные сцепки, оснащенные встроенными секциями рабочих органов, выполненных в виде изогнутых пружинных зубьев.



Рисунок 1.19 – Борона пружинная БП-12

Являясь разновидностью зубовых агрегатов, данный тип борон предназначен для поверхностной обработки почвы, включающей предпосевную подготовку, борьбу с сорняками, заделку минеральных удобрений и внесённых рассеянным способом семян. Конструктивные особенности обеспечивают возможность работы на высоких скоростях и, соответственно, высокую производительность.

Бороны сетчатого типа представляют из себя раму, к которой прикреплено сетчатое полотно, звенья которого выполнены из стали. Этот тип борон предназначен для использования на полях картофеля и уничтожения сорняков в период весенних всходов.

Бороны сетчатого типа представляют собой конструкцию, состоящую из рамы и закрепленного на ней сетчатого полотна, выполненного из стальных звеньев. Данный вид агрегатов предназначен для применения на картофельных полях с целью уничтожения сорной растительности в период весенних всходов.



Рисунок 1.20 – Сетчатая борона БС-4

Бороны игольчатые выполняются в виде конструкции с двумя поворотными балками, на которые устанавливаются игольчатые батареи с регулируемыми механизмами.



Рисунок 1.21 – Борона игольчатая Биг-3а

Зубья бороны имеют два установочных варианта. В активном положении они погружаются в землю выпуклой стороной вверх и выходят стороной вниз. Пассивный вариант предусматривает обратное – тупой угол вхождения. В задней части бороны игольчатой установлено несколько решеток, способствующих очищению зубьев.

Каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. В первом случае сорняки попадая на зубья защемляются при проходе между решетками. Во втором – решетки убирают образовавшиеся сорняки, таким образом обеспечивая бороне большую производительность.

Использование такой бороны зависит от времени года. Зимой с помощью устройства разрушают ледяную корку на полях с озимыми культурами. Летом и осенью агрегат рушит почвенную корку, а также помогает измельчить крупные земляные комья (после пахотных работ) и уничтожить возбудителей различных болезней после снятия зерновых культур.

Не менее важна деятельность данного устройства и в весенний период: рыхление почвы, для более лучшего сохранения воды в почве, уничтожение сорняков на начальном этапе возникновения, выравнивание слоя после обработки, боронование различных культур.

Бороны цепные применяются для весеннего боронования, при летней обработке паровых полей. Двигаясь по полю, зубья звеньев цепи бороны проникают в верхний слой почвы, поочередно взрыхляя ее поверхность. За счет качения цепи по поверхности почвы существенно снижается тяговое усилие техники, что позволяет бороне работать на достаточно высоких скоростях. Борона цепная состоит из: ходовой рамки с дышлом; боковых крыльев; заднего бруса с натяжителем.



Рисунок 1.22 – Борона цепная Двуреченского БЦД-12М

Бороны ротационные предназначены для до- и послеуборочного боронования зерновых, технических и пропашных культур. Её применение улучшает аэрацию почвы за счёт лучшего разрыхления поверхностного слоя. Кроме того, она является эффективным средством борьбы с нитевидными сорняками.



Рисунок 1.23 – Борона ротационная БРМ-6

В момент начала движения трактора колёса начинают вращаться, заглубляясь в почву на 3-5 см. Лучи колеса, тем самым, разрушают поверхностную корку, а на выходе из почвы создают микровзрыв, благодаря которому в поверхностные слои грунта проникает воздух. Содержащийся в нём азот остаётся в поверхностных слоях почвы и затем используется растениями в момент прорастания зерна и появления первых ростков.

Дисковые бороны классифицируются по назначению на полевые, садовые (легкие) и болотные (тяжелые) типы. Лёгкие полевые бороны используются для обработки зяби, рыхления почвы после пахоты задернелых пластов, лущения стерни и восстановления слабо задернелых луговых угодий. Садовые бороны применяются для обработки междурядий в садах. Глубина обработки составляет до 10 см. Тяжёлые бороны предназначены для разделки задернелых пластов после вспашки целинных и залежных земель, дискования заболоченных почв, обработки лугов и пастбищ, а также для заделки удобрений и пожнивных остатков. Глубина обработки достигает 20 см.



Рисунок 1.24 – Бороны дисковая тяжелая БДТ-7

Рабочим органом тяжёлой дисковой бороны является стальной сферический диск с заострённой режущей кромкой, диаметр которого составляет 450 или 510 мм. Тяжёлые дисковые бороны оснащаются вырезными дисками, обеспечивающими эффективное заглубление в почву и интенсивное измельчение растительных остатков. В процессе движения диски, взаимодействуя с почвой, совершают вращательное движение. При этом режущая кромка диска отделяет полоску почвы, которая поднимается на внутреннюю сферическую поверхность диска. Под действием силы тяжести почва осыпается с некоторой высоты и отводится диском в сторону. В результате этого процесса происходит крошение, частичный оборот и перемешивание почвы. Интенсивность воздействия на почву регулируется изменением угла атаки дисков и величины давления на почву, которое, в свою очередь, регулируется изменением массы балласта.

Дисковые бороны по сравнению с зубовыми меньше забиваются, перерезают тонкие корни и перекатываются через толстые.

По способу агрегатирования бороны подразделяются на навесные, прицепные и полунавесные

Прицепные бороны имеют колеса, которые осуществляют функцию опоры. Такой тип удобен для транспортировки.

Навесные бороны опираются на рабочие органы, они, как правило, небольшие по размерам. Во время транспортировки удерживаются в воздухе за счет обеспечения соединения с трактором.

Полунавесные бороны например БДП–6,3 при кратковременном поднятии удерживаются в воздухе за счет навески трактора, при длительной транспортировке – опираются на колеса.

По усилию, прилагаемому на один рабочий орган бороны подразделяются на легкие, средние и тяжелые.

Виды зубовых орудий выделяют на основании силы давления на один зуб:

– тяжелые (2-3 кг на зуб, глубина – 5-8 см) применимы на глинистых и суглинистых почвах;

– средние (1-2 кг, 4-6 см) для работы с легкими и рыхлыми землями;

– легкие (0,5-1 кг, 2-3 см) эффективны для верхнего слоя.

Виды дисковых борон:

– лёгкие дисковые механизмы, которые называют луцильниками;

– средние дискаторы разрыхляют почву и подрезают сорняки на глубине от 7 до 15 см.;

– тяжёлые дисковые бороны (эластомеры) способны проникать на глубину до 20 см.

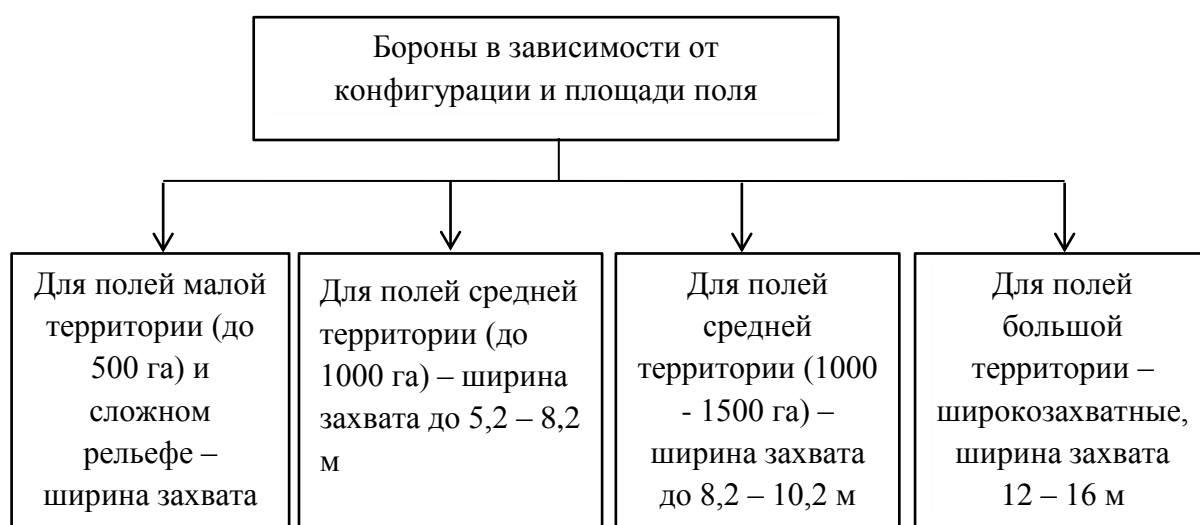


Рисунок 1.25 – Классификация борон в зависимости от конфигурации и площади обрабатываемого поля

На выбор и использование борон большое влияние оказывает конфигурация и протяженность поля (рисунок 1.25) [88].

Из рисунка 1.25 видно, что выбор ширины захвата бороны зависит от протяжённости поля.

Бороны можно классифицировать по возможности применения на видах почв: глинистая, песчаная, супесчаная, суглинистая, известковая, торфяная, черноземная (рисунок 1.26).

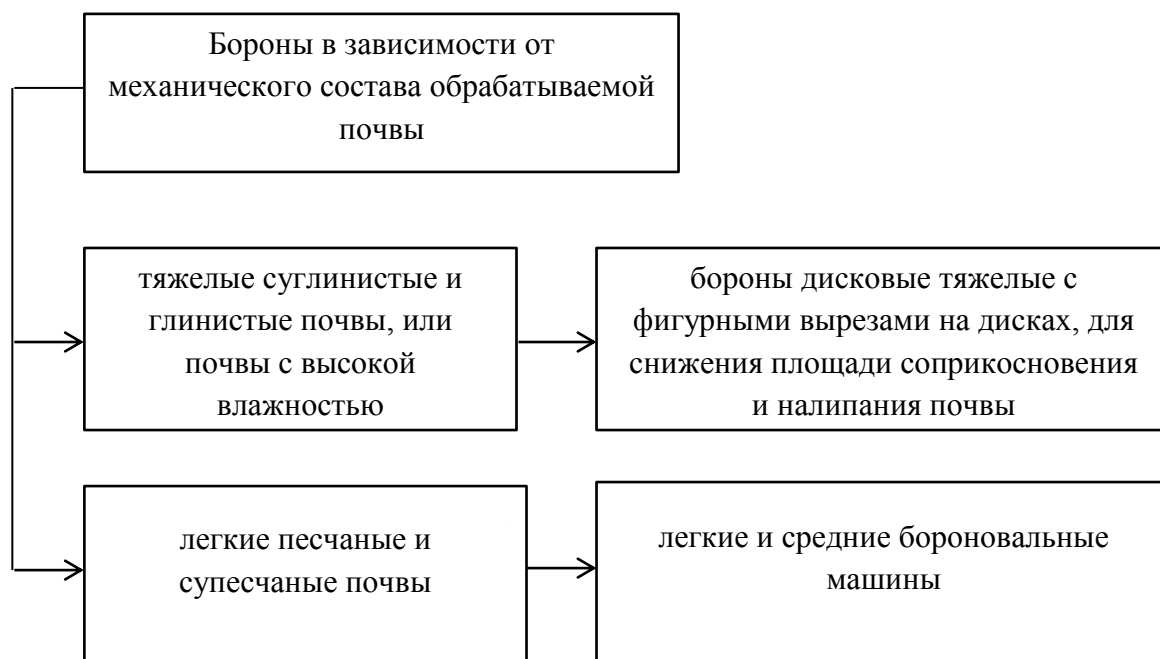


Рисунок 1.26 – Классификация борон в зависимости от механического состава обрабатываемой почвы

Тяжелые бороны предназначены для обработки тяжелых видов почв (глинистых, суглинистых, известковых, торфяных). Для обработки более легких почв применяют легкие и средние бороны.

Качество работы почвообрабатывающих орудий зависит от правильного выбора их оптимальных параметров и режимов работы, которые полностью определяются не только их конструктивными особенностями, но и условиями эксплуатации, а также по типу выполняемых задач (рисунок 1.27).



Рисунок 1.27 – Классификация борон по типу задач [88]

Как показал проведенный анализ, на качество и своевременность выполнения работ по подготовке почв большое влияние оказывают региональные особенности и наличие необходимых средств механизации.

Физико-механические и технологические свойства составляют достаточно сложную систему показателей, от которых зависит качество работы почвообрабатывающих машин и орудий. Важнейшим из них является твердость почвы. Величина твердости почвы формируется через ее влажность и эти два свойства тесно связаны.

1.3. Аналитические исследования по обработке почвы и использованию почвообрабатывающих машин

Проблеме обработки почвы и повышения эффективности использования почвообрабатывающих машин и механизмов посвящены многие труды. Среди них работы авторов Горячкина В.П., [29] Желиговского В.А., [51] Синеокова Г.Н.

[121], Апажева А.К. [6], Аушева М.Х. [9], Багманова Р.С. [10], Беляева А.Н. [14], Валиева А.Р. [17], Голубева В.В. [27], Демко А.Н. [46], Егорова А.С. [48], Кузнецова Е.Е. [63], Макеевой Ю.Н. [93], Мезниковой М.В. [95], Никифорова М.В. [101], Николаева В.А. [102], Поликутиной Е.С. [112], Раймера У.Т. [114], Слепенкова А.Е. [123], Старовойта С.И. [131], Теличкиной Н.А. [132] и другие ученые [11, 12, 16, 23, 52, 54, 99, 100, 118, 128, 129, 130].

Вопросу работы дисковых рабочих органов выполняющих роль резание пласта и его перемещение по поверхности движения посвящены работы [99, 100]. В данных работах полученные выражения были получены на основании рациональной формулы предложенной В.П. Горячкиным [29], которая была им выведена для описания работы плуга:

$$P = fG + kab + \varepsilon abV^2, \quad (1.1)$$

где f – коэффициент (аналог коэффициента трения);

G – сила тяжести плуга, Н;

k – коэффициент удельного сопротивления, Па;

a и b – глубина обработки и ширина захвата, м;

ε – коэффициент, определяемый формой отвала и свойствами почвы;

V – скорость передвижения, м/с.

В работе А.С. Союнова и Е.В. Демчук [130] рассмотрен процесс взаимодействия рабочих органов с почвой получены аналитические выражения позволяющие установить зависимость горизонтальной и вертикальной, составляющих силы сопротивления дискового почвообрабатывающего орудия в функциях объёма вырезанного пласта почвы.

Горизонтальную составляющую силу сопротивления работе диска можно рассматривать как сумму силы сопротивления резанию $W_p(h, H)$ [52], являющуюся функцией толщины срезаемого слоя почвы h , высоты почвенного пласта H перед диском, и силы сопротивления $W_{пр}(H)$ перемещению почвенного пласта перед диском:

$$P_{01Г} = W_p(h, H) + W_{пр}(H) \quad (1.2)$$

Вертикальная составляющая силы сопротивления работе диска также может рассматриваться как сумма двух составляющих:

$$P_{01B} = W_{BH}(h, H) + W_{BO}(H), \quad (1.3)$$

где $W_{BH}(h, H)$ – вертикальная сила на дисковом ноже; $W_{BO}(H)$ – вертикальная сила на сферической поверхности диска.

В результате проведённых исследований авторами [130] были получены аналитические зависимости позволяющие определить горизонтальные и вертикальные составляющие силы сопротивления дискового почвообрабатывающего орудия в зависимости от вырезанного объёма почвы.

Обоснованию параметров дисковых рабочих органов посвящена работа [129]. В которой определены: конструктивные и технологические параметры плоского многоугольного дискового рабочего органа, зависимости сил, действующих на диск со стороны почвы, от технологических параметров рабочего органа. Получена регрессионная модель зависимости качества обработки почвы от угла атаки, глубины обработки и скорости движения агрегата. Автором установлена зависимость силы сопротивления почвы сдвигу:

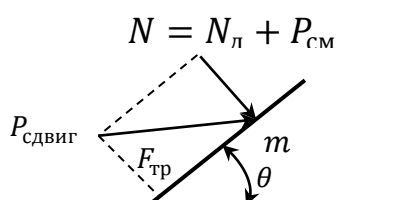
$$N = N_n + P_{cm} \quad (1.4)$$


Рисунок 1.28 – Сила сопротивления сдвигу и ее составляющие

$$P_{сдвиг} = \sqrt{N^2 + F_{тр}^2} = N\sqrt{1 + f}, \quad (1.5)$$

где N – нормальная сила, действующая на заглубленный сегмент диска.

При этом автор предлагает при определении силы сопротивления почвы сдвигу учитывать нормальную силу:

$$N = (qh + V^2 p_{пп}) S \sin \theta, \quad (1.6)$$

где q – коэффициент удельного тягового сопротивления почвы, h – глубина обработки, м; V – скорость движения агрегата, м/с; p – коэффициент удельного

смятия почвы, Н/м^3 ; S – площадь заглубленного сегмента рабочего органа, м^2 ; θ – угол атаки, град.

В работе профессора Синеокова Г.Н. [121] рассмотрена аналитическая зависимость между диаметром диска D борона батарейного типа и глубиной обработки почвы α :

$$D = k \alpha, \quad (1.7)$$

где k – коэффициент, учитывающий склонность к забиванию междискового пространства почвой и пожнивными остатками, $k = 4 \dots 6$; α – глубина обработки.

Для исключения забивания почвой и остатками растительности необходимо выдерживать заданное расстояние между дисками

$$b \geq 1,5 \alpha. \quad (1.8)$$

Эффективность работы дисковых борон зависит от надёжности вращения диска. Для улучшения качества работы предлагается сделать ассиметричные вырезы [134], которые обеспечат резание со скольжением.

Так же при выборе диаметра диска и расстояния между дисками на батарее необходимо учитывать допустимую высоту гребней e , которые образуются при работе двух соседних дисков [128]. Расстояние между дисками b можно вычислить по формуле:

$$b \cos \alpha = D_e \sin \alpha, \quad (1.9)$$

где α – угол атаки; D_e – диаметр диска, обеспечивающего формирование допустимого значения высоты гребней.

$$D_e = D - e, \quad (1.10)$$

где e – допустимая высота гребня на дне борозды.

Таким образом, междисковое расстояние для борон батарейного типа определяется из выражения [128]:

$$b = 2 \sqrt{e(D - e)} \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.11)$$

В дисковых боронах батарейного типа взаимное расположение соседних дисков обусловлено следующими параметрами:

$$b_{\text{поп}} = b \cos \alpha, b_{\text{прод}} = b \sin \alpha, \quad (1.12)$$

где $b_{\text{поп}}$ – поперечное расстояние между соседними дисками при угле атаки α , м; $b_{\text{прод}}$ – продольное расстояние между дисками при угле атаки α , м; b – междисковое расстояние при угле атаки $\alpha = 0$, м.

Угол атаки дисков на боронах батарейного типа регулируется поворотом батареи. При этом изменяется не только угол атаки дисков, но и расстояния между дисками, как в поперечном, так и продольном направлении в зависимости от угла атаки и междискового расстояния вдоль оси батареи. С увеличением угла атаки уменьшается поперечное расстояние между дисками, что снижает проходимость почвы и пожнивных остатков между ними и увеличивает продольное расстояние, что снижает забиваемость.

Существенное влияние на заглубляемость рабочих органов и качество боронования оказывает угол заточки и ширина фаски для заточки дисков. Профессор Ф.М. Канарев [54] разработал методику для расчета ширины фаски для внутренней и внешней заточки диска:

– ширина фаски $b_{\text{н}}$ при внешней заточке:

$$b_{\text{н}} = \sqrt{R^2 \sin^2 i + 2R\delta + \delta^2} - R \sin i, \quad (1.13)$$

где R – радиус сферы; i – угол заточки; δ – толщина диска (материала);

– ширина фаски $b_{\text{в}}$ при внутренней заточке:

$$b_{\text{в}} = (R + \delta) \sin i. \quad (1.14)$$

Одной из проблем при проведении работ дисковой бороной является залипание рабочих органов почвой. Для устранения этой проблемы [16] предлагается использовать рабочие органы в виде сферических дисков с прорезями. Объясняется это тем, что за счет уменьшения площади контакта диска с почвой возрастает удельное давление, это способствует процессу очистки рабочего органа. Для уменьшения забивания рабочих органов почвой в работе предлагается обеспечить вращение соседних дисков с разными угловыми скоростями.

По мере износа лезвия диска, т.е. его затупления, также снижается заглубляемость дисковых рабочих органов, что делает необходимым увеличивать

вертикальную заглубляющую нагрузку, а это возможно только через заранее предусмотренные балластные грузы.

По определению профессора Г.Н. Синеокова [121], на заглубляющую способность диска существенное влияние оказывают его конструктивные параметры (диаметр, радиус сферы, толщина диска, его заточка) и параметры ориентации в обрабатываемой почве (угол атаки, угол наклона диска к вертикали), диаметр D и радиус кривизны R диска связаны зависимостью:

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi}, \quad (1.15)$$

где φ – половина угла при вершине сектора [121].

Из физико-механических свойств почвы, влияющих на заглубляемость дисковых рабочих органов в почву можно выделить твердость почвы, её влажность, липкость, засоренность. Существенное влияние также оказывает наличие на поверхности почвы пожнивных остатков.

При проведении исследований по обоснованию конструктивно-технологической схемы почвообрабатывающего агрегата, автор [10] предложил оптимальную загрузку тракторов различного класса тяги определять по следующей зависимости:

$$N = \frac{N_{\text{тяг}}}{N_{\text{мод}}}, \quad (1.16)$$

где N – число модулей; $N_{\text{тяг}}$ – тяговая мощность трактора; $N_{\text{мод}}$ – потребная мощность одного модуля.

В исследованиях Байбакова А.В. [4] определена зависимость силы трения $F_{\text{тр}}$ (Н) от коэффициента трения – μ , нормальной силы давления прилипшего слоя почвы на рабочую поверхность – F_n (Н), силы адгезии слоя прилипшей почвы – F_c (Н), коэффициента сцепления – $k = \mu F_n$, площади контакта – S , м^2 и силы прилипания, приходящейся на единицу – F_n (Н).

$$F_{\text{тр}} = \mu(F_n + F_c) = \mu F_n + kS \quad (1.17)$$

В работе Севернева М.М. [118] рассмотрен вопрос воздействия обрабатываемой поверхности на интенсивность износа рабочего органа:

$$\Delta G = f(P, L, S, m, T), \quad (1.18)$$

Таким образом, на величину интенсивности износа влияет:

f – коэффициент (аналог коэффициента трения);

P – давление почвы, Па;

L – путь, м;

S – площадь трения, м²;

m – коэффициент изнашивающей способности почвы;

T – твердость детали, HRC.

В работе Апажева А.К. [6] предложено для определения энергоемкости отдельной машины использовать полиномиальные модели. Математическая модель для трех факторов имеет следующий вид:

$$\Delta_n = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (1.19)$$

где x_1, x_2, x_3 – конструктивно-режимные параметры машины.

В работах [23, 29, 121] рассматривался вопрос влияния силовых характеристик рабочих органов почвообрабатывающего орудия на тяговое сопротивление и качество обработки. Получено выражение для определения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия:

$$P = n \frac{R_x}{\eta}, \quad (1.20)$$

где R_x – величина, которую определяют технологические свойства почв, глубина обработки, скорость передвижения и пр.; η – к.п.д. почвообрабатывающего орудия; n – количество корпусов.

Автором в работе [138] предложен комплексный подход к оценке эффективности применения усовершенствованных агрегатов в технологии производства сельскохозяйственной продукции. Усовершенствованный агрегат будет эффективным в случае:

$$\Delta E_{mn} = E_{mnб} - E_{mnn} \rightarrow \max \quad (1.21)$$

Эффективность технологии с позиции энергосбережения оценивается функцией:

$$k_э = \frac{E_{mnб}}{E_{mnn}} > 1, \quad (1.22)$$

где E_{mn} – экономия полных энергозатрат в технологии, МДж/га; $E_{mnб}$; $E_{mnн}$ – полные энергозатраты агрегатов в базовом и новом исполнении, МДж/га.

Для определения тягового сопротивления дисков P_d при обработке почвы, автор в работе [95] вносит в формулу В.П. Горячкина необходимые преобразования:

$$P_d = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1.23)$$

Таким образом, при определении тягового сопротивления дисков бороновального агрегата учитываются: P_1 – сила, пропорциональная нормальному давлению, Н, P_2 – сила деформации почвенного пласта, Н и P_3 – сила резания растительного материала, Н.

В работе [102] предлагается качество обработки почвы почвообрабатывающими машинами и орудиями – K выразить количественным показателем доли массы агрономически ценных почвенных отдельностей (агрегатов) в единице массы почвы:

$$K = \int_{0.25}^{10} N x d d_{по} \rightarrow 1, \quad (1.24)$$

где N – количество почвенных отдельностей (агрегатов) оптимального размера в единице массы почвы; x – коэффициент, обусловленный формой, плотностью оптимальных почвенных отдельностей, плотностью укладки оптимальной почвенной отдельности и связывающий ее средний размер, и массу; $d_{по}$ – средний размер почвенной отдельности.

Глубина обработки почвы – главный технологический параметр обработки почвы. Ее не соблюдение может привести к снижению урожайности, а ее превышение – к перерасходу энергии. Большинство же отечественных и зарубежных дисковых орудий, в экстремальных условиях работы, когда почва характеризуется повышенной твердостью, не заглубляются на заданную глубину. Этот факт приводит к многократным проходам по полю, утрамбовыванию почвы движителями энергетических средств, перерасходу топлива. Известно, что заглубляемость дисков зависит от многих факторов: нагрузки на диск, его

геометрических параметров и ориентации в почве. Нагрузка на диск является одним из наиболее существенных факторов, определяющих заглубляющую способность дисковой бороны [128].

Чтобы повысить заглубляемость, производители дисковых борон предлагают в виде дополнительных опций балласт для подбора необходимой нагрузки на диск в зависимости от конкретных почвенных условий. Рассмотрен вариант, для увеличения нагрузки на диски борон заполнять полости труб рамы водой, устанавливать более массивные распорные втулки на боронах батарейного типа. В большинстве же случаев балластные грузы устанавливаются на раму бороны или на батареи в местах, обеспечивающих равномерное распределение нагрузки на все рабочие органы [128].

А.Н. Баранский [12] в своем исследовании вывел закономерность влияния агрегатируемого сельскохозяйственного орудия на сцепной вес. Он предлагает приращение нагрузки на трактор определять:

– для прицепного сельскохозяйственного орудия:

$$\Delta G_{\text{тр}} = P_{\text{кр}} \operatorname{tg} \gamma, \quad (1.25)$$

где $P_{\text{кр}}$ – тяговое усилие на крюке, Н; γ – угол между горизонталью и линией силы тяги;

– для навесного сельскохозяйственного орудия с силовым регулированием:

$$\Delta G_{\text{тр}} = G_{\text{ор}} + P_{\text{кр}} \operatorname{tg} \gamma, \quad (1.26)$$

где $G_{\text{ор}}$ – вес сельскохозяйственного орудия, Н;

– для навесного сельскохозяйственного орудия с высотным регулированием:

$$\Delta G_{\text{тр}} = G_{\text{ор}} + P_{\text{кр}} \operatorname{tg} \gamma - Y_0, \quad (1.27)$$

где Y_0 – вертикальная реакция на опорное колесо навесного орудия, Н.

В исследованиях [123] автор поставил перед собой задачу – повысить эффективность использования машинно-тракторного агрегата при подготовке почвы под посев, посредством перераспределения сцепного веса колесного трактора класса 1,4 и тяжелой дисковой бороны БДТ-3, внедрив регулятор

сцепного веса бороновального агрегата [104]. Причем экспериментально доказано, что при использовании устройства происходит перераспределение нагрузки, приходящейся на колеса энергетического средства и рабочие органы бороны:

- нагрузка на задних колесах трактора (при неработающем устройстве):

$$Y_2 = \frac{G(B-a) + N_c(B+c)}{B} = \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d(B+C)}{Bb} \quad (1.28)$$

- нагрузка на передней секции бороны (при неработающем устройстве):

$$Y_3 = \frac{Y_k(P+n) + G_6 f}{P} = G_n \frac{(b-d)(P+n)}{bP} + \frac{G_6 f}{P} \quad (1.29)$$

- нагрузка на задних колесах трактора (при работающем устройстве):

$$\left. \begin{aligned} Y_2 = & \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d(B+C')}{BB} - \frac{F \sin \theta (B+C')}{(\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d) B} - \\ & - \frac{F \cos \theta \cos d (h-h_B)}{\sin(d+\theta) \cdot B} + \left(\frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} - \frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} \right) \cdot \frac{h_B (B+C')}{B \cos \gamma B} = \frac{G(B-a)}{B} + \\ & + \frac{G_n d(B+C')}{BB} - \frac{F \sin \theta (B+C')}{(\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d)} - \frac{F \cos \theta \cos d (h-h_B)}{\sin(d+\theta) \cdot B} + \\ & + F \left(\frac{1}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} - \frac{\cos d}{\sin(d+\theta)} \right) \cdot \frac{h_B (B+C')}{B \cos \gamma B} \end{aligned} \right\} \quad (1.30)$$

- нагрузка на передней секции бороны (при работающем устройстве):

$$\left. \begin{aligned} Y_3 = & \frac{G_6 f}{P} + \frac{G_n (B-d)(n+P)}{BP} + \left(\frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} - \frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} \right) \frac{h_B (n+P)}{B \cos \gamma P} - \left(\frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} - \right. \\ & \left. - \frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} \right) \frac{h}{P} + \frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} \left(\frac{h+h_0}{P} \right) + \frac{F \sin \theta}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} \left(\frac{n+P}{P} \right), \\ Y_3 = & \frac{G_6 f}{P} + \frac{G_n (B-d)(n+P)}{BP} + F \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\theta)} - \frac{1}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} \right) \frac{\cos \theta h_B (n+P)}{B \cos \gamma P} + \frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} \cdot \frac{h}{P} + \frac{F(\cos \theta \frac{h_0}{P} + \sin \theta (\frac{n+P}{P}))}{\sin \theta + \cos \theta \operatorname{tg} d} \end{aligned} \right\} \quad (1.31)$$

Сравнивая выражения 1.28 и 1.29 с выражениями 1.30 и 1.31, автор делает вывод, что при работе устройство происходит перераспределение нагрузки между трактором и бороной. Таким образом использование данной полезной модели, позволило улучшить качество почвенной обработки бороной дисковой тяжёлой БДТ-3 и увеличить тягово-сцепные свойства МТА. Недостатком данного

устройства является невозможность его применения для тракторов с шарнирно-сочлененной рамой в связи с их конструкционными особенностями.

На территории Зейско-Буреинской равнины, где основными типами почв являются луговые черноземовидные почвы различной степени дисперсности наибольшее распространение, в связи с большой длиной гона и территориальностью полей, получили тяжёлые дисковые бороны, основными представителями которых являются бороны дисковые тяжелые БДТ-7, агрегатируемые колесными тракторами 5 тягового класса.

Одним из основных требований, предъявляемых к дисковым боронам – это возможность заглубления диска на заданную глубину согласно агротехническим требованиям. Заданная глубина 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.

В рамках данного исследования предлагается применение дополнительного устройства, направленного на повышение эффективности обработки почвы бороной дисковой тяжёлой, агрегатируемой колёсным трактором с шарнирно-сочлененной рамой.

1.4. Выводы

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-сцепными 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.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПО ВЛИЯНИЮ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ МТА ПРИ БОРОНОВАНИИ

2.1 Теоретические исследования работы МТА с корректором- распределителем сцепного веса

Подготовка почвы тяжелыми дисковыми боронами является важным агротехническим приемом, особенно актуальным для Амурской области ввиду специфики почвенных условий региона. Регион характеризуется разнообразием типов почв, среди которых распространены черноземы, серые лесные почвы, дерново-подзолистые и торфяные болотно-луговые почвы. Важнейшей особенностью местных почв являются высокая плотность и наличие крупных каменистых включений. Это делает обработку такими традиционными орудиями, как плуги, менее эффективной. Дисковые бороны позволяют проводить глубокую обработку почвы, достигая глубины до 18–20 см. Благодаря этому обеспечивается качественное рыхление и перемешивание верхнего слоя грунта, что способствует улучшению аэрации и проникновению влаги. Вместе с тем тяжелые дисковые бороны эффективно измельчают пожнивные остатки, обеспечивая равномерное распределение органического материала в почве. Это улучшает структуру почвы и ускоряет процесс разложения органических веществ, повышая плодородность. Позволяют уничтожать многолетние корневищные сорняки, такие как осот полевой, пырей ползучий и др., путем разрезания корней растений. Такой способ борьбы с сорняками снижает необходимость химической обработки полей гербицидами. Регулярная обработка почвы тяжелыми дисковыми боронами улучшает её структурообразующие свойства, создавая оптимальные условия для развития корневой системы культурных растений. Почва становится более влагоемкой и воздухопроницаемой, что положительно сказывается на урожайности культур.

Таким образом подготовка почвы тяжелыми дисковыми боронами в Амурской области обоснована природными условиями региона,

характеристиками почвенного покрова и экономическими факторами ведения сельского хозяйства.

Для реализации направлений повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов при бороновании в составе колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой и бороны дисковой тяжелой, в результате патентного поиска предложена к исследованию конструкция корректора-распределителя сцепного веса, на которую получен патент на изобретение RU 2782360 C1 (приложение А) [108].

Принципиальная схема устройства предложена на (рисунках 2.1, 2.2).

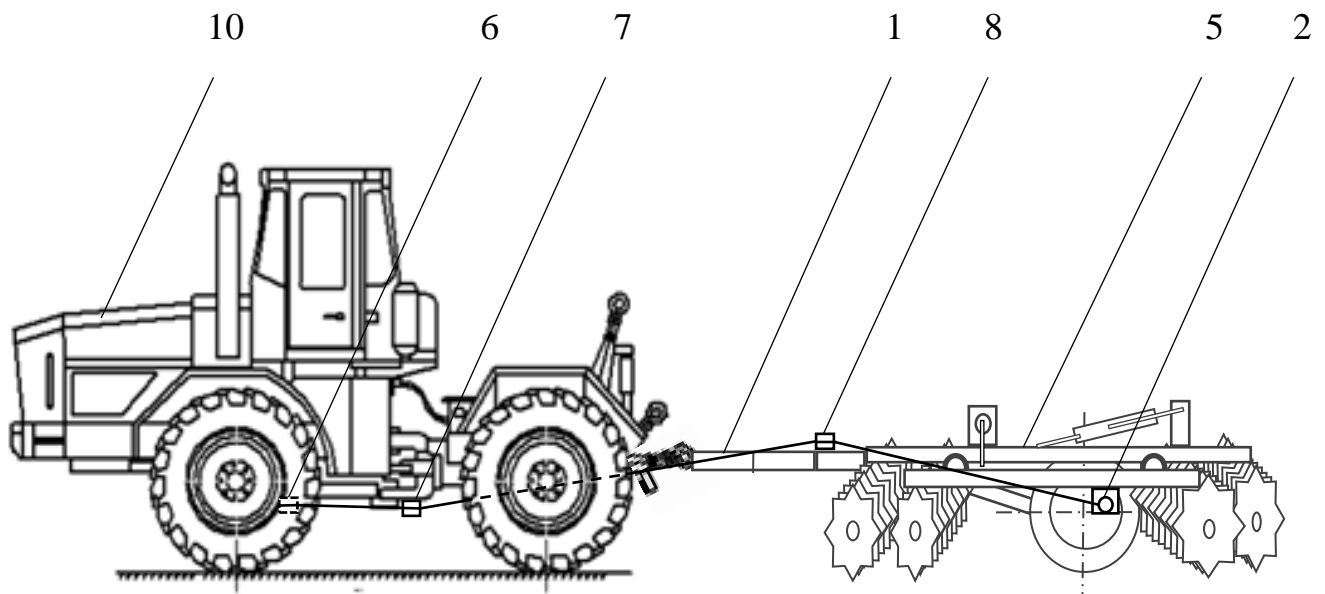


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема корректора-распределителя сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата

Общее устройство и принцип работы подробно описаны в работах [73, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 108].

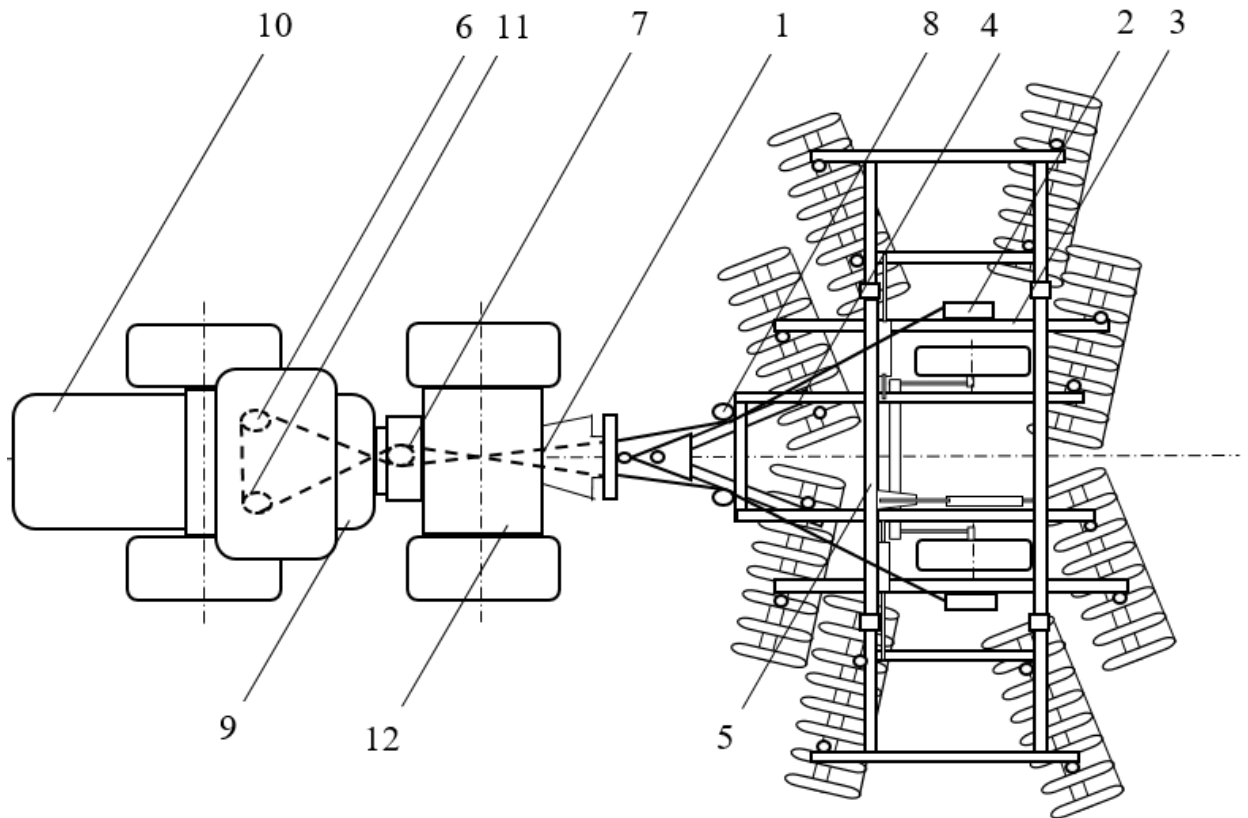


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема корректора-распределителя сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата (вид сверху)

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 [73].

При разработке конструкции корректора-распределителя сцепного веса преследовалась цель повысить эффективность применения МТА на бороновании

за счет распределения сцепного веса, как между трактором и бороной, так и между шарнирно-сочлененными рамами машинно-энергетического средства. Причем для большей эффективности, необходимо нагружать борону, за счет большей разгрузки передней, более тяжелой полурамы трактора. Ввиду этого принято конструктивное решение крепить гибкую тросовую часть устройства на уровне переднего моста, используя блок-ролики, что позволяет сохранять целостность устройства при горизонтальном смещении полурам трактора при поворотах, за счет перебега троса по роликам.

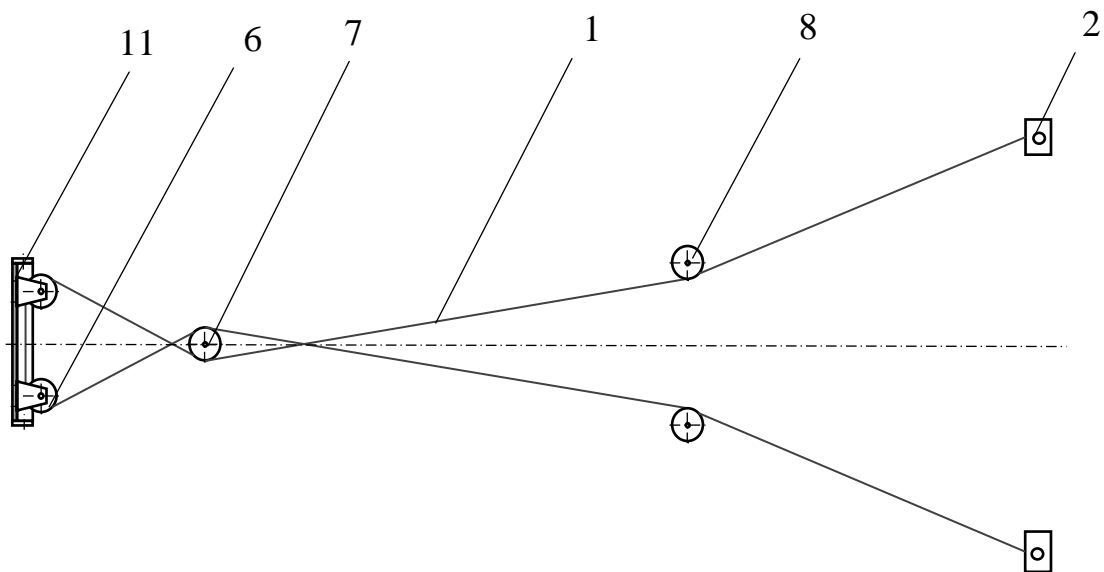


Рисунок 2.3 – Схема корректора-распределителя сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата

2.2. Распределение сил и нагрузок при нейтральном положении предлагаемого устройства.

Для анализа работы корректора-распределителя сцепного веса машинно-тракторного агрегата рассмотрим составную конструкцию в трех положениях:

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

Так как составная конструкция имеет ось симметрии, то можно предположить, что реакции опор шарниров в точках соединения с правой и левой сторон равны между собой. Распределенную реакцию поверхности на батарее бороны заменим сосредоточенными реакциями, условно для передних и задних секций бороны. При исследовании работы МТА с предлагаемым устройством примем следующие допущения и предположения – МТА находится в статичном положении. Рассмотрим машинно-тракторный агрегат, как составную конструкцию: передний мост + задний мост + навеска + дышло + бороны.

Определение вертикальных реакций поверхности на МТА при нейтральном положении корректора-распределителя сцепного веса (рисунки 2.4, 2.5).

G_n ; G_3 ; G_H ; G_d ; G_6 – вес, соответственно, переднего и заднего мостов, навески, дышло, бороны, Н;

B – 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;

$B - d_n$ – 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;

C – расстояние от точки опоры заднего моста трактора до вала рычагов, м;

C_H – расстояние от вала рычагов до точки С, м;

a_H – расстояние от точки С до центра тяжести навески, м;

l – длина дышло бороны, м;

a_d – расстояние от центра тяжести дышла до линии шарниров K_n и K_d , м;

l_d – ширина дышла бороны, м;

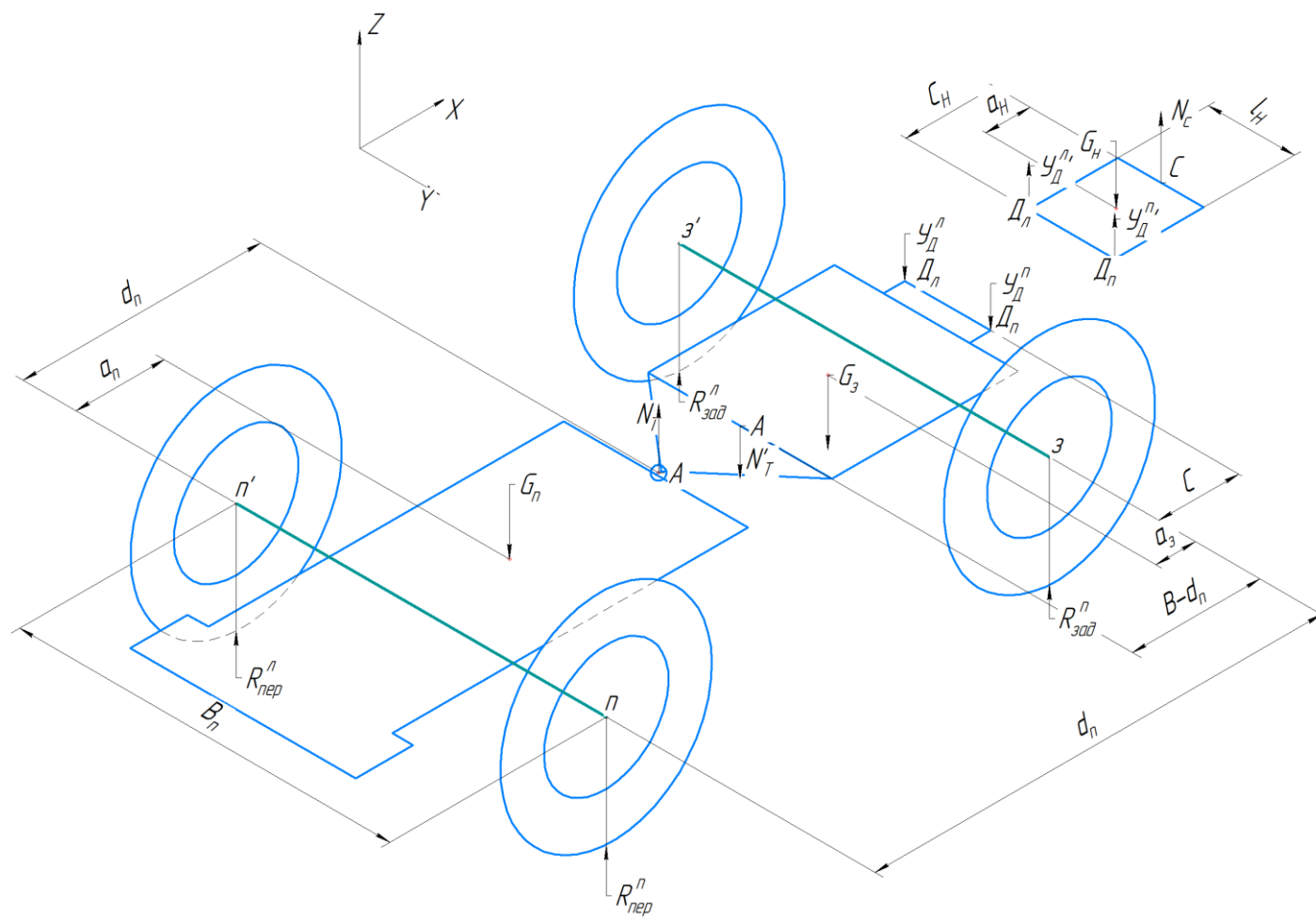


Рисунок 2.4 – Схема определения нагрузок, действующих на опорные поверхности трактора при нейтральном положении корректора-распределителя сцепного веса

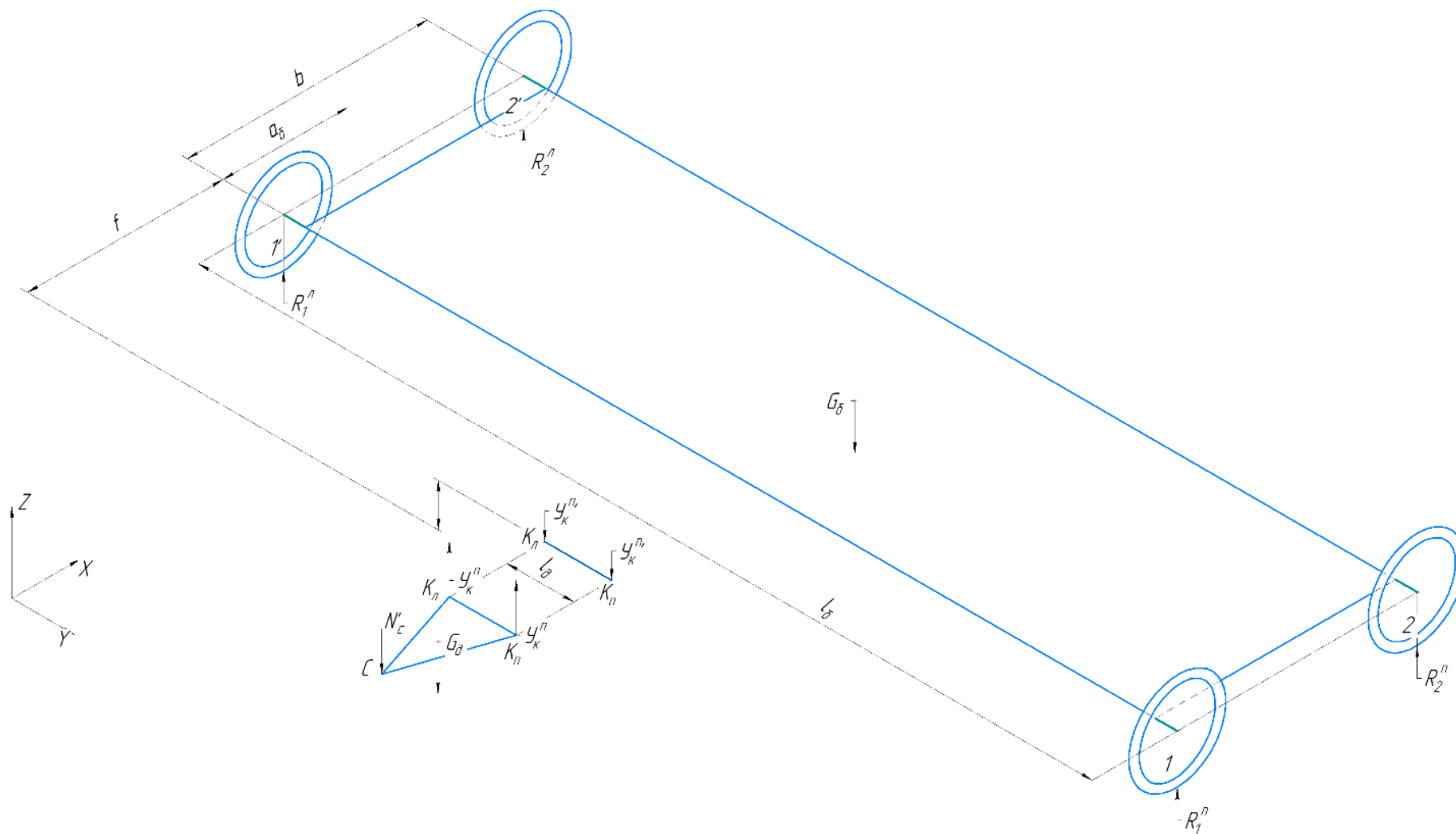


Рисунок 2.5 – Схема определения нагрузок, действующих на опорные поверхности бороны при нейтральном положении корректора-распределителя сцепного веса

l_6 – 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 в точке К, м.

На МТА действуют следующие силы и реакции (рисунки 2.4, 2.5):

$R_{\text{пер}}^n = R_{\text{пер}}^l = R_{\text{пер}}$ – вертикальная реакция опорной поверхности под передним движителем трактора, Н;

$R_{\text{зад}}^n = R_{\text{зад}}^l = R_{\text{зад}}$ – вертикальная реакция опорной поверхности под задним движителем трактора, Н;

$R_1^n = R_1^l = R_1$ – вертикальная реакция опорной поверхности под передней батареей бороны, Н;

$R_2^n = R_2^l = R_2$ – вертикальная реакция опорной поверхности под задней батареей бороны, Н;

$\overrightarrow{N_T} = \overrightarrow{N'_T}$ – реакция в шарнире соединения полурам трактора (точка А), Н;

$\overrightarrow{y_D^n} = \overrightarrow{y_D^l} = -\overrightarrow{y_D^{n'}} = -\overrightarrow{y_D^{l'}} = \overrightarrow{y_D}$ – реакция в шарнире навески (точках $D_{\text{п}}$ и $D_{\text{л}}$), Н;

$\overrightarrow{N_c} = \overrightarrow{N'_c}$ – реакция в точке С соединений навески и дышло бороны, Н;

$\overrightarrow{y_K^n} = \overrightarrow{y_K^l} = -\overrightarrow{y_K^{n'}} = -\overrightarrow{y_K^{l'}} = \overrightarrow{y_K}$ – реакции в точках $K_{\text{п}}$ и $K_{\text{л}}$ на бороне, Н.

На составную конструкцию действуют только вертикальные силы, горизонтальные составляющие реакций шарниров, не показываем т.к. они будут равны нулю.

Для произвольной пространственной системы сил можно составить по шесть уравнений равновесия для каждой составной части конструкции,

составим уравнения необходимые для нахождения неизвестных вертикальных реакций опорных поверхностей под МТА.

Под передним мостом:

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2R_{\text{пер}} - G_n + N_T = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum M_Z(F_k) = 0 \quad N_T \cdot d_n - G_n \cdot a_n = 0 \quad (2.2)$$

Под задним мостом

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2R_{\text{зад}} - N'_T - G_3 - 2Y_d = 0 \quad (2.3)$$

$$\sum M_Z(F_k) = 0 \quad -2Y_d \cdot C + G_3 \cdot a_3 + N'_T(B - d_n) = 0 \quad (2.4)$$

Навеска

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2Y_d - G_H + N_c = 0 \quad (2.5)$$

$$\sum M_Z(F_k) = 0 \quad -G_H(C_H - a_H) + N_c \cdot C_H = 0 \quad (2.6)$$

Дышло

$$\sum F_{ky} = 0 \quad -N'_c - G_d + 2Y_k = 0 \quad (2.7)$$

Борона

$$\sum F_{ky} = 0 \quad -2Y_k + 2R_1 + 2R_2 - G_6 = 0 \quad (2.8)$$

$$\sum M_z = 0 \quad 2R_2 \cdot b - G_6 \cdot a_6 + 2Y_k \cdot f = 0 \quad (2.9)$$

Преобразовав выражение 2.6, находим силовую реакцию в точке С соединения навески трактора и дышла бороны:

$$N_c = \frac{G_H(C_H - a_H)}{C_H} \quad (2.10)$$

Из выражения 2.5 находим силовую реакцию в шарнире навески:

$$Y_d = 0,5G_H - 0,5N_c = 0,5G_H - 0,5 \frac{G_H(C_H - a_H)}{C_H} = 0,5G_H \left(1 - \frac{C_H - a_H}{C_H}\right) = 0,5G_H \frac{a_H}{C_H} \quad (2.11)$$

Из выражения 2.4 находим силовую реакцию в шарнире соединения полумрам трактора (точка А):

$$N'_T = \frac{2Y_d \cdot C - G_3 a_3}{B - d_n} = G_H \frac{a_H \cdot C}{C_H(B - d_n)} - \frac{G_3 a_3}{(B - d_n)} \quad (2.12)$$

Из выражения 2.7 находим силовую реакцию в точке К на бороне:

$$Y_k = 0,5N'_c + 0,5G_d = 0,5G_H \frac{(C_H - a_H)}{C_H} + 0,5G_d \quad (2.13)$$

Решив уравнения (2.1, 2.3, 2.8 и 2.9) получим реакции опорных поверхностей машинно-тракторного агрегата:

– под передним движителем энергетического средства:

$$R_{\text{пер}} = \frac{G_n - N_T}{2} = 0,5G_n - 0,5G_H \frac{a_H C}{C_H(B - d_n)} + 0,5 \frac{G_3 a_3}{B - d_n} \quad (2.14)$$

– под задним движителем энергетического средства:

$$R_{\text{зад}} = N'_T + G_3 + y_d = 0,5G_H \frac{a_H C}{C_H(B - d_n)} - 0,5 \frac{G_3 a_3}{(B - d_H)} + 0,5G_3 + 0,5G_H \frac{a_H}{C_H} \quad (2.15)$$

– под передней батареей дисковой бороны:

$$R_1 = 0,5G_6 \left(1 - \frac{a_6}{b}\right) + 0,5 \left(1 + \frac{f}{b}\right) \left(G_d + G_H \frac{(C_H - a_H)}{C_H}\right) \quad (2.16)$$

– под задней батареей дисковой бороны:

$$R_2 = \frac{G_6 a_6 - 2y_k f}{2b} = 0,5G_6 \frac{a_6}{b} = 0,5G_d \frac{f}{b} - 0,5 \frac{G_H(C_H - a_H)f}{C_H b} \quad (2.17)$$

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 работает).

2.3. Распределение сил и нагрузок при работе устройства при поднятом положении навески трактора

Рассмотрим работу предлагаемого устройства в случае, когда гибкая тросовая связь предлагаемого устройства натянута навеской трактора вверх (для увеличения тягово-сцепных свойств трактора и уменьшения глубины погружения рабочих органов бороны в почву) (рисунки 2.6, 2.7).

h_n – высота от поверхности земли до точек (0_n ; 0_l) крепления блок-роликов к передней полураме трактора, м;

b_T – расстояние от передних левого и правого движителей трактора до соответствующих точек ($0^n; 0^л$) крепления блок-роликов к передней полураме трактора, м;

l_T – расстояние между точками крепления троса к бороне, м;

h_6 – высота от поверхности земли до точки крепления троса к бороне, м;

b_6 – расстояние от передней батареи бороны до линии точек крепления троса к бороне, м;

h_k – расстояние от поверхности до точек K_n и K_l .

На машинно-тракторный агрегат действуют следующие силы и реакции (рисунки 2.6, 2.7):

$(R_{пер}^n)' = (R_{пер}^л)' = (R_{пер})'$ – вертикальная реакция опорной поверхности под передним движителем трактора, Н;

$(X_{пер}^n)' = (X_{пер}^л)' = (X_{пер})'$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под передним движителем трактора, Н;

$(N_T)' = -(N_T^l)'$ – вертикальная силовая реакция в месте сочленения полурам (точка А), Н;

$(X_T)' = -(X_T^l)'$ – горизонтальная силовая реакция в месте сочленения полурам (точка А), Н;

$(R_{зад}^n)' = (R_{зад}^л)' = (R_{зад})'$ – вертикальная реакция опорной поверхности под задним движителем трактора, Н;

$(X_{зад}^n)' = (X_{зад}^л)' = (X_{зад})'$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под задним движителем трактора, Н;

$(y_D^n)' = -(y_D^л)' = (y_D^л)' = -(y_D^л)' = (y_D)'$ – вертикальная силовая реакция в точках D_n и D_l , Н;

$(x_D^n)' = -(x_D^л)' = (x_D^л)' = -(x_D^л)' = (x_D)'$ – горизонтальная силовая реакция в точках D_n и D_l , Н;

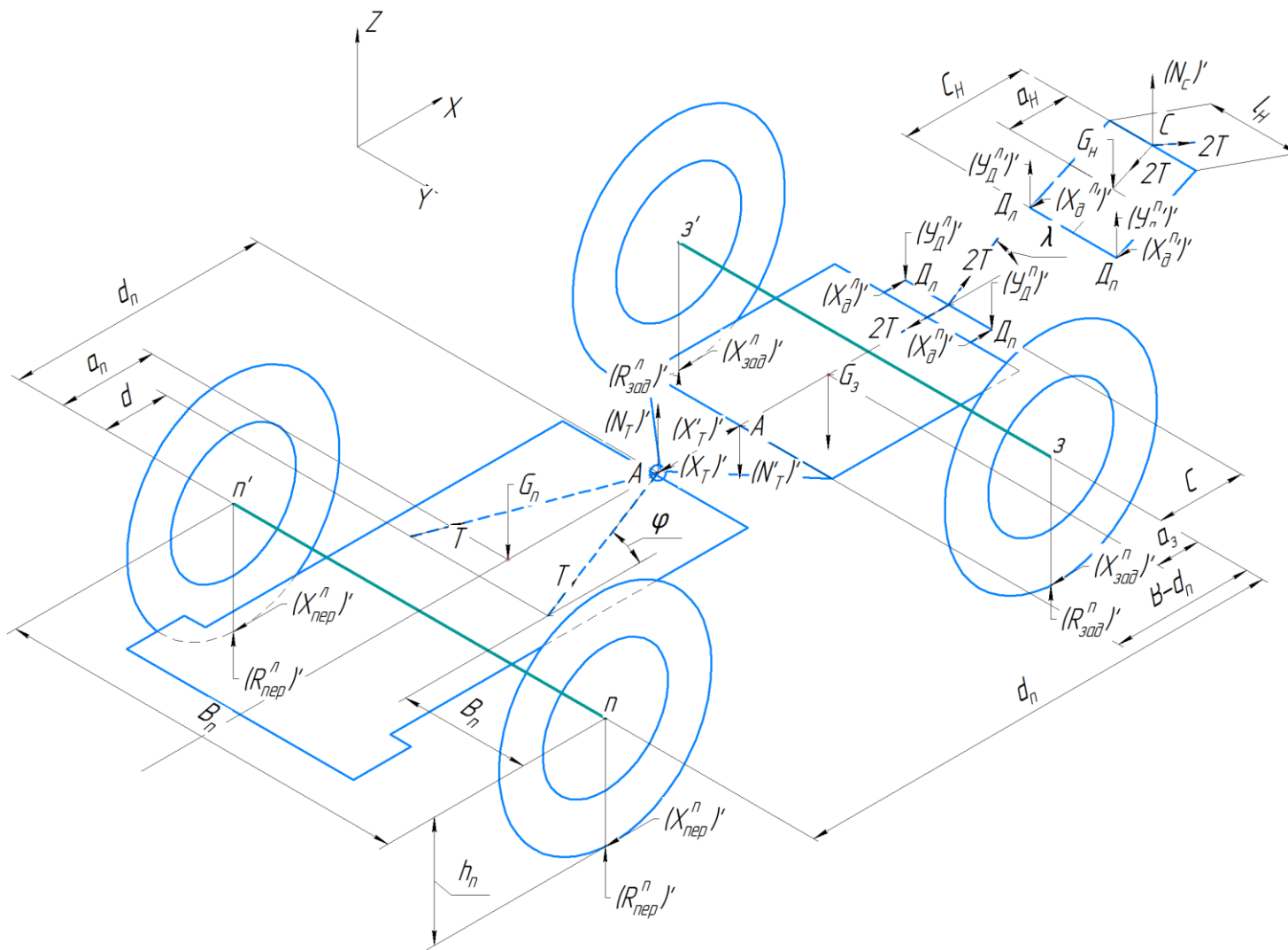


Рисунок 2.6 – Схема распределения силовых реакций, действующих на опорные поверхности трактора при работе корректора-распределителя сцепного веса (при поднятии навески трактора)

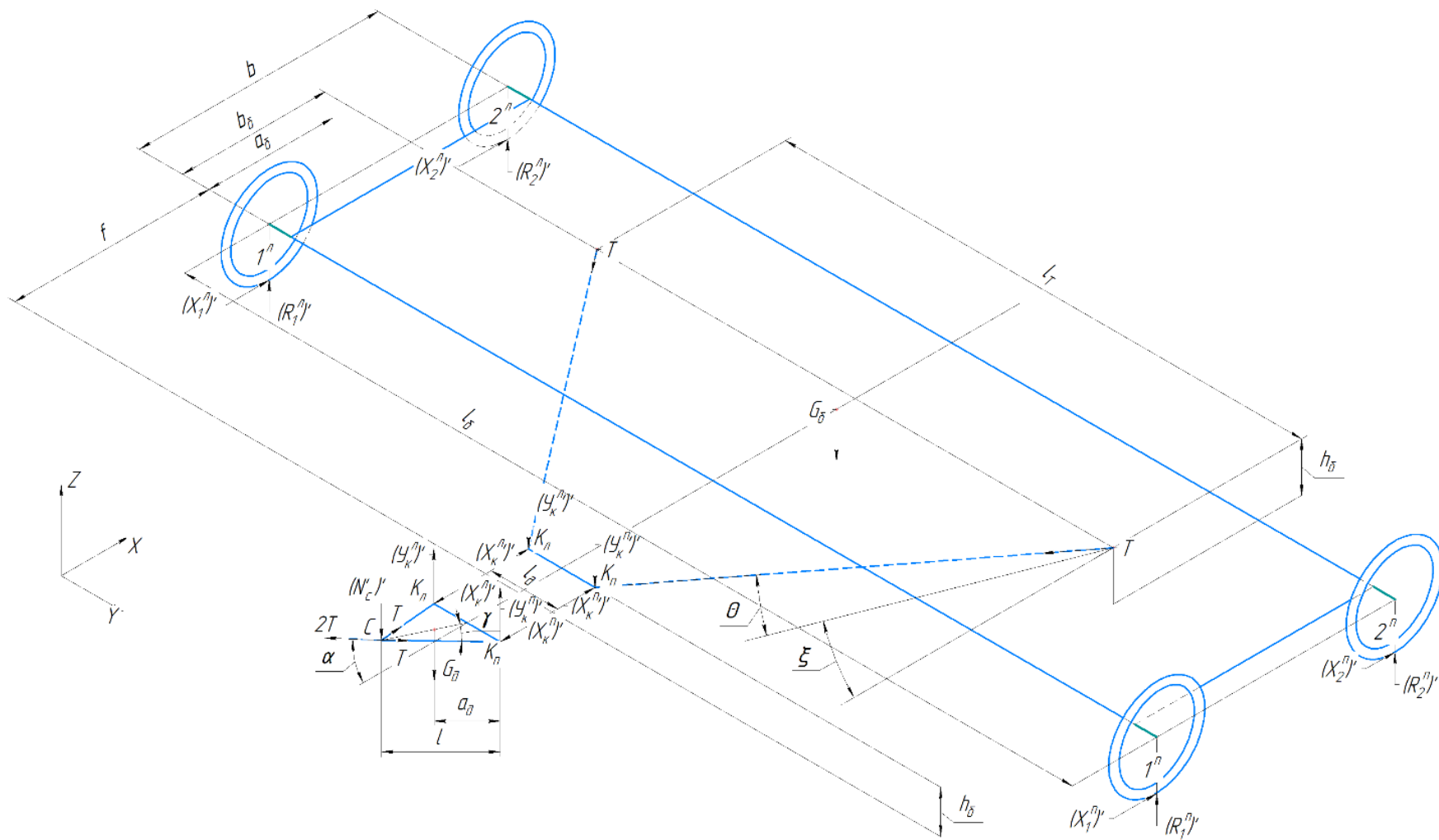


Рисунок 2.7 – Схема распределения силовых реакций, действующих на опорные поверхности бороны при работе корректора-распределителя сцепного веса (при поднятии навески трактора)

$(N_c)' = -(N'_c)'$ – силовая реакция в точке С соединения навески и дышла бороны, Н;

$(y_K^n)' = -(y_K^{n'})' = (y_K^l)' = -(y_K^{l'})' = (y_K)'$ – вертикальная силовая реакции в точках K_{Π} и $K_{\text{л}}$, Н;

$(X_K^n)' = -(X_K^{n'})' = (X_K^l)' = -(X_K^{l'})' = (X_K)'$ – горизонтальная силовая реакции в точках K_{Π} и $K_{\text{л}}$, Н;

$(R_1^n)' = (R_1^l)' = (R_1)'$ – вертикальная реакция опорной поверхности под передней батареей бороны, Н;

$(X_1^n)' = (X_1^l)' = (X_1)'$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под передней батареей бороны, Н;

$(R_2^n)' = (R_2^l)' = (R_2)'$ – вертикальная реакция опорной поверхности под задней батареей бороны, Н;

$(X_2^n)' = (X_2^l)' = (X_2)'$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под задней батареей бороны, Н.

Действие сил на МТА рассматриваем в произвольной пространственной системе. Составим для каждой части составной конструкции уравнения необходимые для определения вертикальных реакций поверхности МТА (рисунки 2.5, 2.6).

Передний мост:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -2(X_{\text{пер}})' - (X_T)' + 2T \cos \varphi = 0 \quad (2.18)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2(R_{\text{пер}})' + (N_T)' - G_n = 0 \quad (2.19)$$

$$\sum M_Z(F_k) = 0 \quad -2T \cos \varphi \cdot h_n - G_n a_n + (N_T)' d_n + (X_T)' \cdot h_n = 0 \quad (2.20)$$

Задний мост:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad (X_T)' - 2(X_{\text{зад}})' + 2(X_{\text{д}})' - 2T + 2T \cos \alpha = 0 \quad (2.21)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2(R_{\text{зад}})' - (N_T)' - G_3 - 2(y_{\text{д}})' + 2T \sin \alpha = 0 \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} \sum M_z(F_k) = 0 \quad G_3 a_3 + (N_T)'(B - d_n) - (X_T)' \cdot h_n - 2(Y_d)' \cdot c + 2T \cdot h_n - \\ 2T \cos \alpha \cdot h_n - 2(X_d)' h_n + 2T \sin \alpha \cdot c = 0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Навеска:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -2(X_d)' - 2T \cos \alpha + 2T \cos \beta = 0 \quad (2.24)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2(Y_d)' - G_H + (N_C)' - 2T \sin \alpha - 2T \cos \beta = 0 \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \sum M_z(F_k) = 0 \quad (N_C)' C_H \cos \alpha - 2T \sin \alpha \cos \alpha C_H - 2T \sin \beta \cos \alpha C_H - \\ G_H(C_H - a_H) \cos \alpha + 2T \cos \alpha \sin \alpha C_H - 2T \cos \beta \sin \alpha C_H = 0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Дышло:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -2T \cos \beta + 2T \cos \gamma \cos \beta - 2(X_k)' = 0 \quad (2.27)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad - (N_C)' - G_d + 2(Y_k)' + 2T \sin \beta - 2T \cos \gamma \sin \beta = 0 \quad (2.28)$$

Борона:

$$\sum F_{ky} = 0 \quad -2(Y_k)' + 2(R_1)' + 2(R_2)' - G_6 + 2T \sin \Theta = 0 \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} \sum M_z(F_k) = 0 \quad 2(R_2)' b - G_6 a_6 + 2T \sin \Theta b_6 + T \cos \Theta \cos \xi h_6 + 2(Y_k)' f - \\ 2(X_k)' h_k = 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

Решаем систему уравнений (2.18 – 2.30), для определения силовых реакций опорных поверхностей.

Преобразовав выражение (2.26), находим силовую реакцию в точке С соединения навески и дышла бороны:

$$\begin{aligned} (N_C)' &= \frac{2T \sin \alpha \cos \alpha C_H + 2T \cos \beta \sin \alpha C_H + G_H(C_H - a_H) \cos \alpha}{C_H \cos \alpha} \\ (N_C)' &= 2T \sin \alpha + 2T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + G_H - \frac{G_H a_H}{C_H} \\ (N_C)' &= G_H - \frac{G_H a_H}{C_H} + 2T \sin \alpha + 2T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \quad (2.31)$$

Преобразовав выражение (2.25) получили вертикальную силовую реакцию в точках Д_п и Д_л:

$$\begin{aligned} (Y_d)' &= \frac{G_H}{2} - \frac{(N_C)'}{2} + \frac{2T \sin \alpha}{2} - \frac{2T \cos \beta}{2} \\ (Y_d)' &= \frac{G_H}{2} - \frac{G_H}{2} + \frac{G_H a_H}{2C_H} - \frac{2T \sin \alpha}{2} - \frac{2T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha}{2} + T \sin \alpha - T \cos \beta \end{aligned}$$

$$(Y_d)' = \frac{G_H a_H}{2C_H} - T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha - T \cos \beta \quad (2.32)$$

Преобразовав выражение (2.24) нашли значение горизонтальной силовой реакции в точках D_n и D_L :

$$(X_d)' = T \cos \beta - T \cos \alpha \quad (2.33)$$

Преобразовав выражение (2.20) получили горизонтальную силовую реакцию в месте сочленения полурам (точка А):

$$(X_T)' = \frac{2T \cos \varphi h_n + G_n a_n - (N_T)' d_n}{h_n} \quad (2.34)$$

Подставив выражения (2.32, 2.33, 2.34) в уравнение (2.23), находим вертикальную силовую реакцию в месте сочленения полурам:

$$\begin{aligned} G_3 a_3 + (N_T)'(B - d_n) - h_n \frac{(2T \cos \varphi h_n + G_n a_n - (N_T)' d_n)}{h_n} - 2C \left(\frac{G_H a_H}{2C_H} - T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha - \right. \\ \left. T \cos \beta \right) + 2Th_n - 2T \cos \alpha h_n - 2h_n(T \cos \beta - T \cos \alpha) + 2T \sin \alpha C = 0 \\ G_3 a_3 + (N_T)'(B - d_n) - 2T \cos \varphi h_n - G_n a_n + (N_T)' d_n - \frac{G_H a_H C}{C_H} + \\ + 2CT \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + 2CT \cos \beta + 2Th_n - 2T \cos \alpha h_n - 2T \cos \beta h_n + \\ + 2T \cos \alpha h_n + 2T \sin \alpha C = 0 \\ G_3 a_3 + (N_T)' B - 2T \cos \varphi h_n + 2Th_n - G_n a_n - \frac{G_H a_H C}{C_H} + 2TC \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \\ + 2CT \cos \beta - 2T \cos \beta h_n + 2T \sin \alpha C = 0 \\ (N_T)' = \frac{G_n a_n + \frac{G_H a_H C}{C_H} - G_3 a_3 + 2T \cos \varphi h_n - 2TC \cos \beta \operatorname{tg} \alpha - 2CT \cos \beta + 2T \cos \beta h_n - 2T \sin \alpha C}{B} \quad (2.35) \end{aligned}$$

Из уравнения (2.19), находим силовую реакцию опорной поверхности под передними движителями трактора:

$$\begin{aligned} (R_{\text{пер}})' &= \frac{G_n - (N_T)'}{2} \\ (R_{\text{пер}})' &= \frac{G_n}{2} - \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_3 a_3}{2B} - \frac{G_H a_H C}{2BC_H} - \\ &- \frac{2T \cos \varphi h_n + 2Th_n - 2T \cos \beta h_n + 2T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + 2CT \cos \beta + 2TC \sin \alpha}{2B} \\ (R_{\text{пер}})' &= \frac{G_n}{2} - \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_3 a_3}{2B} - \frac{G_H a_H C}{2BC_H} + \end{aligned}$$

$$+T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta) + T \frac{C}{B} (\cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) \quad (2.36)$$

Из уравнения (2.22), находим силовую реакцию опорной поверхности под задними движителями трактора:

$$\begin{aligned} (R_{\text{зад}})' &= \frac{(N_T)' + G_3}{2} + (Y_{\text{д}})' - T \sin \alpha \\ (R_{\text{зад}})' &= \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_H a_H C}{2BC_H} - \frac{G_3 a_3}{2B} + \frac{T \cos \varphi h_n - T h_n - TC \cos \beta \operatorname{tg} \alpha - CT \cos \beta + T \cos \beta h_n - T \sin \alpha C}{B} + \frac{G_3}{2} + \\ &\quad \frac{G_H a_H}{2C_H} - T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha - -T \cos \beta - T \sin \alpha \\ (R_{\text{зад}})' &= \frac{G_3}{2} + \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_H a_H C}{2BC_H} - \frac{G_3 a_3}{2B} + \frac{G_H a_H}{2C_H} - T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta) - \\ &\quad - \frac{TC}{B} (\cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) - T (\cos \beta \tan \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) \\ (R_{\text{зад}})' &= \frac{G_3}{2} + \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_H a_H C}{2BC_H} + \frac{G_H a_H}{2C_H} - \frac{G_3 a_3}{2B} - T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \alpha - \cos \beta) - \\ &\quad T (\cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) \left(\frac{TC}{B} + 1 \right) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Преобразовав выражение (2.27), получили горизонтальную силовую реакцию в точке К:

$$(X_k)' = T \cos \gamma \cos \beta - T \cos \beta \quad (2.38)$$

Из выражения (2.28) получили вертикальную силовую реакцию в точке К:

$$\begin{aligned} (Y_k)' &= \frac{G_{\text{д}} + (N_C)'}{2} + T \cos \gamma \sin \beta - T \sin \beta \\ (Y_k)' &= \frac{G_{\text{д}}}{2} + \frac{2T \sin \alpha + 2T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + G_H - \frac{G_H a_H}{C_H}}{2} + T \cos \gamma \sin \beta - T \sin \beta \\ (Y_k)' &= \frac{G_{\text{д}}}{2} + \frac{G_H}{2} - \frac{G_H a_H}{2C_H} + T \sin \alpha + T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + T \cos \gamma \sin \beta - T \sin \beta \end{aligned} \quad (2.39)$$

Из уравнения (2.29), находим силовую реакцию опорной поверхности под передней батареей бороны:

$$(R_1)' = (Y_k)' - R_2 + \frac{G_6}{2} - T \sin \theta$$

$$\begin{aligned}
(R_1)' &= \frac{G_6}{2} + \frac{G_d}{2} + \frac{G_H}{2} - \frac{G_H a_H}{2c_H} + T \sin \alpha + T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + T \cos \gamma \sin \beta - T \sin \beta - \\
&\frac{G_6 a_6}{2b} + \frac{f}{2b} \left(G_d + G_H - \frac{G_H a_H}{c_H} \right) + \frac{T \sin \Theta b_6}{b} + \frac{f}{b} T (\sin \alpha + \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \gamma \sin \beta - \\
&\sin \beta) + \frac{h_k}{b} T \cos \beta (1 - \cos \gamma) + \frac{G_6}{2} - T \sin \Theta + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \\
(R_1)' &= G_6 - \frac{G_6 a_6}{2b} + \frac{G_d}{2} + \frac{G_H}{2} - \frac{G_H a_H}{2c_H} + T (\sin \alpha + \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \gamma \sin \beta - \\
&\sin \beta) + \frac{f}{2b} \left(G_d + G_H - \frac{G_H a_H}{c_H} \right) + T \sin \Theta \left(\frac{b_6}{b} - 1 \right) + \frac{f}{b} T (\sin \alpha + \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \\
&\cos \gamma \sin \beta - \sin \beta) + \frac{h_k}{b} T \cos \beta (1 - \cos \gamma) + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \quad (2.40)
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.30), находим силовую реакцию опорной поверхности под задней батареей бороны:

$$\begin{aligned}
(R_2)' &= \frac{G_6 a_6}{2b} - \frac{T \sin \Theta b_6}{b} - \frac{f}{b} \left(\frac{G_6}{2} + \frac{G_H}{2} - \frac{G_H a_H}{2c_H} + T \sin \alpha + T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \right. \\
&T \cos \gamma \sin \beta - T \sin \beta \left. \right) + \frac{h_k}{b} (T \cos \gamma \cos \beta - T \cos \beta) - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \\
(R_2)' &= \frac{G_6 a_6}{2b} - \frac{f}{2b} \left(G_d + G_H - \frac{G_H a_H}{c_H} \right) - \frac{T \sin \Theta b_6}{b} - \frac{f}{b} T (\sin \alpha + \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \\
&\cos \gamma \sin \beta - \sin \beta) - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} - \frac{h_k}{b} T \cos \beta (1 - \cos \gamma) \quad (2.41)
\end{aligned}$$

Проанализировав выражения (2.36) и (2.37) можно сделать следующий вывод, что при поднятии навески происходит загрузка передних (2.42) и задних (2.43) движителей на следующие величины:

$$\Delta_{\text{пер}} = T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta) + T \frac{C}{B} (\cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) \quad (2.42)$$

$$\Delta_{\text{зад}} = T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta) + T (\cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \beta + \sin \alpha) \left(\frac{TC}{B} + 1 \right) \quad (2.43)$$

Проанализировав выражения (2.40) и (2.41) можно сделать следующие вывод, что при поднятии навески происходит уменьшение нагрузки на борону (2.44, 2.45).

$$\begin{aligned}
\Delta_1 &= -T (\sin \alpha + \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \gamma \sin \beta - \sin \beta) \left(1 + \frac{f}{b} \right) + T \sin \Theta \left(\frac{b_6}{b} - 1 \right) + \\
&\frac{h_k}{b} T \cos \beta (1 - \cos \gamma) + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \quad (2.44)
\end{aligned}$$

$$\Delta_2 = -\frac{T \sin \Theta b_6}{b} - \frac{f}{b} T (\sin \alpha + \cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \cos \gamma \sin \beta - \sin \beta) - \frac{h_k}{b} T \cos \beta (1 - \cos \gamma) - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \quad (2.45)$$

На основании проведенных исследований были получены аналитические зависимости позволяющие определить реакции опорных поверхностей машинно-тракторного агрегата (2.42–2.45). Таким образом, теоретически установлено, что при поднятом положении предлагаемого устройства происходит увеличение нагрузки на передние и задние движители трактора и уменьшение нагрузки на борону.

2.4. Распределение сил и нагрузок при работе устройства при опущенном положении навески трактора

Определение вертикальных реакций поверхности на МТА при работе корректора-распределителя сцепного веса при опущенной навески трактора.

Для определения влияния предлагаемой конструкции на перераспределение нагрузки между мостами трактора и секциями дисковой бороны составим уравнения реакций (рисунок 2.8, 2.9).

На машинно-тракторный агрегат действуют следующие силы и реакции:

$(R_{\text{пер}}^n)'' = (R_{\text{пер}}^l)'' = (R_{\text{пер}})''$ – вертикальная реакция опорной поверхности под передним движителем трактора, Н;

$(X_{\text{пер}}^n)'' = (X_{\text{пер}}^l)'' = (X_{\text{пер}})''$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под передним движителем трактора, Н;

$(N_T)'' = -(N_T')''$ – вертикальная силовая реакция шарнира в месте сочленения полурам в точке А, Н;

$(X_T)'' = -(X_T')''$ – горизонтальная силовая реакция шарнира в месте сочленения полурам в точке А, Н;

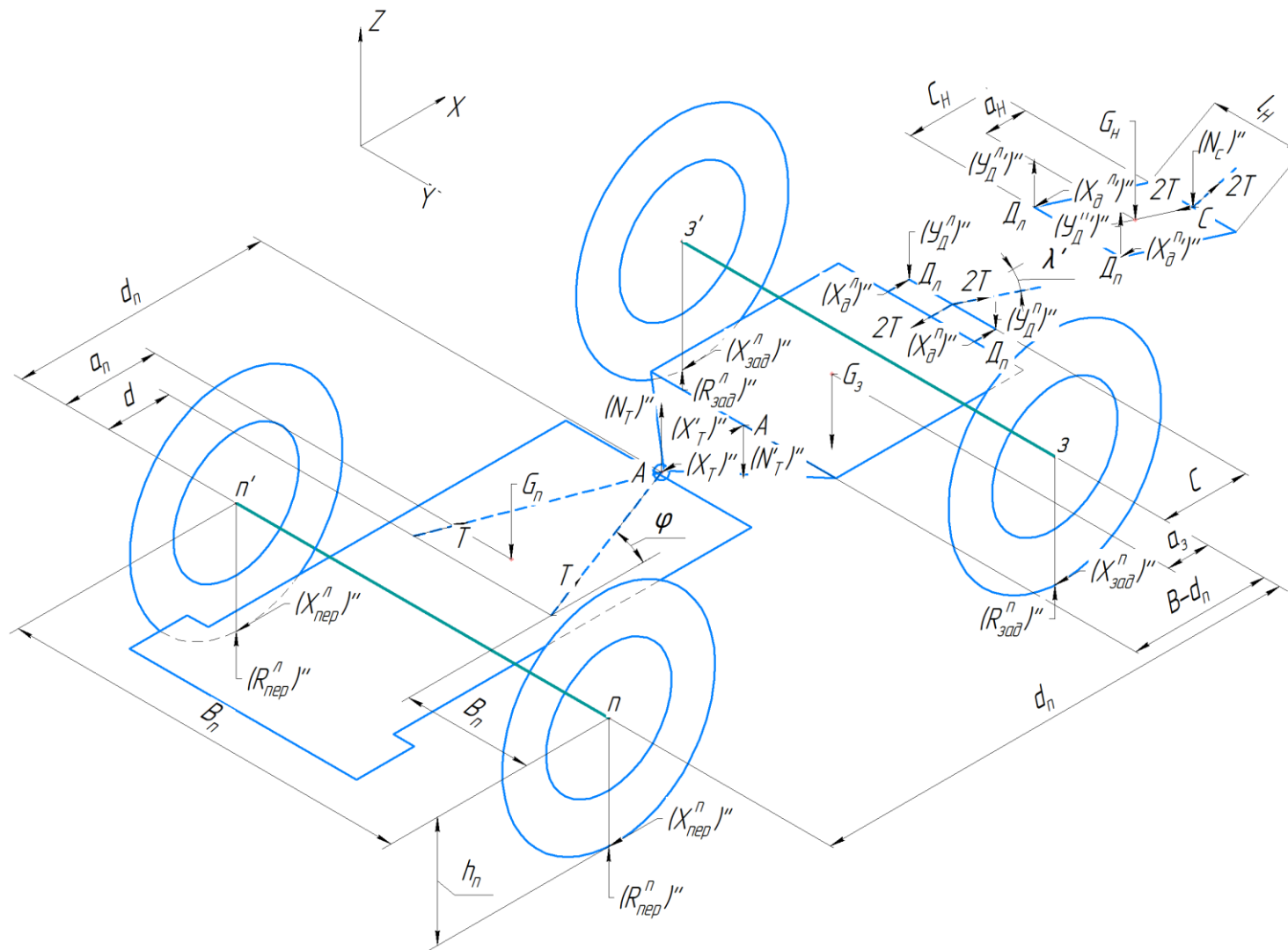


Рисунок 2.8 – Схема распределения силовых реакций, действующих на опорные поверхности трактора при работе корректора-распределителя сцепного веса (при опускании задней навески трактора)

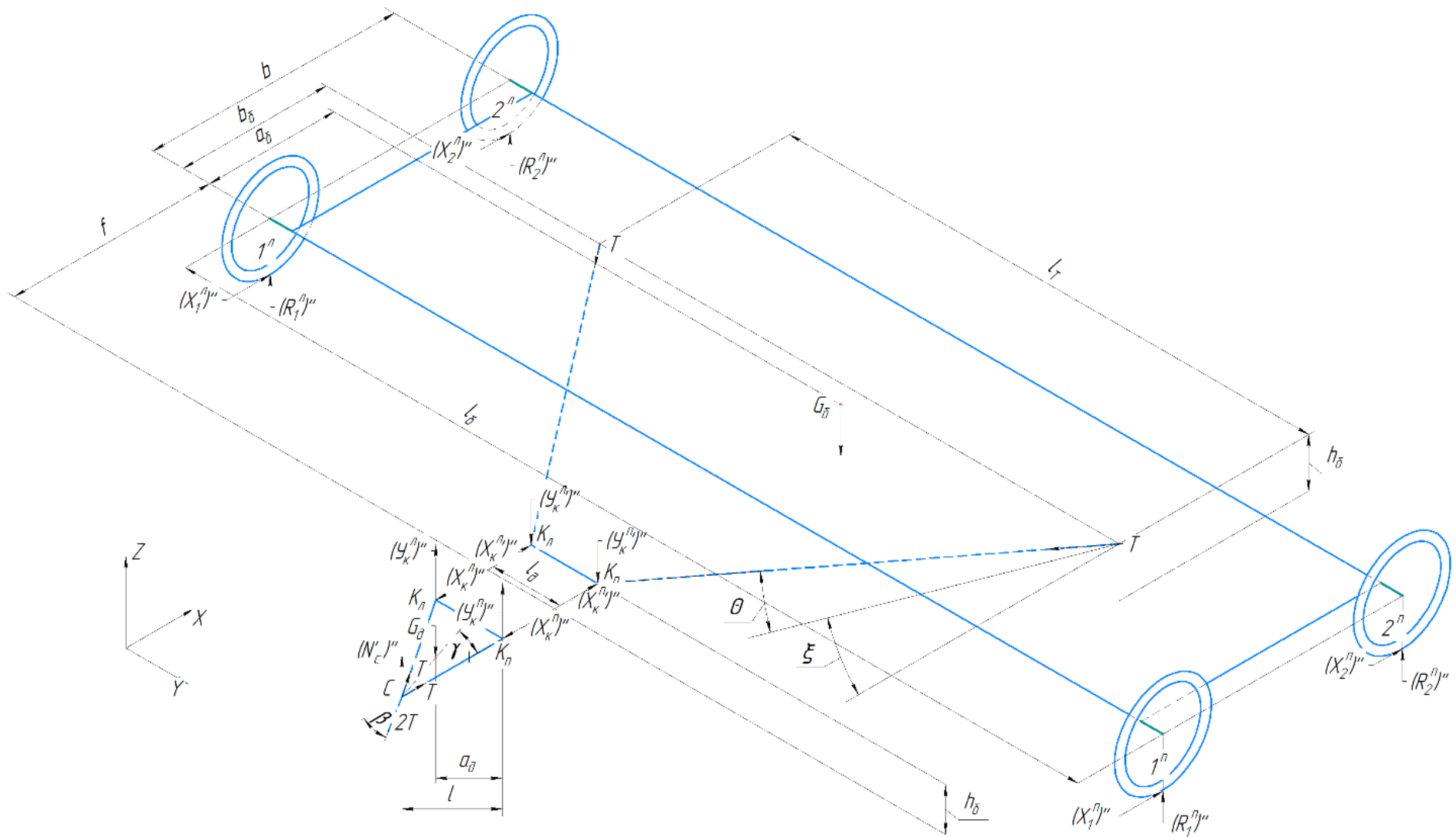


Рисунок 2.9 – Схема распределения силовых реакций, действующих на опорные поверхности бороны при работе корректора-распределителя сцепного веса (при опускании задней навески трактора)

$(R_{\text{зад}}^n)'' = (R_{\text{зад}}^{\text{л}})'' = (R_{\text{зад}})''$ – вертикальная реакция опорной поверхности под задним движителем трактора, Н;

$(X_{\text{зад}}^n)'' = (X_{\text{зад}}^{\text{л}})'' = (X_{\text{зад}})''$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под задним движителем трактора, Н;

$(y_{\text{д}}^n)'' = -(y_{\text{д}}^{\text{л}})' = (y_{\text{д}}^{\text{л}})'' = -(y_{\text{д}}^{\text{л}})' = (y_{\text{д}})''$ – вертикальная силовая реакция в точках $\text{Д}_{\text{п}}$ и $\text{Д}_{\text{л}}$, Н;

$(X_{\text{д}}^n)'' = -(X_{\text{д}}^{\text{л}})' = (X_{\text{д}}^{\text{л}})'' = -(X_{\text{д}}^{\text{л}})' = (X_{\text{д}})''$ – горизонтальная силовая реакция в точках $\text{Д}_{\text{п}}$ и $\text{Д}_{\text{л}}$, Н;

$(N_{\text{с}})'' = (N'_{\text{с}})''$ – силовая реакция в точке С соединения навески и дышла бороны, Н;

$(y_{\text{к}}^n)'' = -(y_{\text{к}}^{\text{л}})' = (y_{\text{к}}^{\text{л}})'' = -(y_{\text{к}}^{\text{л}})' = (y_{\text{к}})''$ – вертикальная силовая реакции в точках $\text{К}_{\text{п}}$ и $\text{К}_{\text{л}}$, Н;

$(X_{\text{к}}^n)'' = -(X_{\text{к}}^{\text{л}})' = (X_{\text{к}}^{\text{л}})'' = -(X_{\text{к}}^{\text{л}})' = (X_{\text{к}})''$ – горизонтальная силовая реакции в точках $\text{К}_{\text{п}}$ и $\text{К}_{\text{л}}$, Н;

$(R_1^n)'' = (R_1^{\text{л}})'' = (R_1)''$ – вертикальная реакция опорной поверхности под передней батареей бороны, Н;

$(X_1^n)'' = (X_1^{\text{л}})'' = (X_1)''$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под передней батареей бороны, Н;

$(R_2^n)'' = (R_2^{\text{л}})'' = (R_2)''$ – вертикальная реакция опорной поверхности под задней батареей бороны, Н;

$(X_2^n)'' = (X_2^{\text{л}})'' = (X_2)''$ – горизонтальная реакция опорной поверхности под задней батареей бороны, Н.

Действие сил на МТА рассматриваем в произвольной пространственной системе. Составим для каждой части составной конструкции только уравнения необходимые для определения вертикальных реакций поверхности МТА (рисунки 2.7, 2.8).

передний мост:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -2(X_{\text{пер}})'' - (X_T)'' + 2T \cos \varphi = 0 \quad (2.46)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2(R_{\text{пер}})'' + (N_T)'' - G_n = 0 \quad (2.47)$$

$$\sum M_Z(F_k) = 0 \quad -2T \cos \varphi \cdot h_n - G_n a_n + (N_T)'' d_n + (X_T)'' h_n = 0 \quad (2.48)$$

задний мост:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad (X_T)'' - 2(X_{\text{зад}})'' + 2(X_D)'' + 2T \cos \alpha' - 2T = 0 \quad (2.49)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2(R_{\text{зад}})'' - (N_T)'' - G_3 - 2(Y_D)'' + 2T \sin \alpha' = 0 \quad (2.50)$$

$$\begin{aligned} \sum M_Z(F_k) = 0 \quad & G_3 a_3 + (N_T)'' (B - d_n) - (X_T)'' h_n - 2(Y_D)'' C + 2T h_n - \\ & 2T \cos \alpha' h_n - 2(X_D)'' h_n + 2T \sin \alpha' \cdot C = 0 \end{aligned} \quad (2.51)$$

навеска:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -2(X_D)'' - 2T \cos \alpha' + 2T \cos \beta' = 0 \quad (2.52)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad 2(Y_D)'' - G_H - (N_C)'' + 2T \sin \alpha' + 2T \sin \beta' = 0 \quad (2.53)$$

$$\begin{aligned} \sum M_Z(F_k) = 0 \quad & - (N_C)'' C_H \cos \alpha' + 2T \sin \beta' \cos \alpha' C_H + 2T \cos \beta C_H \sin \alpha' - G_H (C_H - \\ & a_H) \cos \alpha' = 0 \end{aligned} \quad (2.54)$$

дышло:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -2T \cos \beta' + 2T \cos \gamma \cos \beta' - 2(X_k)'' = 0 \quad (2.55)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad (N_C)'' - G_D + 2(Y_K)'' - 2T \sin \beta' + 2T \cos \gamma \sin \beta' = 0 \quad (2.56)$$

бороны:

$$\sum F_{ky} = 0 \quad -2(Y_K)'' + 2(R_1)'' + 2(R_2)'' - G_6 + 2T \sin \Theta = 0 \quad (2.57)$$

$$\sum M_z(F_k) = 0 \quad 2(R_2)''b - G_6a_6 + 2T \sin \Theta b_6 + T \cos \Theta \cos \xi h_6 + 2(Y_K)''f - \\ -2(X_K)''h_k = 0 \quad (2.58)$$

Преобразовав выражение (2.54), находим силовую реакцию в точке С соединения навески и дышла бороны:

$$(N_C)'' = \frac{-G_H(C_H - a_H) \cos \alpha' + 2T \sin \beta' C_H \cos \alpha' + 2T C_H \cos \beta' \sin \alpha'}{C_H \cos \alpha'} \\ (N_C)'' = \frac{-G_H(C_H - a_H)}{C_H} + 2T (\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha') \quad (2.59)$$

Преобразовав выражение (2.53) получили вертикальную силовую реакцию в точках Д_п и Д_л:

$$(Y_D)'' = \frac{G_H}{2} + \frac{(N_C)''}{2} - T \sin \alpha' - T \sin \beta' \\ (Y_D)'' = \frac{G_H}{2} - \frac{G_H(C_H - a_H)}{2C_H} + T \sin \alpha' + T \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - T \sin \alpha' - T \sin \beta' \\ (Y_D)'' = 0,5G_H \frac{a_H}{C_H} + T \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - T \sin \beta' \quad (2.60)$$

Преобразовав выражения (2.52 и 2.48), нашли значение горизонтальной силовой реакции в точках Д_п и Д_л:

$$(X_D)'' = T (\cos \beta' - \cos \alpha') \quad (2.61)$$

$$(X_D)'' = \frac{2T \cos \varphi h_n + G_n a_n - (N_T)'' d_n}{h_n} \quad (2.62)$$

Подставив выражения (2.60, 2.61 и 2.62) в уравнение (2.51), находим вертикальную силовую реакцию в месте сочленения полурам:

$$G_3 a_3 + (N_T)''(B - d_n) - h_n \frac{(2T \cos \varphi h_n + G_n a_n - (N_T)'' d_n)}{h_n} - \\ 2C \left(0,5G_H \frac{a_H}{C_H} + T \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - T \sin \beta' \right) + 2Th_n - 2T \cos \alpha' h_n - 2(T (\cos \beta' - \\ \cos \alpha'))h_n - -2T \sin \alpha' C = 0$$

$$\begin{aligned}
& G_3 a_3 + (N_T)''(B - d_n) - 2T \cos \varphi h_n - G_n a_n + (N_T)'' d_n - G_H \frac{a_H C}{C_H} - \\
& - 2CT \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' + 2TC \sin \beta' + 2Th_n - 2T \cos \alpha' h_n - 2T h_n \cos \beta + + 2Th_n \cos \alpha' - \\
& 2CT \sin \alpha' = 0 \\
& (N_T)'' = \\
& = \frac{G_n a_n + G_H \frac{a_H C}{C_H} - G_3 a_3 + 2T \cos \varphi h_n + 2Tc \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - 2CT \sin \beta' + 2TC \sin \alpha' - 2Th_n + 2Th_n \cos \beta'}{B} \\
& (N_T)'' = G_n \frac{a_n}{B} - \frac{G_3 a_3}{B} + G_H \frac{a_H C}{C_H B} - \frac{2Th_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') + \frac{2CT}{B} (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \\
& \sin \beta' + \sin \alpha') \quad (2.63)
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.47), находим силовую реакцию опорной поверхности под передними движителями трактора:

$$\begin{aligned}
(R_{\text{пер}})'' &= \frac{G_n - (N_T)''}{2} \\
(R_{\text{пер}})'' &= \frac{G_n}{2} - \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_3 a_3}{2B} - \frac{G_H a_H C}{2BC_H} + T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') - T \frac{C}{B} (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \\
& \sin \beta' + \sin \alpha') \quad (2.64)
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.50), находим силовую реакцию опорной поверхности под задними движителями трактора:

$$\begin{aligned}
(R_{\text{зад}})'' &= \frac{(N_T)'' + G_3}{2} + \frac{2(Y_d)''}{2} - \frac{2T \sin \alpha'}{2} \\
(R_{\text{зад}})'' &= \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_H a_H C}{2BC_H} - \frac{G_3 a_3}{2B} - T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') + \frac{CT}{B} (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha - \sin \beta' + \\
& \sin \alpha') + \frac{G_3}{2} + 0,5 \frac{G_H a_H}{C_H} + T \cos \beta \operatorname{tg} \alpha - T \sin \beta' + T \sin \alpha' \\
(R_{\text{зад}})'' &= \frac{G_n a_n}{2B} + \frac{G_H a_H C}{2BC_H} + \frac{G_H a_H}{2C_H} - \frac{G_3 a_3}{2B} + \frac{G_3}{2} - \frac{Th_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') + \\
& \frac{CT}{B} (\cos \beta \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \sin \alpha') + T (\cos \beta \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \sin \alpha') \quad (2.65)
\end{aligned}$$

Преобразовав выражение (2.55), получили горизонтальную силовую реакцию в точке К:

$$(x_k)'' = T \cos \gamma \cos \beta' - T \cos \beta' \quad (2.66)$$

Из выражения (2.56) получили вертикальную силовую реакцию в точке К:

$$(Y_k)'' = \frac{G_d - (N_C)''}{2} (N_C)'' + T \sin \beta' - T \cos \gamma \sin \beta'$$

$$(Y_K)'' = \frac{G_D}{2} + \frac{G_H(C_H - a_H)''}{2C_H} - T(\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha') + T \sin \beta' - T \cos \gamma \sin \beta' \quad (2.67)$$

Из уравнения (2.57), находим силовую реакцию опорной поверхности под передней батареей бороны:

$$\begin{aligned} (R_1)'' &= (Y_K)'' - (R_2)'' + \frac{G_6}{2} - G_D - T \sin \Theta \\ (R_1)'' &= \frac{G_D}{2} + \frac{G_H a_H}{2C_H} - T(\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \cos \gamma \sin \beta') - \frac{G_6 a_6}{2b} + \\ &\frac{G_D f}{2b} + \frac{G_H(C_H - a_H)}{2b} - T \frac{f}{b} (\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \cos \gamma \sin \beta') - T \frac{h_K}{b} \\ &(\cos \gamma \cos \beta' - \cos \beta') + T \sin \Theta \frac{b_6}{b} + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} + \frac{G_6}{2} - T \sin \Theta \\ (R_1)'' &= \frac{G_D}{2} + \frac{G_H(C_H - a_H)}{2C_H} - \frac{G_6 a_6}{2b} + \frac{G_D f}{2b} + \frac{G_H(C_H - a_H)}{2b} + \frac{G_6}{2} - \\ &- T(\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \cos \gamma \sin \beta') \left(1 + \frac{f}{b}\right) - T \frac{h_K}{b} \\ &(\cos \gamma \cos \beta' - \cos \beta') - T \sin \Theta \left(1 - \frac{b_6}{b}\right) + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \end{aligned} \quad (2.68)$$

Из уравнения (2.58), находим силовую реакцию опорной поверхности под задней батареей бороны:

$$\begin{aligned} (R_2)'' &= \frac{G_6 a_6}{2b} - T \sin \Theta \frac{b_6}{b} - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} - \frac{f}{b} - \left(\frac{G_D}{2} + \frac{G_H(C_H - a_H)}{2C_H}\right) - T \\ &(\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha') + T \sin \beta' - T \cos \gamma \sin \beta' + \frac{h_K}{b} (T \cos \gamma \cos \beta' - T \cos \beta') \\ (R_2)'' &= \frac{G_6 a_6}{2b} - \frac{G_D f}{2b} - \frac{G_H(C_H - a_H)}{2b} + T \frac{f}{b} (\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \\ &\cos \gamma \sin \beta') + T \frac{h_K}{b} (\cos \gamma \cos \beta' - \cos \beta') - T \sin \Theta \frac{b_6}{b} - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \end{aligned} \quad (2.69)$$

Анализируя выражения (2.64) и (2.65) необходимо отметить, что предлагаемое устройство позволяет уменьшить сцепной вес приходящейся на передний (2.70) и задний (2.71) мосты трактора.

$$\Delta'_{\text{пер}} = -T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') - \frac{CT}{B} (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \sin \alpha') \quad (2.70)$$

$$\begin{aligned} \Delta'_{\text{зад}} = \\ -T \frac{h_n}{B} (1 - \cos \varphi - \cos \beta') - \frac{CT}{B} (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \sin \alpha') + T (\cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \\ \sin \beta' + \sin \alpha') \end{aligned} \quad (2.71)$$

Анализируя выражение (2.68) и (2.69) необходимо отметить, что использование данного устройства даёт возможность увеличить нагрузку, приходящуюся на борону (2.72, 2.73):

$$\begin{aligned} \Delta'_1 = T (\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \cos \gamma \sin \beta') \left(1 + \frac{f}{b}\right) - T \frac{h_K}{b} \\ (\cos \gamma \cos \beta' - \cos \beta') - T \sin \Theta \left(1 - \frac{b_6}{b}\right) + T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \end{aligned} \quad (2.72)$$

$$\begin{aligned} \Delta'_2 = T \frac{f}{b} (\sin \alpha' + \cos \beta' \operatorname{tg} \alpha' - \sin \beta' + \cos \gamma \sin \beta') + T \frac{h_K}{b} (T \cos \gamma \cos \beta' - \cos \beta') - \\ T \sin \Theta \frac{b_6}{b} - T \cos \Theta \cos \xi \frac{h_6}{b} \end{aligned} \quad (2.73)$$

На основании проведенных исследований были получены аналитические зависимости (2.70 – 2.73), позволяющие определить реакции опорных поверхностей машинно-тракторного агрегата и определено, что при опускании навески трактора, при помощи предлагаемого устройства происходит уменьшение нагрузки, приходящейся на ходовую часть трактора и увеличение нагрузки на рабочие органы бороны.

2.5. Выводы

Проведенные теоретические исследования по использованию корректора-распределителя сцепного веса в процессе обработки почвы в составе машинно-тракторных агрегатов позволяют сделать следующие выводы:

применение корректора-распределителя сцепного веса предложенной конструкции позволит перераспределить вертикальную нагрузку как между

трактором и бороной, так и между мостами колёсного энергетического средства, что дает возможность как регулировать глубину заглабления рабочих органов бороны и так и повысить тягово-сцепные характеристики трактора.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Задачи экспериментальных исследований

Для оценки практической применимости и достоверности теоретических выводов были проведены производственные испытания в условиях реальной эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Были поставлены следующие задачи:

- изготовить опытный образец предлагаемого устройства;
- экспериментально определить влияние корректора-распределителя сцепного веса на распределение нагрузки между звеньями машинно-тракторного агрегата;
- провести сравнительные хозяйственные испытания серийного и экспериментального МТА в производственных условиях;
- выявить влияние предлагаемого МТА (с установленным устройством) на физико-механические характеристики почвы.

3.2 Общая методика проведения экспериментальных исследований

Основной целью проводимых исследований является определение путей повышения эффективности использования бороновальных агрегатов, агрегатируемых колесными тракторами с шарнирно-сочлененными рамами.

Данный вопрос актуален для небольших крестьянско-фермерских хозяйств, где обновление парка технических средств происходит очень медленно или не происходит вовсе и проблема повышения эффективности имеющихся машин и агрегатов стоит особенно остро.

При оценке эффективности использования машинно-тракторного агрегата за основы были взяты типовые методики:

- ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» [43],

- ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы определения тяговых показателей» [37];
- ГОСТ 24055-2016 ГОСТ 24059-802017. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки [34];
- ГОСТ 53056 – 2008 Техника Сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [38].
- Топливо-энергетическая оценка исследования проведена с учетом Методики ВИМ [95].

3.3 Объекты и условия проведения экспериментальных исследований

В качестве объектов исследований выбраны:

- борона БДТ-7 серийная (рисунок 3.1).
- борона БДТ-7 экспериментальная (рисунок 3.2)

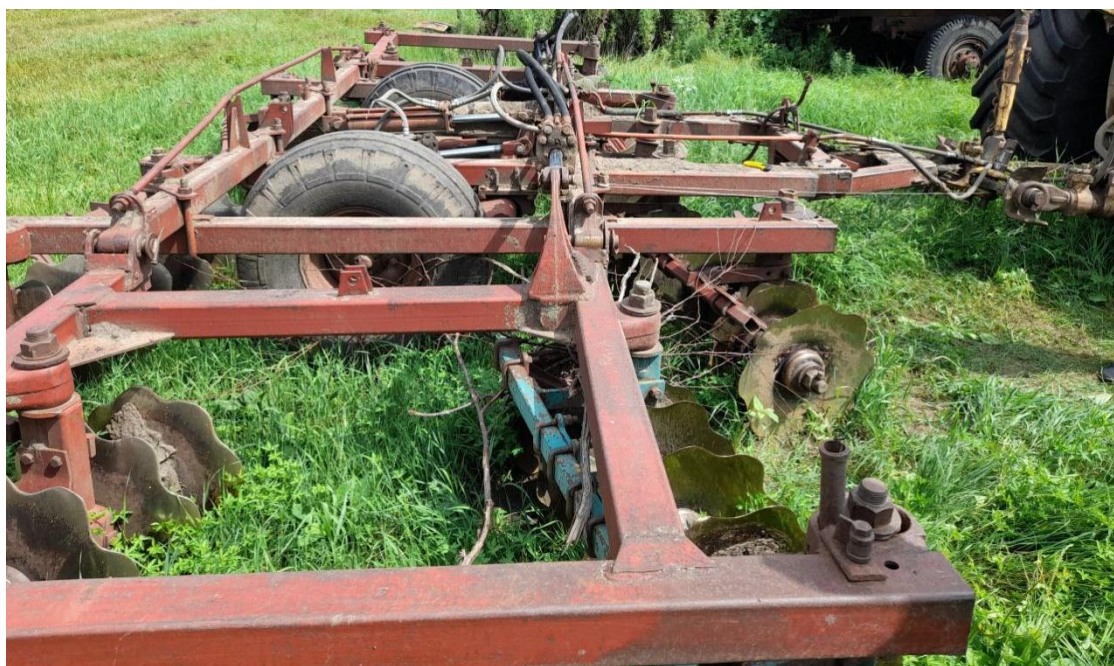


Рисунок 3.1 – Серийная борона БДТ-7



Рисунок 3.2 – Бороны БДТ – (с установленным устройством)

В процессе проведения исследований по использованию корректора-распределителя сцепного веса в реальных условиях эксплуатации на бороновании, был взят серийный машинно-тракторный агрегат, в составе трактора К-701 и тяжелой дисковой бороны БДТ-7 (рисунок 3.3). В качестве сравнения использовался МТА состоящий из трактора К-701 и бороны дисковой тяжелой БДТ-7 с установленным корректором-распределителем сцепного веса (рисунок 3.4), позволяющим изменять силовую нагрузку, приходящуюся на мосты энергетического средства и рабочие органы бороны [108].



Рисунок 3.3 – Серийный МТА



Рисунок 3.4 – Экспериментальный МТА

В процессе подготовки почвы с использованием дисковых борон, агрегируемых колёсными энергетическими средствами, возникает необходимость оптимизации распределения нагрузки между ведущими движителями и рабочими органами 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). Одним из способов решения этой проблемы установка дополнительного устройства корректора-распределителя сцепного веса, на который получен патент на изобретение RU 2782360 C1) [108].

Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата изготовлен в виде комплекта, содержащего гибкую тросовую силовую связь (рисунок 3.5), закрепленную окончаниями в установочных кронштейнах (рисунок 3.6), фиксированных на нижней центральной части боковых балок центральной рамы бороны, и систему блок-роликов (рисунок 3.7). При этом тросовая силовая связь проходит через два опорных одинарных блок-ролика, установленных в нижней части передней полурамы трактора на опорном кронштейне (рисунок 3.8), двойной блок-ролик (рисунок 3.9), закрепленный в нижней части задней полурамы трактора в месте

горизонтального смещения полурам в повороте и тягово-сцепное устройство трактора.



(а)



(б)

Рисунок 3.5 – Гибкая тросовая связь:

(а) – установленная на МТА; (б) – подготовленная к установке

Гибкая тросовая связь (рисунок 3.5) осуществляет передачу нагрузки между трактором и бороной при работе устройства.

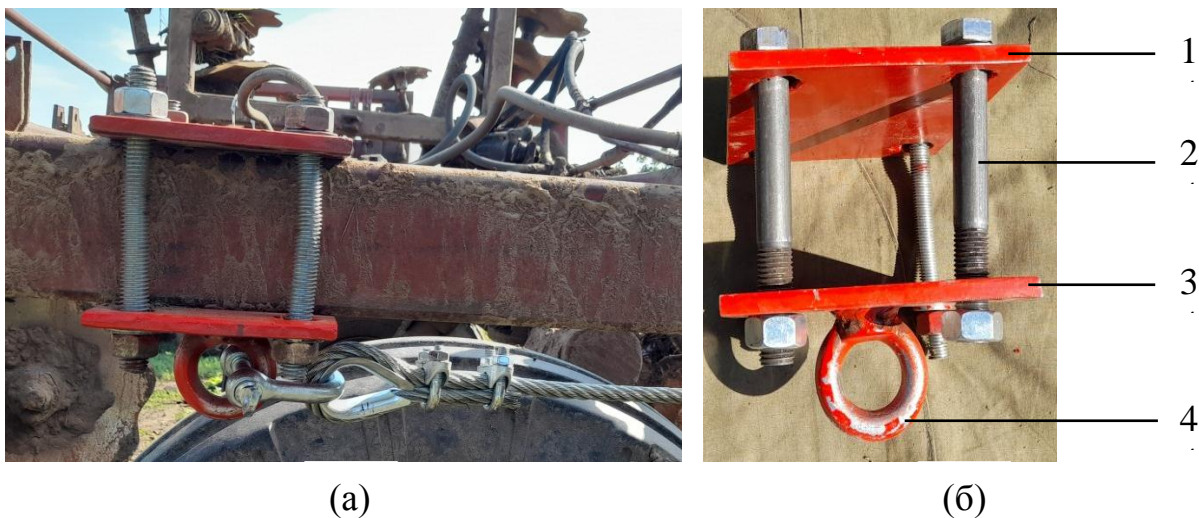


Рисунок 3.6 – Кронштейн: (а) – установленный на борону;
 (б) – подготовленный к установке: 1 – верхняя пластина; 2 – крепежная шпилька;
 3 – нижняя пластина; 4 – рым-гайка.

Кронштейн (рисунок 3.6) жестко крепит окончания гибкой тросовой связи корректора-распределителя сцепного веса на средней раме бороны.

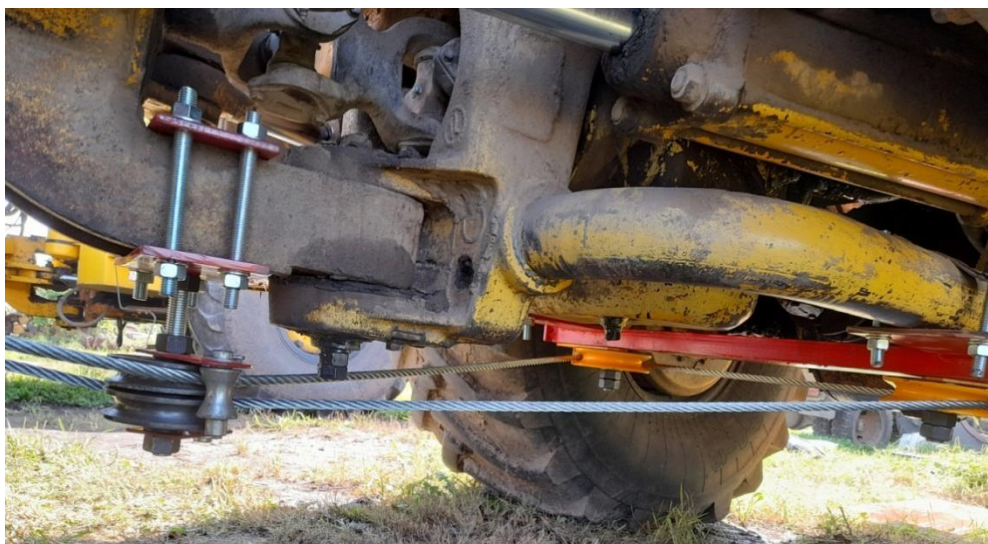
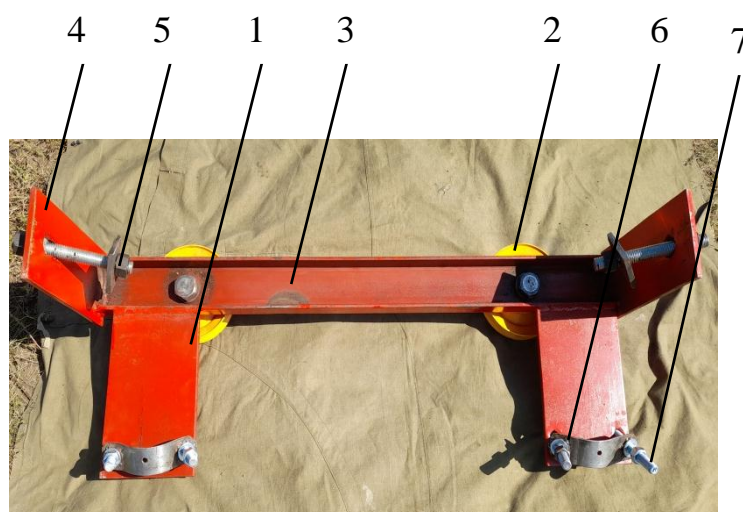


Рисунок 3.7 – Система блок-роликов



(a)



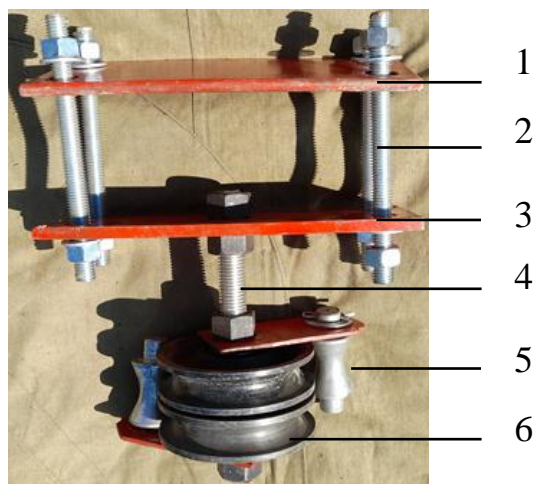
(б)

Рисунок 3.8 – Опорный кронштейн с блок-роliками: (а) – установлен на МТА;
 (б) – подготовлен к установке (вид сверху): 1– опорная пластина горизонтальная;
 2 – опорный блок-ролик; 3 – швеллер; 4 – опорная пластина вертикальная;
 5 – болт с шайбой и гайкой; 6 – хомут.

Опорный кронштейн с блок-роliками (рисунок 3.8) предназначен для крепления и направления гибкой тросовой связи устройства, устанавливается на передней полураме трактора и обеспечивает целостность троса при повороте МТА и смещении шарнирно-сочлененных рам, за счет перебегания троса по роliкам.



(a)



(б)

Рисунок 3.9 – Двойной блок-ролик на кронштейне: (а) – установлен на МТА;
 (б) – подготовлен к установке: 1 – верхняя пластина; 2 – крепежная шпилька;
 3 – нижняя пластина; 4 – ось блок-ролика; 5 – поддерживающее устройство;
 6 – двойной блок-ролик.

Двойной блок-ролик (рисунок 3.9) предназначен для направления ветвей гибкой тросовой связи, уменьшает возникновение дополнительных нагрузок, за счет независимой работы шкивов двойного блок-ролика.

Общий вид комплектующих устройств представлен на рисунке 3.10.

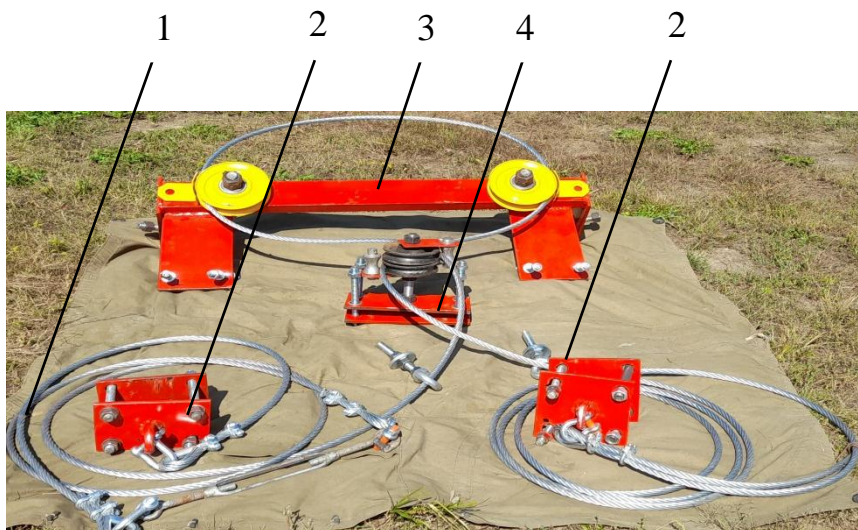


Рисунок – 3.10 Корректор-распределитель сцепного веса бороновального МТА в сборе: 1– гибкая тросовая силовая связь; 2 – установочные кронштейны; 3 – передняя балка с опорными блок-роликами; 4 – двойной блок-ролик на кронштейне.

Устройство работает следующим образом:

При движении МТА и необходимости увеличения тягово-сцепных свойств трактора в движении или уменьшения заглубления дисковых рабочих органов с целью снижения тягового сопротивления, оператор трактора приподнимает заднюю навеску трактора, при этом происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи и перераспределение сцепного веса с бороны на переднюю полураму, заднюю полураму и ходовую систему трактора, что позволяет увеличить его тягово-сцепные свойства, снизить буксование движителей, повысить агротехнические скорости движения МТА.

При необходимости дополнительного заглубления дискаторных рабочих органов, оператор трактора опускает заднюю навеску трактора, при этом

происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи, что позволяет произвести перераспределение сцепного веса с передней полурамы, задней полурамы и ходовой системы трактора на раму бороны, что даёт возможность регулировать глубину заглабления дисковых рабочих органов бороны в движении, увеличить крошимость, переворачиваемость почвенного пласта и качество почвенной обработки за счёт более высокой вертикальной нагрузки на рабочие органы бороны.

При движении бороновального агрегата по дорогам общего назначения оператор трактора приподнимает заднюю навеску трактора, при этом происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи и перераспределение сцепного веса с бороны на переднюю полураму, заднюю полураму и ходовую систему трактора, что позволяет стабилизировать ходовую систему, снизить вертикальные и горизонтальные колебания МТА в движении, и даёт возможность увеличить скоростные характеристики МТА при транспортировке бороны.

Таким образом предложенное устройство позволяет за счёт рационального использования сцепного веса, перераспределяемого в звене «трактор-борона» снизить массу, стоимость и металлоёмкость бороны при достижении более значительных технологических характеристик перспективного бороновального агрегата в сравнении с серийным агрегатом [73, 108].

Апробация теоретических и экспериментальных исследований была проведена на базе КФХ Жуковин С.А. и ООО «СОЮЗ» Ивановского района. Почвы и климатические условия на опытном участке характерны для центральной части Амурской области:

- почвы луговые черноземовидные, отличаются тяжелосуглинистым механическим составом;
- в местах проведения экспериментальных исследований пахотные земли имеют угол наклона не более двух градусов;
- количество выпадающих осадков и перепад температур соответствуют среднестатистическим.

Перед началом проведения экспериментальных исследований проведена подготовка агрегата в соответствии с ГОСТ Р 54783-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров» [44].

3.4 Программа проведения исследований

Экспериментальные исследования, проведенные в условиях реальной эксплуатации, включали следующие этапы и измерения:

- распределение нагрузки на опорные поверхности энергетического средства;
- распределение нагрузки на рабочие органы бороны;
- сравнительные хозяйственные испытания;
- воздействие ходовой системы энергетического средства на почву;
- качество подготовки почвы.

При проведении вышеперечисленных исследований фиксировались следующие параметры:

- нагрузка на передние колёса энергетического средства (рисунок 3.11);
- нагрузка на задние колёса энергетического средства (рисунок 3.12);
- нагрузка на опорные колеса бороны (рисунок 3.13);
- передаваемое усилие при работе устройства (рисунок 3.14);
- тяговое усилие на крюке (рисунок 3.15);
- расход топлива (рисунок 3.16);
- угол наклона тяг навески (рисунок 3.17);
- пройденный путь;
- влажность почвы (рисунок 3.18);
- твёрдость почвы (рисунок 3.19);
- глубину колеи (рисунок 3.20);
- глубину обработки почвы (рисунок 3.21);
- качество обработки почвы (рисунок 3.22).



Рисунок 3.11 – Определение нагрузки на передние колёса энергетического средства



Рисунок 3.12 – Определение нагрузки на задние колёса энергетического средства



Рисунок 3.13 – Определение нагрузки на опорные колеса бороны



Рисунок 3.14 – Определение усилия передаваемого на МТА при работе устройства



Рисунок 3.15 – Измерение тягового усилия на крюке МЭС



Рисунок 3.16 – Определение расхода топлива



Рисунок 3.17 – Определение угла наклона тяг навески



Рисунок 3.18 – Определение влажности почвы



Рисунок 3.19 – Определение твёрдости почвы



Рисунок 3.20 – Определение глубины колеи



Рисунок 3.21 – Определение глубины обработки почвы



Рисунок 3.22 – Определение качества обработки почвы

3.5 Приборы и методика измерения параметров

3.5.1 Приборы и методика измерения нагрузки энергетического средства и рабочих органов бороны на опорные поверхности

Для измерения нагрузки, действующей на опорные поверхности энергетического средства и рабочие органы бороны (рисунки 3.11 – 3.13), применялась методика взвешивания с использованием платформенных электронных весов МВСК(В) (рисунок 3.23).



Рисунок 3.23 – Фрагмент измерения веса бороны

Таблица 3.1 – Основные характеристики весов платформенных электронных МВСК(В)

Наибольший предел взвешивания (НПВ), т	3	5	10	15	20	30
Наименьший предел взвешивания (НмПВ=20е), т		0,04	0,1	0,1	0,2	0,2
Класс точности по ГОСТ 29329	Средний III					
Дискретность отсчета (d) и цена поверочного деления (е), d=е, кг		2	5	5	10	10
Пределы допускаемой погрешности при периодической поверке весов, кг:						
От НмПВ до 500 е включ.		±2	±5	±5	±10	±10
От 500 до 2000 е включ.		±4	±10	±10	±20	±20
Св. 2000 е		±6		±15		±30
Время установления показателей весов не более, с	5					
Потребляемая мощность не более, ВА	50					
Питание весов от сети переменного тока напряжением, В	220 (+ 22; - 33)					
Частотой, Гц	50 (±1)					
Габаритные размеры ГПУ весов, мм	550x750					
Вероятность безотказной работы за 2000 часов	0,95					
Средний срок службы, лет	не менее 12					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весов, °С	от - 30 до +50					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весового терминала, °С	от + 5 до + 40					
Относительная влажность окружающего воздуха при температуре 35 °С, %	до 80					
Чувствительность весов, е	1,4					

При проведении исследований выбирался горизонтальный участок с использованием инклинометра (рисунок 3.24), чтобы исключить влияния угла наклона поверхности на результаты измерений. Результаты полученных значений фиксировались регистрирующим прибором.



Рисунок 3.24 – Фрагмент выбора места проведения определения нагрузки на опорные поверхности

3.5.2 Приборы и методика измерения усилия, передаваемого на МТА

Для измерения усилия, создаваемого в гибкой тросовой связи корректора-распределителя сцепного веса, использовались крановые весы ВК-5000 (грузоподъемность 5т). Весы были включены в состав корректора-распределителя сцепного веса (рисунок 3.25).



Рисунок 3.25 – Измерение усилия в гибкой тросовой связи корректора-распределителя сцепного веса

Тяговое усилия развиваемое трактором на крюке, измерялось при помощи крановых весов ВК-5000 (грузоподъемность 5т). В этом случае весы были установлены между крюком трактора и дышлом бороны (рисунок 3.26).



Рисунок 3.26 – Измерение тягового усилия на крюке МЭС

Таблица 3.2 – Технические характеристики крановых весов ВК-5000

Грузоподъемность	5 т
Весы имеют степень защиты	IP-56
пульт дистанционного управления	да
дисплей на пульте	да
Органы управления весами расположены на пульте дистанционного управления	да
Дистанционное управление	до 100 м
Питание весов	встроенный Li-ion АКБ, 3.7V 3Ah
Диапазон рабочих температур	от -10С до +40С
С увеличенной погрешностью	от -30С до +40С
Класс точности весов	средний
Весы внесены в госреестр РФ	

3.5.3 Приборы и методика определения расхода топлива

При определении расхода топлива использовался счетчик учета топлива ZJ-LCD-M (Далее – счетчик). Счетчик был включен в топливную систему трактора перед топливным фильтром и в бортовую сеть (рисунок 3.27).



Рисунок 3.27 – Фрагмент измерения расхода топлива

Таблица 3.3 - Технические характеристики счетчик учета топлива ZJ-LCD-M

Рабочее напряжение	24 В постоянного тока +/-8В/1А
Напряжение магнитного клапана	12 В постоянного тока / 0,3 А-0,5 А
Диапазон измерения	0,1-9999
Напряжение датчика потока	5 В постоянного тока
Требуется	1-9999 л/мин
Допустимая погрешность измерения	+/- 1-3 см.

3.5.4 Приборы и методика определения угла наклона навески трактора

Для измерения продольно–поперечного угла наклона использовался инклинометр Absolute Digital Protractor (рисунок 3.28)



Рисунок 3.28 – Инклинометр Absolute Digital Protractor

Таблица 3.4 – Основные характеристики инклинометра Absolute Digital Protractor

Точность	+/- 0,1-0,2°
Разрешение	0,05°
Рабочий диапазон	4x90°, мм/м
Питание	щелочная батарея
Диапазон температур	0°С - 40°С
Рабочая влажность	не более 85%
Степень защиты	IP65

Краткая характеристика инклинометра Absolute Digital Protractor приведена в таблице 3.4. Измерения проводились путем приложения инклинометра к тяге навески трактора, в верхнем, нижнем и промежуточных положениях. Магнитное основание обеспечивает надежное удержание инклинометра на металлических поверхностях. Функция нуля позволяет проводить относительные вычисления с низкой погрешностью.

3.5.5 Приборы и методика определения влажности почвы

Влажность почвы измерялась при помощи высокоточного анализатора влажности почвы PMS710 (рисунок 3.29). Влажность измерялась на 6 разных участках поля, путем погружения щупа прибора в почву на разную глубину (7, 10, 15 и 25 см).



Рисунок 3.29 - Фрагмент измерения влажности почвы

Методика определения физико-механических свойств почвы подробно описана в работах [47, 36]. При определении влажности почвы учитывались требования ГОСТ 26953-86 [36].

Таблица 3.5 – Технические характеристики анализатора влажности почвы PMS710

Диапазон измерения	0 – 50%
Условия эксплуатации:	
Температура	0 – 60 °C
Влажность	5 – 90 %
Точность	+/- 2%
Источник питания	4 x 1,5 AAA
Щуп	280 мм

3.5.6 Приборы и методика определения твёрдости почвы

Твёрдость обрабатываемой почвы определялась при помощи лабораторного цифрового твердомера TYD-2, было произведено по 5 замеров в 10 разных местах экспериментального поля (рисунок 3.30), по ходу проведения опыта.



Рисунок 3.30 – Фрагмент измерения твердости почвы

Таблица 3.6 – Технические характеристики лабораторного цифрового твердомера

Максимальная нагрузка	100 кг
Точность	±1%
Резолюции	0.01 кг
Глубина измерения	0–450 мм
Температурный дрейф	0,2–0 мкВ/°С
Дрейф null	≤0.1%/8 часов/FS
Диапазон калибровки	Калибровка полной шкалы
Температура окружающей среды	0–60 °С.
Влажность окружающей среды	≤80%
Дожидитесь перегрузки	150% полный диапазон
Режим питания	Никель-цианидный аккумулятор / зарядка от сети переменного тока 220 в от 4 до 6 часов
Время непрерывной работы аккумулятора	4–8 часов
Размер	230×65×700 мм

При определении твердости почвы учитывались требования ГОСТ 26953–86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву [36].

3.5.7 Приборы и методика определения глубины колеи трактора

Для определения влияния корректора-распределителя сцепного веса на машинно-тракторный агрегат, в ходе испытаний измерялась глубина колеи энергетического средства.

Глубина колеи измерялась в разных условиях:

- при опущенной навеске трактора и максимальной передаче сцепного веса с передней рамы на борону посредством корректора-распределителя сцепного веса;
- при поднятой навеске и перераспределении сцепного веса с бороны на переднюю раму трактора.

Измерения проводились при помощи приспособления для измерения глубины колеи энергетического средства. При определении глубины колеи учитывались требования ГОСТ 26953–86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву [36].



Рисунок 3.31 – Фрагмент измерения глубины колеи энергетического средства

3.5.8 Приборы и методика определения качества подготовки почвы

Определение качества боронования осуществлялась по трем основным показателям [31, 41].

- глубина обработки почвы;
- выравненность поверхности поля;
- комковатость почвы.

Кроме того при определении оценки качества боронования обращалось внимание на пропуски и огрехи, наволоки от прохода борон, обработку поворотных полос.

Глубина обработки почвы определялась при помощи приспособления для измерения глубины обработки почвы, металлическая линейка которого погружалась в почву до необработанного слоя. Измерения были произведены на участке экспериментального поля в 10 разных местах (рисунок 3.32), а затем определялось среднее значение.



Рисунок 3.32 – Фрагмент измерения глубины обработки почвы

Выравненность поверхности поля после прохода бороны определялась путем определения высоты гребней и глубины борозды: не более 3 см – 3 балла, не более 4 см – 2 балла, более 4 см – 1 балл.



Рисунок 3.33 – Фрагмент определения комковатости почвы после прохода экспериментального МТА

Комковатость определялась путем подсчета глыб диаметром 4 см (шт./м²) с помощью метровой рамки в 20 разных местах участка экспериментального поля (рисунок 3.33).

3.5.9 Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний

Основным показателем эффективности применения образца техники является повышение его производительности. Для определения эффективности использования машинно-тракторного агрегата с корректором-распределителем сцепного веса были проведены сравнительные хозяйственные испытания в естественных условиях эксплуатации Амурской области.

Испытания проводились путем хронометражных наблюдений, при этом учитывались основные эксплуатационно-технологические показатели:

- производительность за 1 час эксплуатационного или сменного времени;
- качество выполнения рабочей операции;
- удельный расход топлива;
- количество обслуживающего персонала.

Производительность за 1 час эксплуатационного и сменного времени определяют по формулам [34]:

$$W_{\text{ЭК}} = W_0 \cdot K_{\text{ЭК}}, \quad (3.1)$$

$$W_{\text{СМ}} = W_0 \cdot K_{\text{СМ}}, \quad (3.2)$$

где $W_{\text{ЭК}}$, $W_{\text{СМ}}$, W_0 – производительность за 1 ч. времени соответственно эксплуатационного, сменного, основного в гектарах; $K_{\text{ЭК}}$, $K_{\text{СМ}}$ – коэффициенты использования эксплуатационного и сменного времени.

Производительность за 1 час основного времени определяют по формуле [34]

$$W_0 = \frac{F_m}{T_0}, \quad (3.3)$$

где F_m – наработка агрегата в гектарах.

Производительность за 1 ч технологического времени W_{tex} определяют по формуле [34]:

$$W_{tex} = W_o \cdot K_{tex}, \quad (3.4)$$

где K_{tex} – коэффициент использования технологического времени.

Фрагменты проведения хронометражных наблюдений приведены на рисунке 3.34.



Рисунок 3.34 – Фрагмент проведения сравнительных хозяйственных испытаний

3.6 Математическая обработка экспериментальных данных

При обработке экспериментальных данных нашло широкое применение использование методов математической статистики [19, 20, 24, 25]. На основании полученных результатов проведённых экспериментальных исследований определяются следующие показатели:

– средняя арифметическая величина (являющаяся наиболее вероятным значением измеряемой величины):

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (3.5)$$

где: a_i – результат i -того измерения (опыта); n – число измерений (опытов).

– дисперсия:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n - 1} . \quad (3.6)$$

– среднее квадратическое отклонение (показывает не только меру точности, как случайную ошибку измерений, но и меру изменчивости переменной):

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n - 1}} . \quad (3.7)$$

– коэффициент вариации (характеризует изменчивость неоднородных величин):

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{a}} . \quad (3.8)$$

В процессе проведения экспериментальных исследований при определении отдельных показателей (параметров) на величину ошибки могут оказывать влияние различные факторы. Достоверность полученных результатов во многом зависит от величины ошибки. При проведении технических измерений наибольшая ошибка средней арифметической равна:

$$\Delta_n(\bar{a}) = \pm 3\sigma . \quad (3.9)$$

В общем случае ошибка средней находится по выражению:

$$S_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} . \quad (3.10)$$

Относительная ошибка выборочной средней:

$$S_{\bar{a}} \% = \frac{S_{\bar{a}}}{\bar{a}} 100\% . \quad (3.11)$$

Величину, полученную по выражению (3.9) принято называть точностью опыта и рекомендуют:

- при превышении 5 % совершенствовать методику;
- при превышении 7 – 8 % опыты – браковать.

Статистическая проверка полученных в результате исследований сводится к проверке гипотезы об отсутствии реального различия между фактическими и теоретически ожидаемыми наблюдениями. Данную гипотезу называют нулевой гипотезой. Нулевая гипотеза не отвергается, если различия между фактическими и теоретическими показателями близки к нулю или находятся в области допустимых.

Оценка может быть представлена доверительным интервалом, который с определенной вероятностью покрывает оцениваемый параметр. Центр такого интервала – выборочная оценка точки, а пределы, или доверительные границы интервала, определяются средней ошибкой оценки и уровнем вероятности. В общем виде доверительный интервал для генеральной средней записывается [49; 109, 110]:

$$\bar{a} \pm ts_{\bar{a}}, \quad (3.12)$$

где: t – значение критерия, выбирается по таблице для различных уровней значимости и числа степеней свободы.

Вывод эмпирических формул производится с применением метода наименьших квадратов [25].

3.7 Планирование многофакторного эксперимента

Методы активного планирования многофакторного эксперимента [3, 94] позволяют выбрать наиболее существенные факторы, влияющие на объект исследования. Планирование эксперимента связано с изучением зависимости критерия оптимизации от величины управляющих параметров. Поэтому после постановки задачи общий вид модели объекта исследований можно записать в виде функции

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (3.13)$$

где Y – критерий оптимизации; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – факторы, которые решено варьировать при проведении эксперимента.

Функция цели выражается в виде полиномиального уравнения

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (3.14)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты регрессии;

n – количество факторов;

i – порядковый номер фактора.

Разработаны специальные методики, позволяющие найти численные значения коэффициентов регрессии и оценить ошибку эксперимента [3, 94].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ

4.1 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на величину силовой нагрузки в тросовой связи

В результате проведенного теоретического исследования во второй главе, установлено, что при установки на трактор с шарнирно-сочленённой рамой корректора-распределителя сцепного веса можно регулировать сцепной вес между составными частями машинно-тракторного агрегата. Для подтверждения теоретических предпосылок по влиянию предлагаемого устройства «корректор-распределитель сцепного веса» на перераспределение нагрузки в системе машинно-тракторного агрегата необходимо проведение экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации. С этой целью были проведены исследования работы машинно-тракторного агрегата состоящего из трактора К-701 + борона БДТ-7 + устройство «Корректор-распределитель сцепного веса». В качестве сравнения был взят серийный машинно-тракторный агрегат в составе трактора К-701 и бороны дисковой тяжелой БДТ-7.

Для обеспечения достоверности и сопоставимости результатов, экспериментальные исследования проводились с использованием одного и того же трактора К-701 и одной и той же бороны БДТ-7. Производственная проверка осуществлялась на территории КФХ Жуковин А.С., расположенного в Ивановском районе Амурской области, почвенно-климатические условия которого типичны для данного региона. Рельеф характеризуется уклонами до 2°.

Как отмечалось ранее, перераспределение нагрузки осуществляется за счёт гибкой тросовой связи 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 рисунках 4.1 и 4.2.

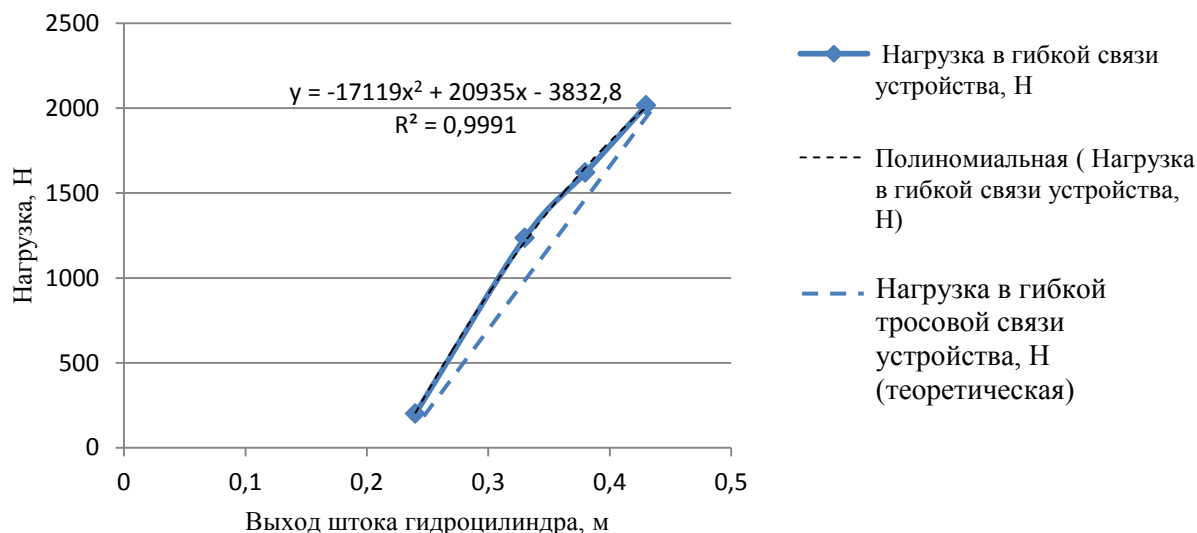


Рисунок 4.1 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи устройства от выхода штока гидроцилиндра навески (при передаче нагрузки с трактора на борону)

Анализируя полученную зависимость (рисунок 4.1) 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.

С целью определения влияние угла наклона навески трактора на распределения нагрузки были проведены исследования, представленные на рисунке 4.2.

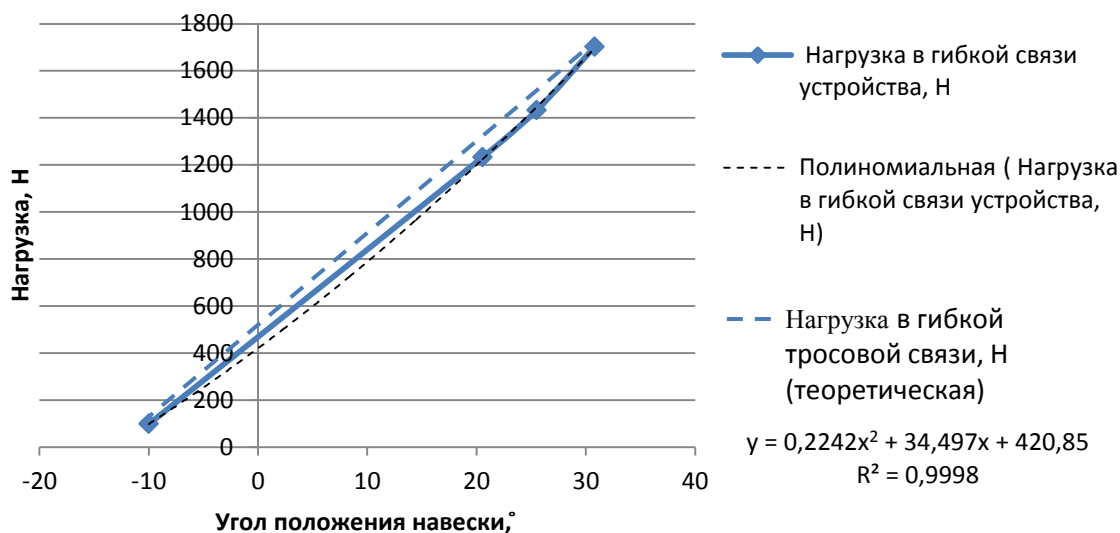


Рисунок 4.2 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи от угла положения навески (при передаче нагрузки с трактора на борону)

Как показали проведённые исследования (рисунок 4.2) при увеличении угла подъёма навески трактора нагрузка в гибкой тросовой связи также возрастает с 98 Н при угле наклона навески – 10 градусов до 1726 Н – при угле наклона 31 градус. Таким образом, необходимо отметить, что увеличение угла наклона навески также способствует регулированию нагрузки на рабочие органы дисковой бороны.

Аналогичные исследования были проведены по определению зависимости нагрузки в гибкой связи устройства при уменьшении длины штока гидроцилиндра и угла наклона навески (рисунок 4.3 и 4.4)

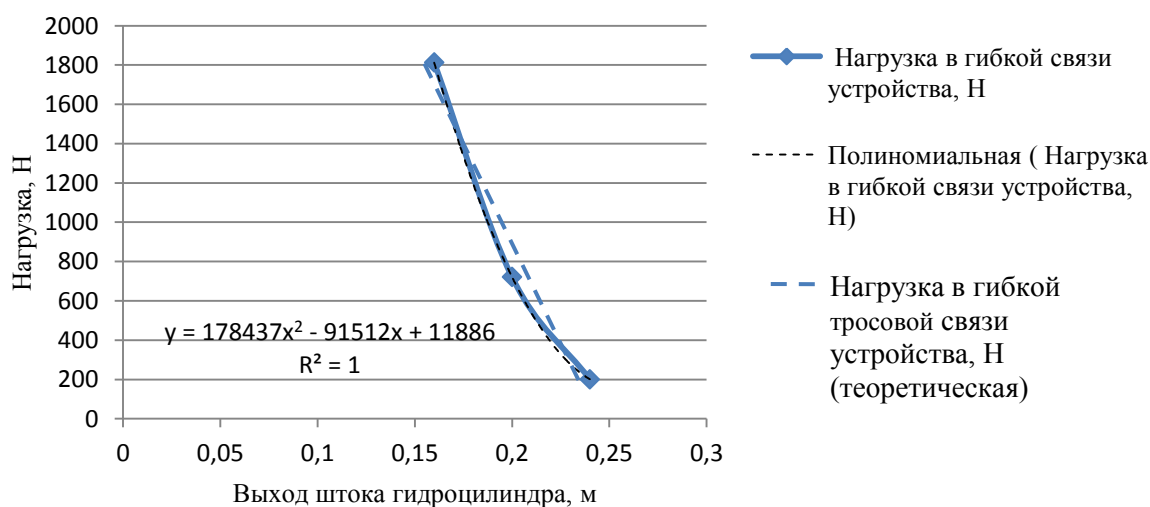


Рисунок 4.3 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи от выхода штока гидроцилиндра навески (при передаче нагрузки с бороны на трактор)

В результате проведенных исследований (рисунок 4.3) 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-сцепных свойств необходима кратковременная дополнительная нагрузка на движители.

Аналогичные исследования были проведены по определению влияния уменьшения угла наклона навески на величину нагрузки в гибкой тросовой связи корректора-распределителя сцепного веса (рисунок 4.4).

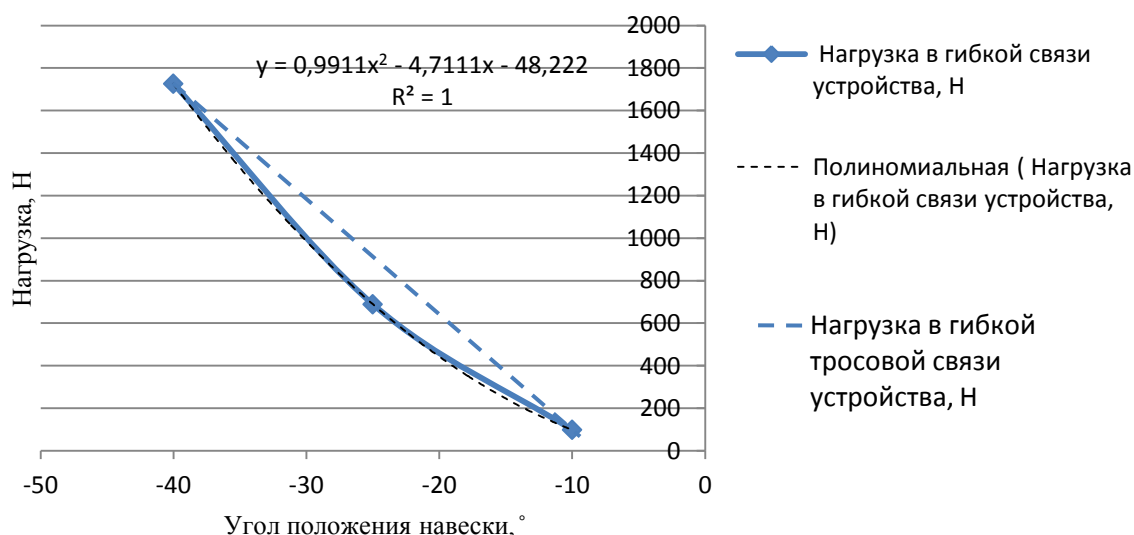


Рисунок 4.4 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи от угла положения навески (при передаче нагрузки с бороны на трактор)

На основании проведенных исследований были получены результаты (рисунок 4.4). Так если при угле наклона навески трактора -10 градусов нагрузка в гибкой тросовой связи устройства составляла 98 Н, то при уменьшении угла наклона до -40 градусов она составила 1726 Н.

Более наглядно изменение нагрузки в гибкой тросовой связи от длины выхода штока гидроцилиндра и угла наклона навески представлено на рисунках 4.5 и 4.6.

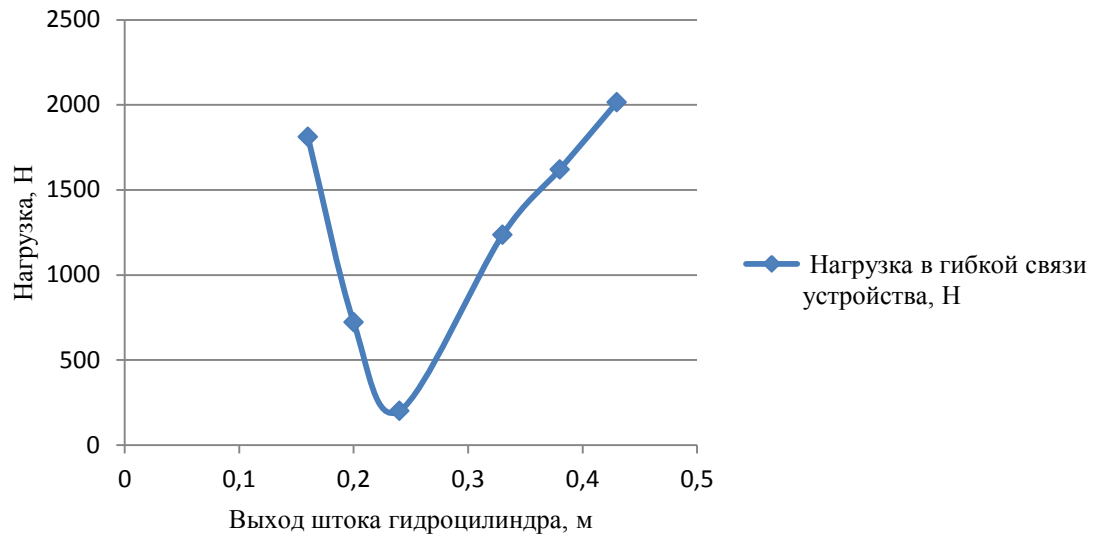


Рисунок 4.5 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи от выхода штока гидроцилиндра навески

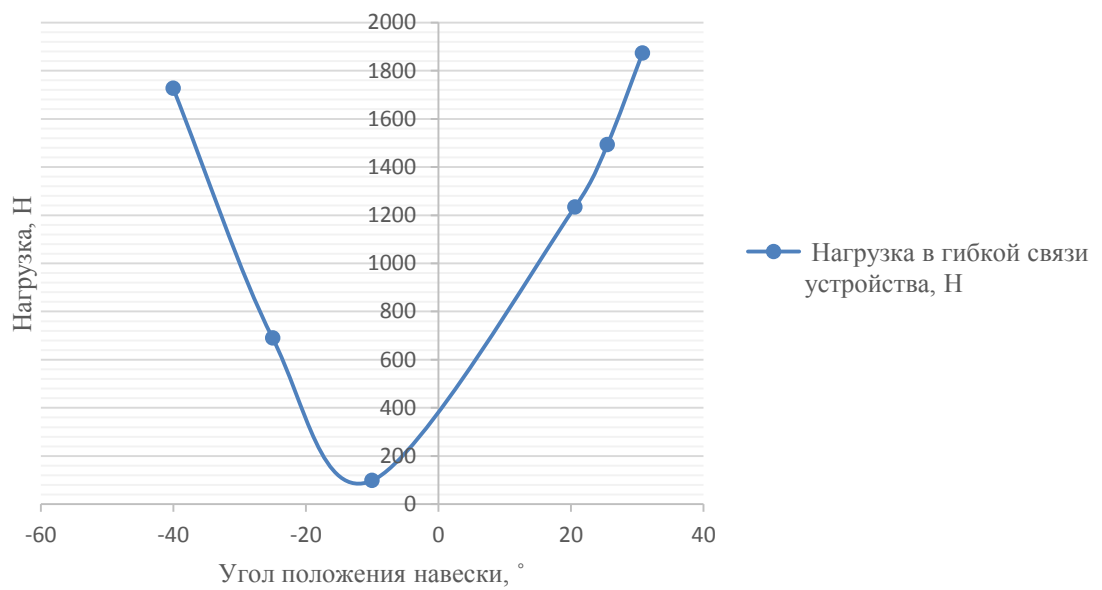


Рисунок 4.6 – Зависимость нагрузки в гибкой тросовой связи от угла положения навески

4.2 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на перераспределение силовой нагрузки между мостами энергетического средства

Характерной особенностью энергетических средств с шарнирно-сочлененной рамой является то, что основная нагрузка приходится на передний мост. Это накладывает свои особенности на изменение физико-механических характеристик почвы. В условиях Амурской области ранневесенние полевые работы проводятся, когда верхний слой почвы имеет влажность допустимую для проведения работ, но при этом в более низких горизонтах из-за наличия мерзлотного основания несущая способность почвы низкая. В связи с этим при проведении весенних полевых работ необходимо изыскивать пути снижения нормальных давлений на почву с целью снижения техногенного воздействия на неё (снижение плотности, твёрдости, глубины колеи, структурного состава и т.д.). В связи с этим одним из путей снижения отрицательного воздействия на физико-механические свойства почвы является перераспределения нагрузки, приходящейся на ведущие мосты трактора. Влияние угла наклона навески на нагрузку приходящуюся на передний мост представлено на рисунке 4.7.

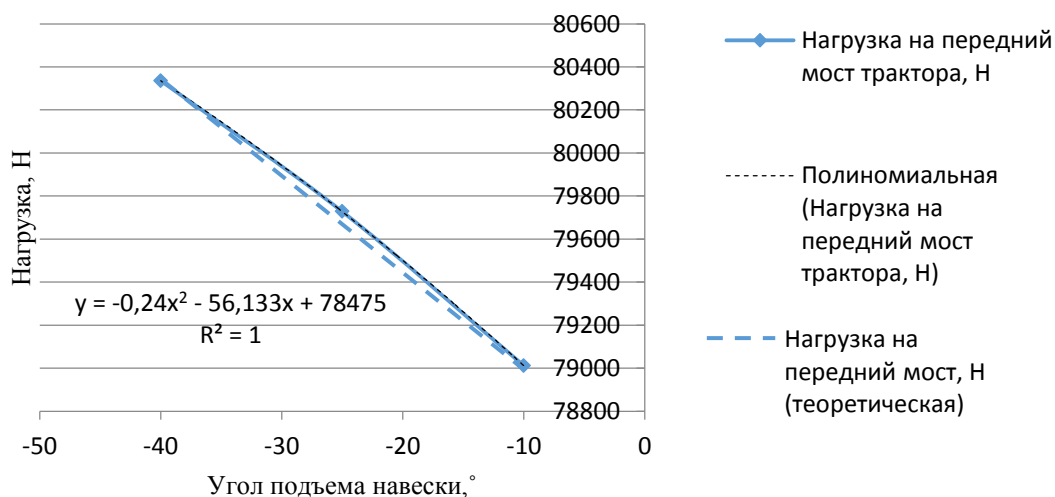


Рисунок 4.7 – Зависимость нагрузки приходящейся на передний мост трактора от угла подъема навески (передача сцепного веса с бороны на трактор).

Анализируя данные приведённые на рисунке 4.7 необходимо отметить, что при угле наклона -10 градусов – устройство не работает (нейтральное положение) то есть нагрузка в гибкой тросовой связи отсутствует. По мере уменьшения угла наклона навески в работу вступает устройство и при изменении угла наклона навески от -10 до -40 градусов, нагрузка с бороны передается на трактор при этом нагрузка на передний мост увеличивается с 79012 Н при угле наклона навески -10 градусов до 80336 Н при угле наклона навески -40 градусов.

Влияние длины выхода штока на перераспределение нагрузки показано на рисунке 4.8

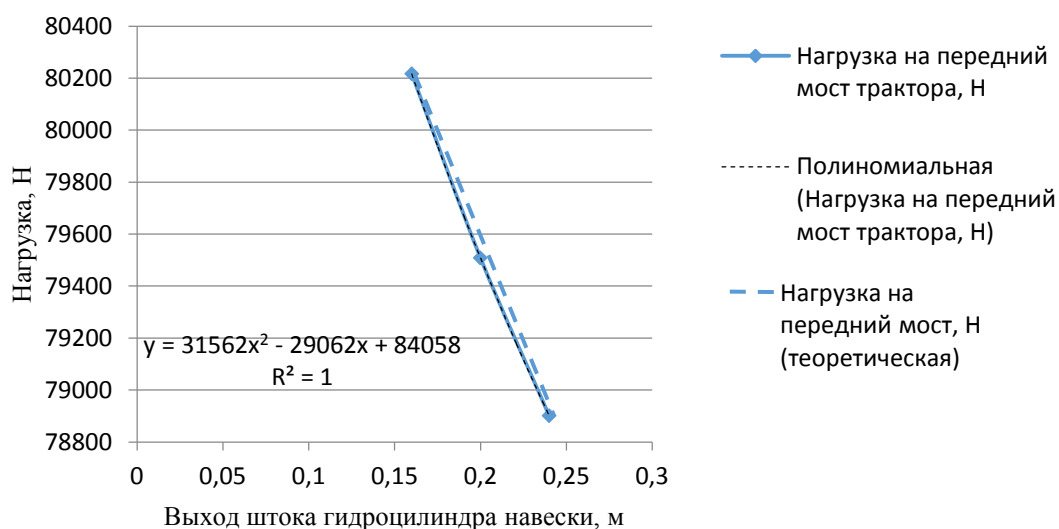


Рисунок 4.8 – Зависимость нагрузки на передний мост трактора от выхода штока гидроцилиндра навески (при передаче нагрузки с бороны на трактор)

На основании проведенных исследований (рисунок 4.8) установлено, что при изменении длины штока гидроцилиндра меняется и нагрузка на передний мост трактора. Так при длине штока 0,24 м нагрузка на передний мост трактора составила 78901 Н. По мере уменьшения длины выхода штока гидроцилиндра (втягивание) до 0,16 м нагрузка на передний мост трактора возросла до 80216 Н за счёт передачи частичной нагрузки с бороны.

Зависимость нагрузки приходящейся на задний мост трактора от длины штока гидроцилиндра и угла наклона навески приведена на рисунках 4.9 и 4.10.

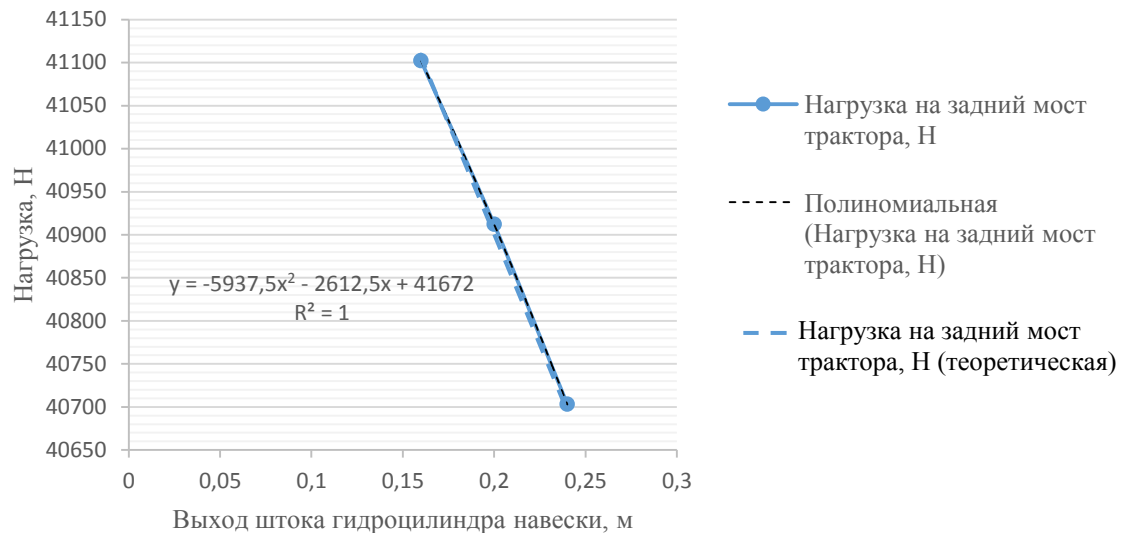


Рисунок 4.9 – Зависимость нагрузки на задний мост трактора от выхода штока гидроцилиндра (при передаче нагрузки с бороны на трактор)

Анализируя полученные данные приведенные на рисунке 4.9 необходимо отметить, что при изменении длины штока гидроцилиндра нагрузка на задний ведущий мост также увеличивается с 40703 Н при длине штока 0,24 м до 41102 Н при уменьшении длины штока до 0,16 м.

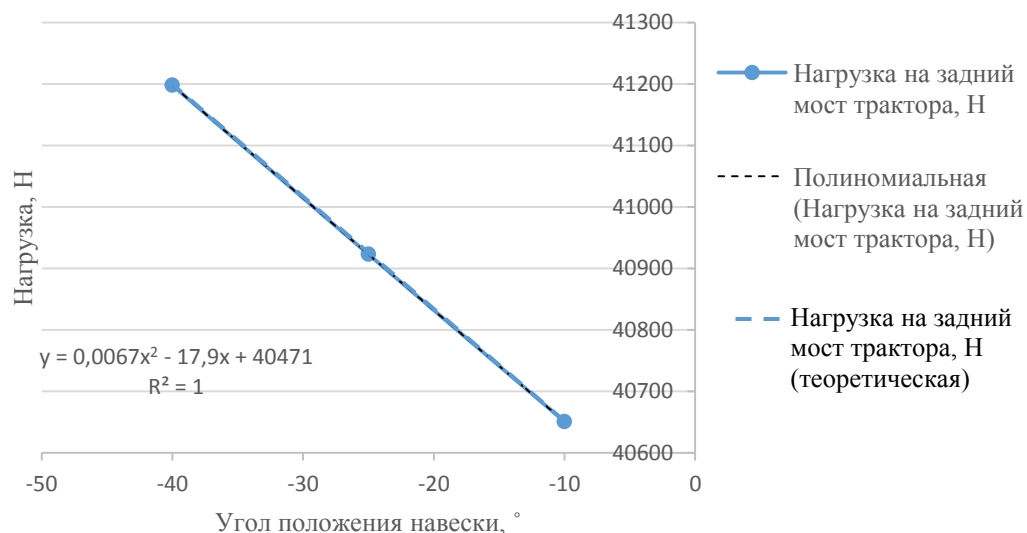


Рисунок 4.10 – Зависимость нагрузки на задний мост трактора от угла положения навески (при передаче нагрузки с бороны на трактор)

Так при изменении угла наклона навески (рисунок 4.10) от -10 до -40 градусов нагрузка на заднюю ось трактора увеличивается от 40651 Н до 41198 Н (происходит передача сцепного веса с бороны на трактор).

При работе устройства в режиме передачи части нагрузки с бороны на трактор возрастание нагрузки на передний и задний мост трактора связано с изменением нагрузки в гибкой тросовой части (рисунок 4.11 и 4.12).

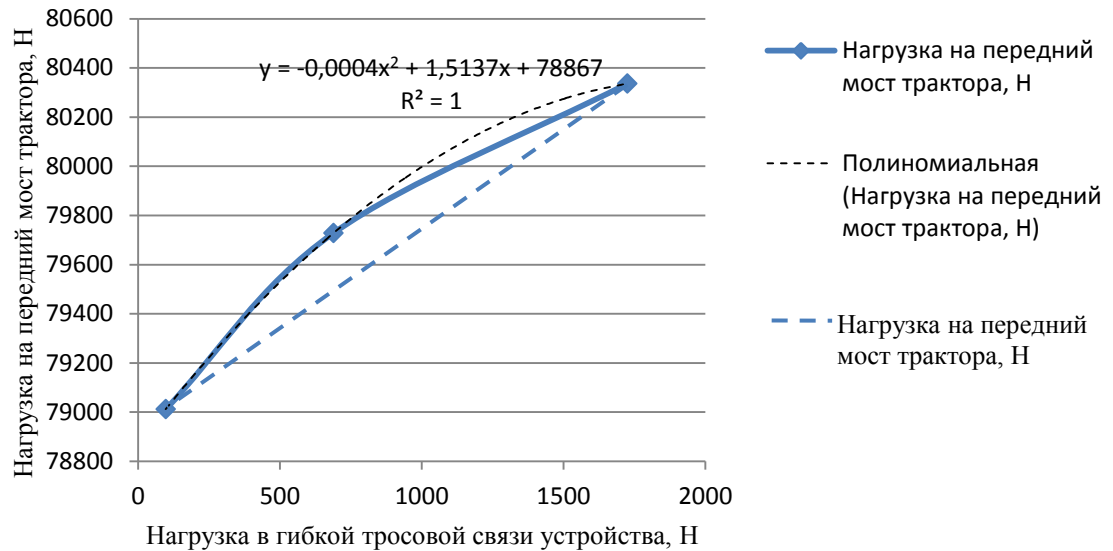


Рисунок 4.11 – Зависимость нагрузки на передний мост трактора от нагрузки в гибкой тросовой связи (передача нагрузки с бороны на трактор)

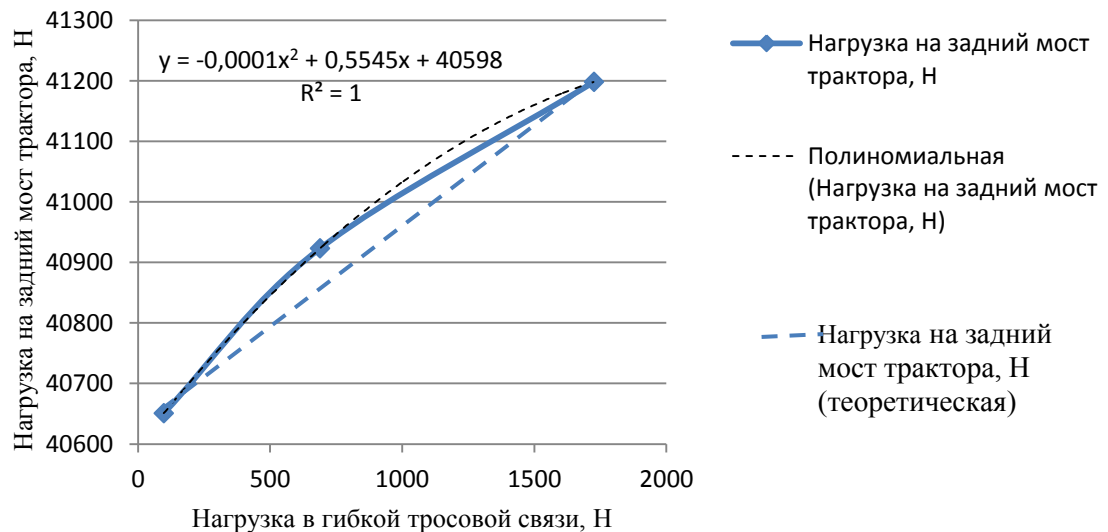


Рисунок 4.12 – Зависимость нагрузки на задний мост трактора от нагрузки в гибкой тросовой связи устройства (передача нагрузки с бороны на трактор)
При этом нагрузка, приходящаяся на борону, снижается (рисунок 4.13).

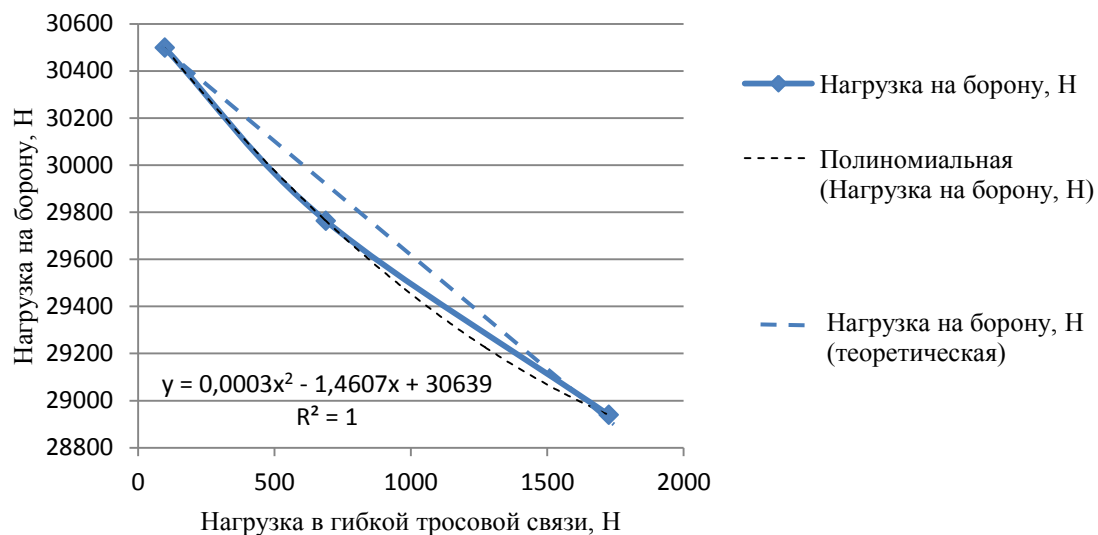


Рисунок 4.13 – Зависимость нагрузки на борону от нагрузки в гибкой тросовой связи устройства (передача нагрузки с бороны на трактор)

Более наглядно перераспределение нагрузки с бороны на трактор при изменении угла наклона навески и длины выхода штока гидроцилиндра представлено в таблицах 4.1 и 4.2

Таблица 4.1 – Распределение нагрузки между звеньями МТА, при передаче нагрузки с бороны на трактор в зависимости от угла наклона навески

Измеряемые величины	Положение навески		
	мах поднята	промеж положение	промеж положение (устройство выключено)
Угол положения навески, °	- 40	-25	-10
Нагрузка на передний мост трактора, Н (при измерении угла подъема навески)	81036	79728	79012
Нагрузка на задний мост трактора, Н (при измерении угла подъема навески), Н	41198	40923	40651
Нагрузка на борону, Н	28939	29763	30498
Нагрузка в гибкой тросовой связи устройства, Н	1726	689	98

Таблица 4.2 – Распределение нагрузки между звеньями МТА, при передаче нагрузки с бороны на трактор в зависимости от длины выхода штока гидроцилиндра

Измеряемые величины	Положение навески		
	мах поднята	промеж положение	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

На основании проведенных исследований (рисунок 4.7 – 4.13) и (таблица 4.1, 4.2) установлено, что при уменьшении длины выхода штока гидроцилиндра (процесс втягивания) и угла наклона навески происходит передача части нагрузки с бороны на ведущие мосты трактора, что позволяет при необходимости добавлять сцепной вес, повышая тем самым тягово-сцепные свойства МЭС, при необходимости.

4.3 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на изменение силовой нагрузки, приходящейся на рабочие органы дисковой бороны

Подготовка почвы в весенний период с использованием дисковых борон в условиях Амурской области имеет свои особенности. В связи с тем, что при проведении работ в этот период наблюдается неравномерное оттаивание поверхности поля по всей площади по ряду причин. Кроме того, в зависимости от возделываемых культур, площадь подверженная воздействию ходовых систем машинно-тракторных агрегатов также не одинаковая. С этой целью были

проведены экспериментальные исследования по определению твердости почвы на различных участках поля (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Результаты исследования твердости почвы

Глубина погружения щупа твердомера, см	Номер эксперимента/ прилагаемое усилие, кг				Средняя значение твердости кг/см ²
	1	2	3	4	
5	1,1	1,3	3,2	2,4	2
10	1,8	2,4	6,9	5,8	4,2
15	6,3	7,9	12,4	13,5	10
20	11,4	10,1	17,7	18,1	14,3
25	12,9	15,9	19,5	20,4	17,2

Распределение твердости почвы по глубине наглядно представлено на рисунке 4.14.

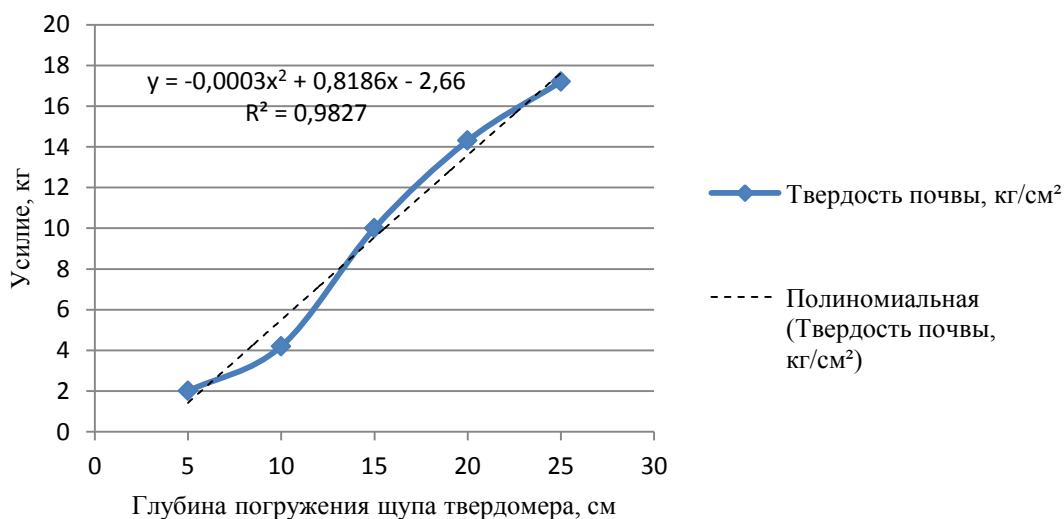


Рисунок 4.14 – Распределение твёрдости почвы по глубине

Анализ данных, представленных в таблице 4.3, демонстрирует вариативность твердости почвы на различных участках поля, в связи с этим возникает необходимость изменять нагрузку на рабочие органы дисковой бороны,

для повышения качества обработки поверхности поля. Одним из способов изменение нагрузки приходящейся на рабочие органы дисковой бороны является частичное её перераспределения с трактора.

Для подтверждения эффективности работы предлагаемого устройства позволяющего перераспределить часть нагрузки с трактора на рабочие органы бороны были проведены экспериментальные исследования, представленные на рисунках 4.15 и 4.16.

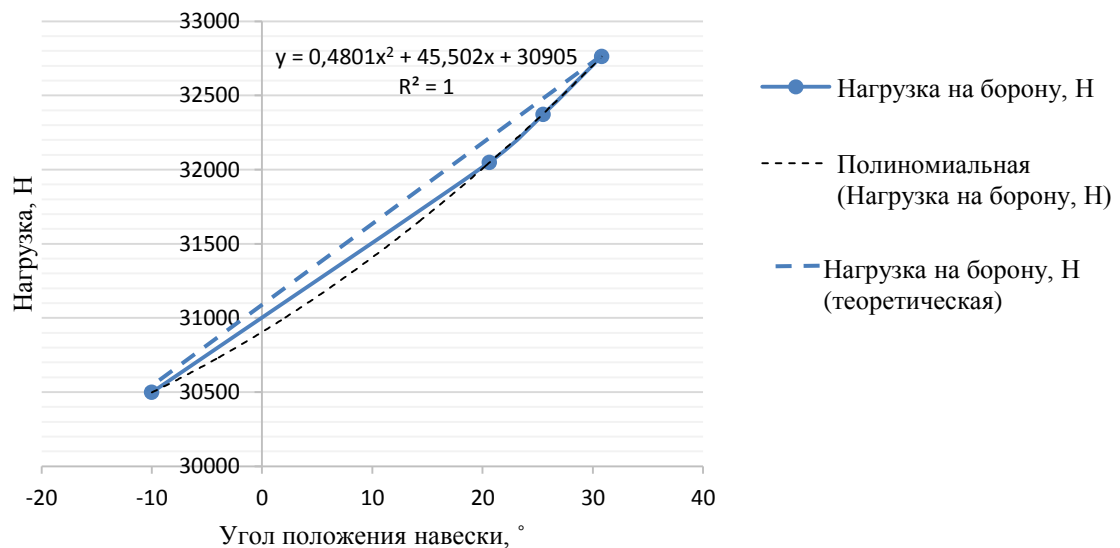


Рисунок 4.15 – Зависимость нагрузки приходящейся на рабочие органы бороны от угла подъема навески (передача нагрузки с трактора на борону)

Анализируя полученные данные (рисунок 4.15) необходимо отметить, что при увеличении угла наклона навески от -10 до 30,8 градусов нагрузка на рабочие органы бороны увеличилась соответственно с 30498 Н до 32764 Н, за счёт перераспределения нагрузки с трактора.

Результаты исследований по влиянию длины выхода штока гидроцилиндра на нагрузку, приходящуюся на рабочие органы бороны, приведены на рисунке 4.16.

Как видно из полученных данных (рисунок 4.16) при увеличении длины выхода штока гидроцилиндра от 0,24 м до 0,43 м нагрузка на борону увеличивается соответственно от 30502 Н до 33545 Н (передача сцепного веса с трактора на борону).

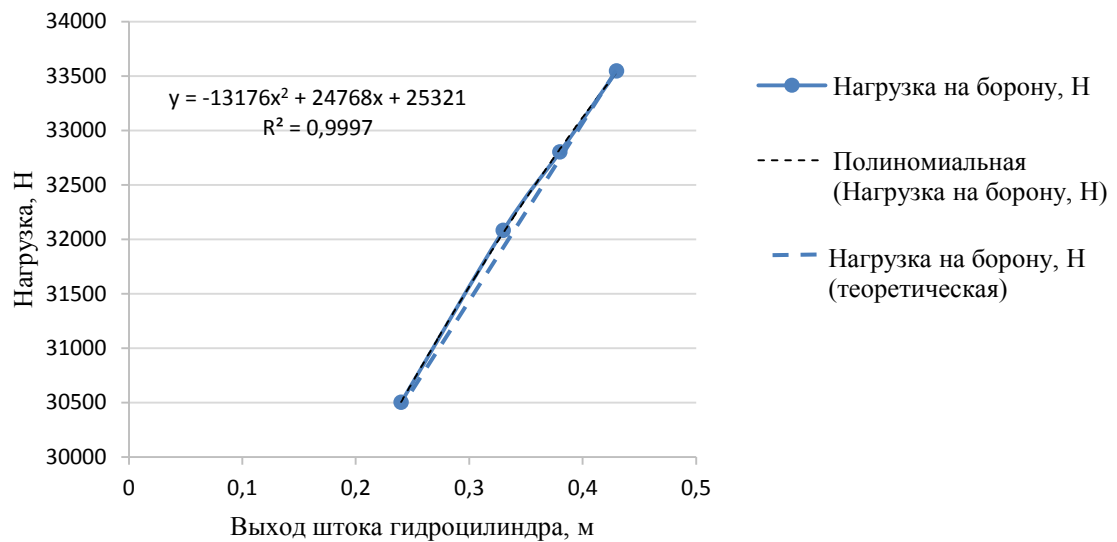


Рисунок 4.16 – Зависимость нагрузки, приходящейся на рабочие органы бороны от длины выхода штока гидроцилиндра (передача нагрузки с трактора на борону)

При работе устройства в режиме передачи части нагрузки с трактора на борону, увеличение нагрузки на неё, связано с изменением нагрузки в гибкой тросовой связи (рисунок 4.17).

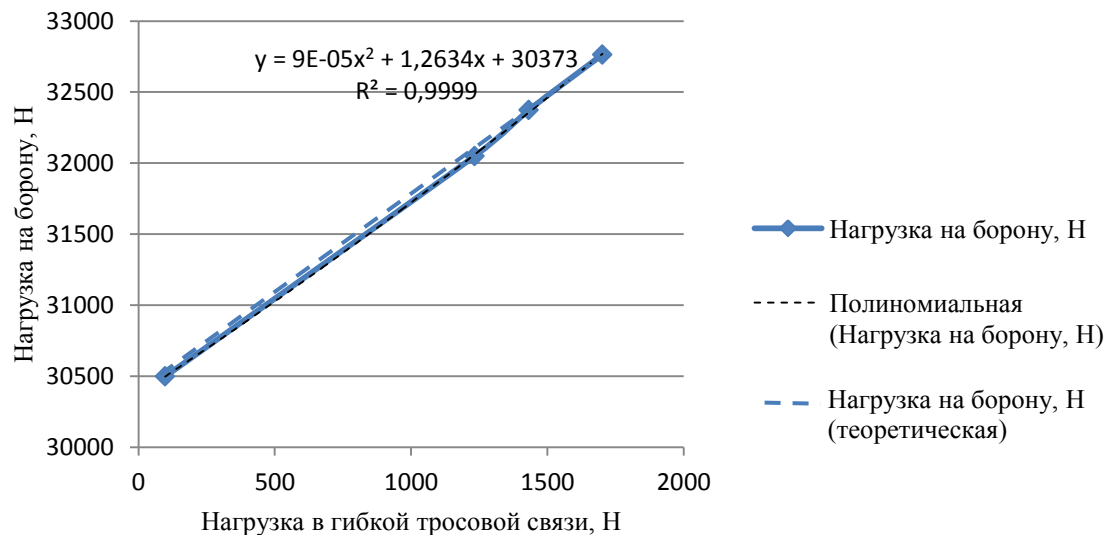


Рисунок 4.17 – Зависимость нагрузки на борону от нагрузки в гибкой тросовой связи устройства (передача нагрузки с трактора на борону)

При этом нагрузка на передний и задний мосты трактора снижается (рисунок 4.18 и 4.19).

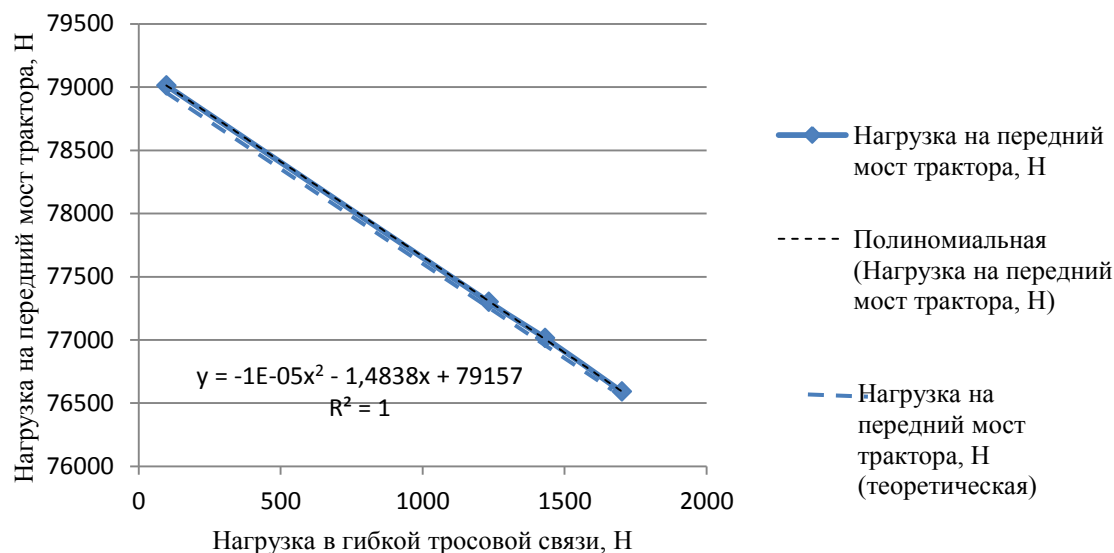


Рисунок 4.18 – Зависимость нагрузки на передний мост трактора от нагрузки в гибкой тросовой связи (передача нагрузки с трактора на борону)

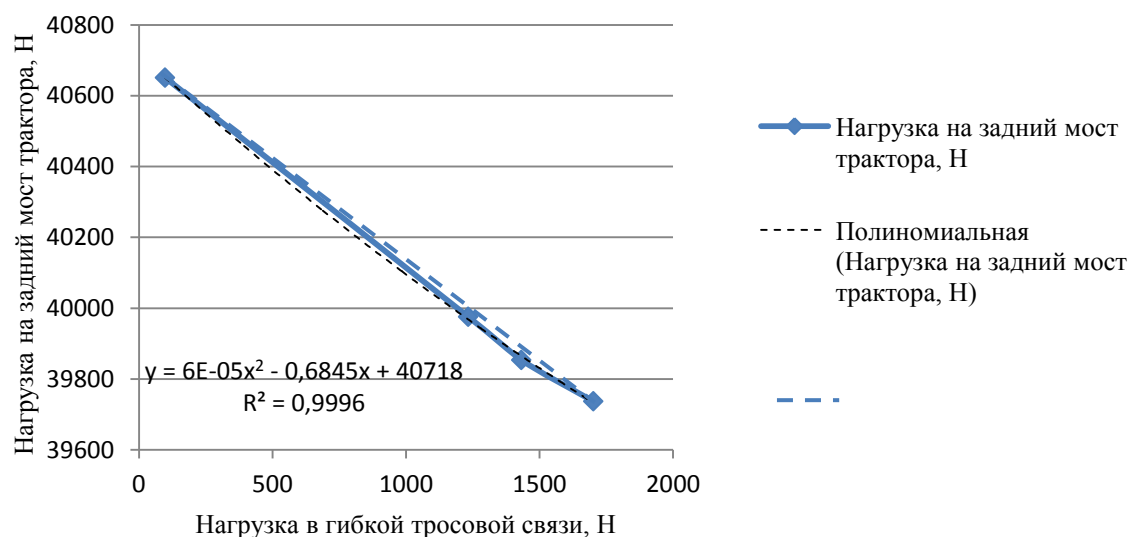


Рисунок 4.19 – Зависимость нагрузки на задний мост от нагрузки в гибкой тросовой связи устройства (передача нагрузки с трактора на борону)

Наиболее наглядно перераспределение нагрузки с трактора на борону при изменении угла наклона навески и длины выхода штока гидроцилиндра представлено в таблицах 4.4 и 4.5.

Таблица 4.4 – Распределение нагрузки в системе МТА, при передаче нагрузки с трактора на борону при изменении угла наклона навески

Измеряемые величины	Положение навески			
	промеж положение (устройство выключено)	рабочее положение	промеж положение	мах загружена
Угол положения навески, °	-10	20,55	25,5	30,8
Нагрузка на передний мост трактора, Н	79012	77301	77296	76590
Нагрузка на задний мост трактора, Н	40651	39976	40031	39737
Нагрузка на борону, Н	30498	31891	32049	32764
Нагрузка в гибкой связи устройства, Н	98	765	1233	1702

Таблица 4.5 – Распределение нагрузки в системе МТА, при передаче нагрузки с трактора на борону при изменении длины выхода штока гидроцилиндра

Измеряемые величины	Положение навески			
	промеж положение (устройство выключено)	рабочее положение	промеж положение	мах 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

В результате проведенных исследований (рисунок 4.15 – 4.19) и (таблица 4.4, 4.5) можно сделать вывод, что использование предлагаемого устройства позволяет регулировать нагрузку, приходящуюся на борону.

4.4 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния корректора-распределителя сцепного веса на эксплуатационно-технологические параметры МТА и физико-механические свойства почвы

В предыдущих разделах было установлено, что использование корректора-распределителя позволяет корректировать нагрузку между звеньями МТА:

- догружать ведущие мосты трактора;
- догружать рабочие органы тяжёлой дисковой бороны.

Необходимо отметить, что такое перераспределение очень важно при проведении ранне-весенних сельскохозяйственных работ, связанных с подготовкой почвы под посев (рисунок 4.20).

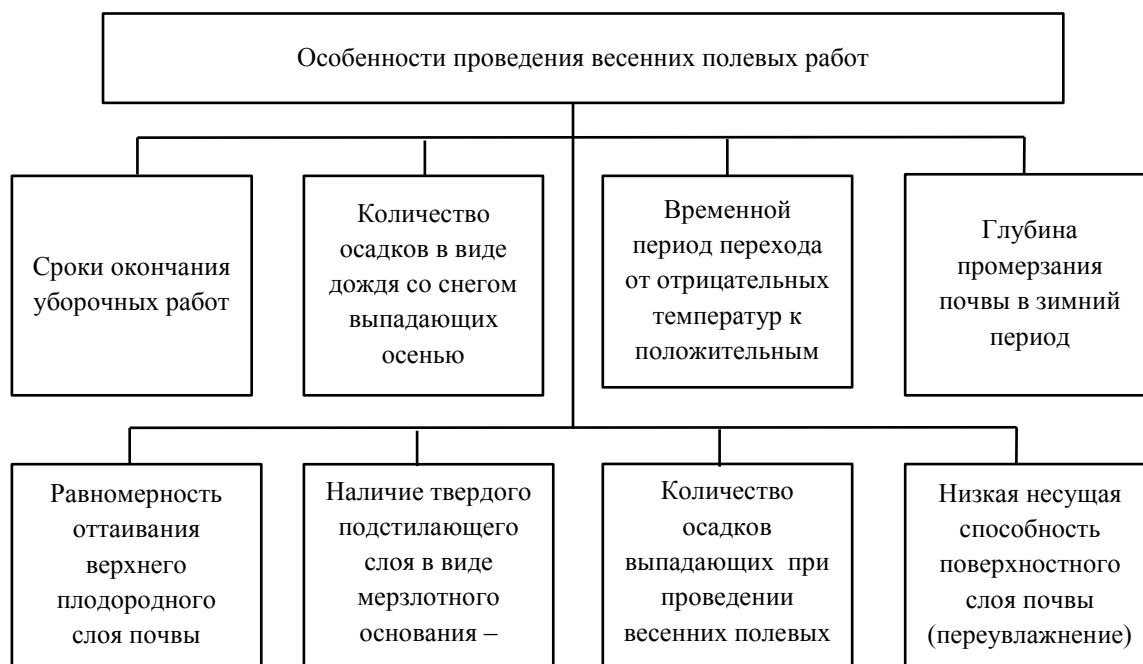


Рисунок 4.20 – Характерные особенности при проведении весенних полевых работ

При проведении исследований влажность почвы на глубине 0,12 – 0,15 м составляла в среднем 17,2 – 17,6 %, а на глубине 0,25м составила 36,6 – 39,1%. Повышение влажности почвы по глубине объясняется тем, что происходит оттаивания мерзлотного основания в связи с повышением температуры окружающей среды.

Важно заметить, что состояние поверхности поля при проведении работ на различных участках поля не одинаковое и требует принятия противоположных решений, связанных с повышением тягово-сцепных 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 4.6 и на рисунках 4.21 – 4.25.

Таблица 4.6 – 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-сцепных свойств энергетического средства
Усилие в гибкой тросовой связи, Н	201	2015	1812
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

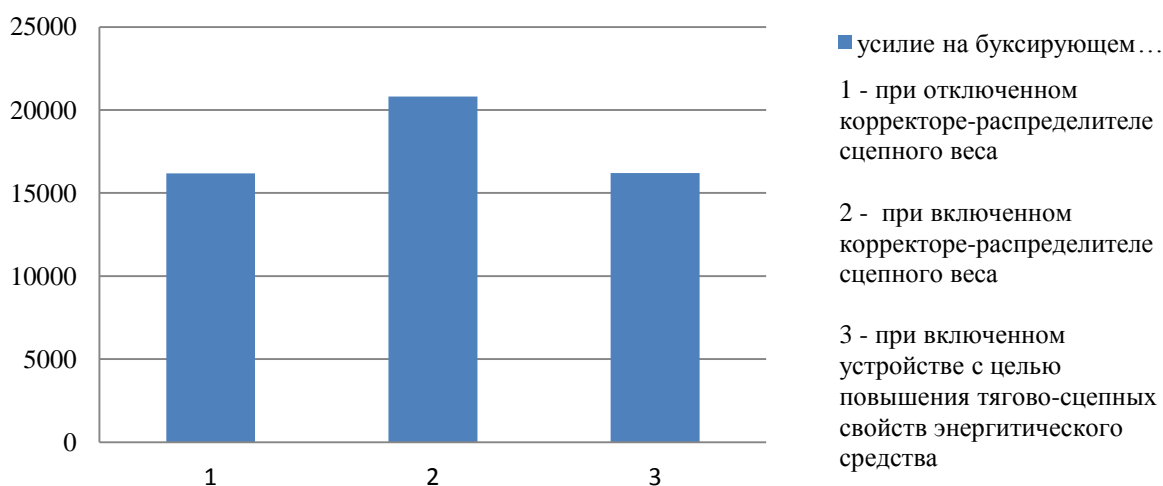


Рисунок 4.21 – Усилие на буксирующем крюке в зависимости от режима работы корректора-распределителя сцепного веса

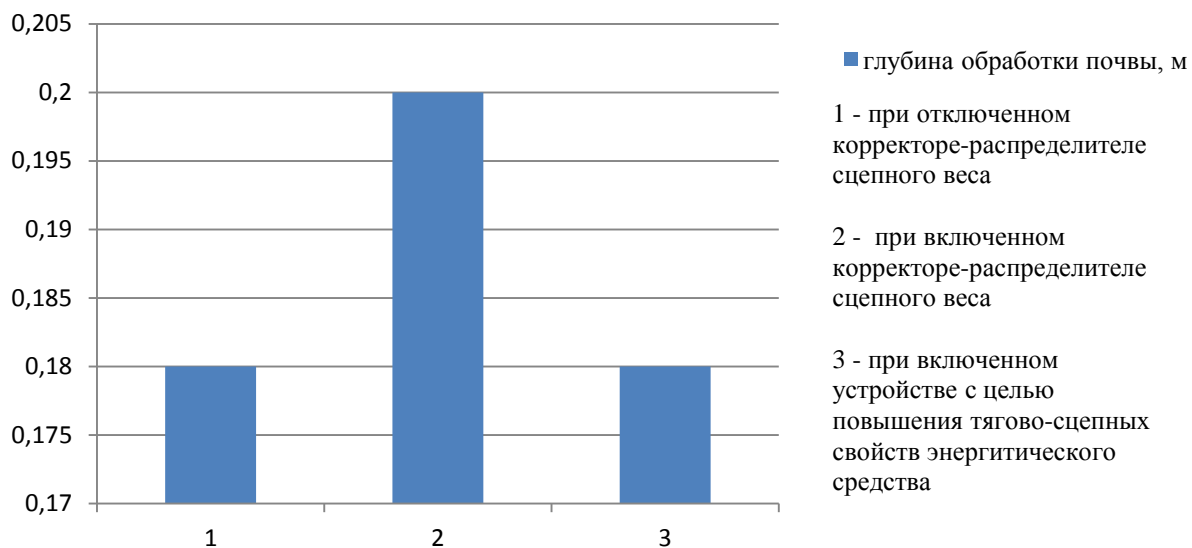


Рисунок 4.22 – Глубина обработки почвы в зависимости от режима работы корректора-распределителя сцепного веса

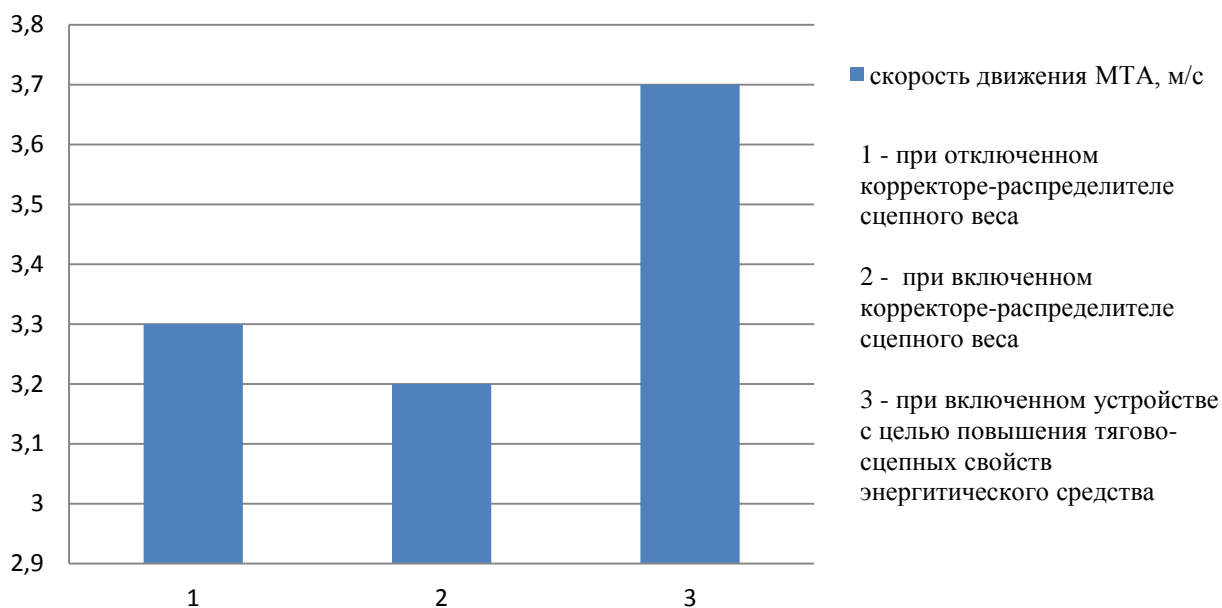


Рисунок 4.23 – Скорость движения МТА в зависимости от режима работы корректора-распределителя сцепного веса

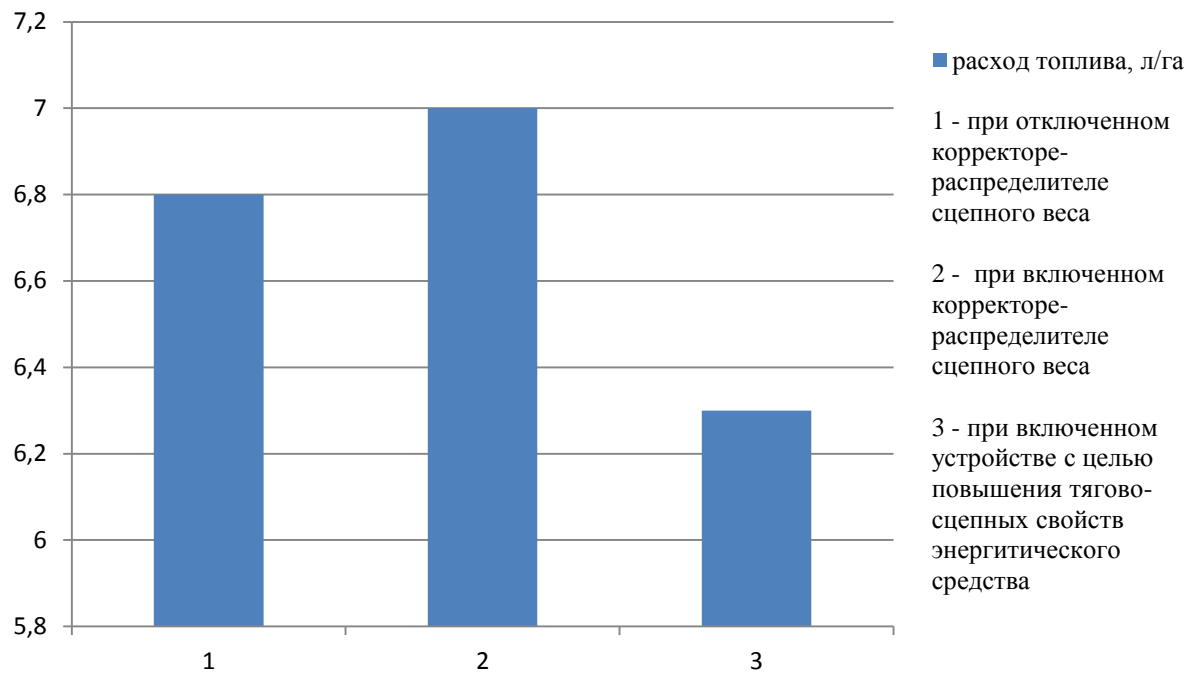


Рисунок 4.24 – Расход топлива в зависимости от режима работы корректора-распределителя сцепного веса



Рисунок 4.25 – Фрагмент проведения производственной проверки работы корректора-распределителя

На основании полученных данных приведенных в таблице 4.6 и на рисунках 4.21 – 4.25 установлено, что использование корректора-распределителя позволило повысить глубину обработки за счёт увеличения нагрузки приходящейся на рабочие органы тяжёлой дисковой бороны с 0,18 м до 0,20м. Таким образом за счёт изменения нагрузки, приходящейся на рабочий орган

бороны можно изменять глубину обработки без использования каких-либо дополнительных догрузателей, за счёт перераспределения веса в системе МТА. Наряду с этим при одинаковой глубине обработки использование корректора-распределителя сцепного веса обеспечивает повышение тягово-сцепных характеристик энергетического средства, посредством снижения коэффициента буксования (рисунок 4.23).

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

4.5 Регрессионно-дисперсионный анализ результатов исследования по использованию трактора с шарнирно-сочленённой рамой и корректором-распределителем сцепного веса

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.

В качестве факторов были определены $x_1 - \alpha$, $x_2 - v$ и $x_3 - P$. Результирующей функцией выбрана $Y_1 - h$, где:

α – угол положения навески трактора;

v – скорость движения МТА;

P – нагрузка в гибкой связи корректора-распределителя сцепного веса;

h – глубина обработки почвы.

Поскольку согласно предварительным исследованиям функции отклика должны быть нелинейными, то факторы имели три уровня варьирования (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	30	12	1873
Основной уровень (0)	25	10	1319
Нижний уровень (-1)	20	8	765

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка – (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

№ опыта	x_1	x_2	x_3	$x_1' = x_1^2 - d$	$x_2' = x_2^2 - d$	$x_3' = x_3^2 - d$	Y1
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	20,000
2	-	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	16,000
3	+	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	19,000
4	-	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	16,000
5	+	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	18,000
6	-	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	16,000
7	+	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	19,000
8	-	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	12,000
9	1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	16,000
10	-1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	16,000
11	0	1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	18,000
12	0	-1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	18,000
13	0	0	1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	18,000
14	0	0	-1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	18,000
15	0	0	0	-0,7303	-0,7303	-0,7303	18,000

Ортогональность центрально-композиционного плана обеспечивается соответствующим подбором звездного плеча α (для трех факторов $\alpha = 1,2154$ [3]) и специальным преобразованием квадратичных переменных x_i^2 по выражению

$$x_i' = x_i^2 - d, \quad (4.1)$$

где d – поправка, зависящая от числа факторов [4], для трех факторов $d = 0,7303$.

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента. В нашем случае для 3-х степеней свободы и 90 %-ном уровне значимости $t = 1,64$ [3, 4, 94].

Общий вид функции для матрицы ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка будет иметь следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (4.2)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке приведена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y1)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	17,18	0,022222	58,26
b1	1,461	0,030429	8,37
b2	0,365	0,030429	2,09
b3	0,548	0,030429	3,14
b12	-0,5	0,041667	-2,45
b13	-0,25	0,041667	-1,22
b23	-0,25	0,041667	-1,22
b123	0,75	0,041667	3,67
b11	-1,124	0,076377	-4,07
b22	0,23	0,076377	0,83
b33	0,23	0,076377	0,83

Из таблицы 4.9 видно, что значимыми коэффициентами являются b0, b1, b2, b3, b12, b123, b11.

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y = 17,178 + 1,461x_1 + 0,365x_2 + 0,548x_3 - 0,5x_1x_2 + 0,75x_1x_2x_3 - 1,124x_1^2 \quad (4.3)$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера.

В нашем случае при $f_1=15-3-1=11$; $f_2=3-1=1$ и 95%-ном уровне значимости $F = 19,4$.

Дисперсия адекватности определялась по методике, предложенной в работах [3, 4, 94].

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 4.10

Таблица 4.10 – Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	Y_1		
	y_u	\hat{y}_u	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	20,000	18,871	1,275623250
2	16,000	17,284	1,647525791
3	19,000	19,014	0,000191739
4	16,000	16,093	0,008583072
5	18,000	18,649	0,420807451
6	16,000	15,727	0,074259190
7	19,000	17,458	2,378437003
8	12,000	14,537	6,434236388
9	16,000	19,146	9,896594541
10	16,000	15,595	0,163655631
11	18,000	18,094	0,008909437
12	18,000	16,647	1,830739453
13	18,000	18,316	0,100040394
14	18,000	16,425	2,480467580
15	18,000	17,371	0,087613552

Расчетные значения критерия Фишера составили: $F = 7,311$, значит полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем уравнения регрессии в раскодированном виде:

$$h = -78,486 + 4,82\alpha + 5,9v + 0,035P - 0,229\alpha v - 0,01\alpha P - 0,0034vP + 0,000135\alpha vP - 0,045\alpha^2$$

(4.4)

Поверхности отклика строились с использованием программного обеспечения SigmaPlot v.11.0, при этом варьировались два фактора (рисунки 4.26 – 4.31).

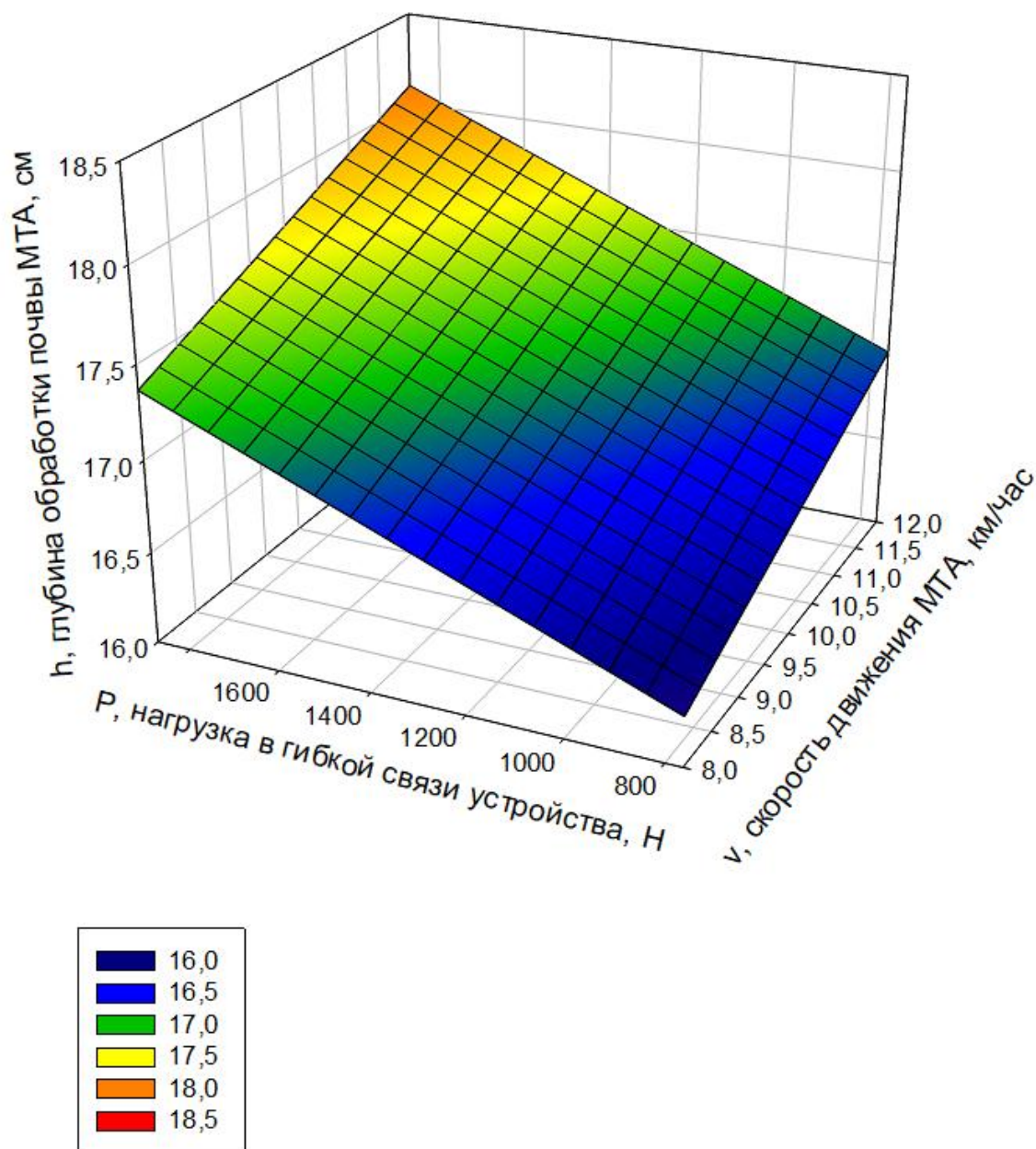


Рисунок 4.26 – Поверхность отклика h в зависимости от X_2 (v) и X_3 (P) (при зафиксированном на нулевом уровне X_1 ($\alpha = 25$ град.)).

$$h = 14,05 + 0,183v + 0,00099P \quad (4.5)$$

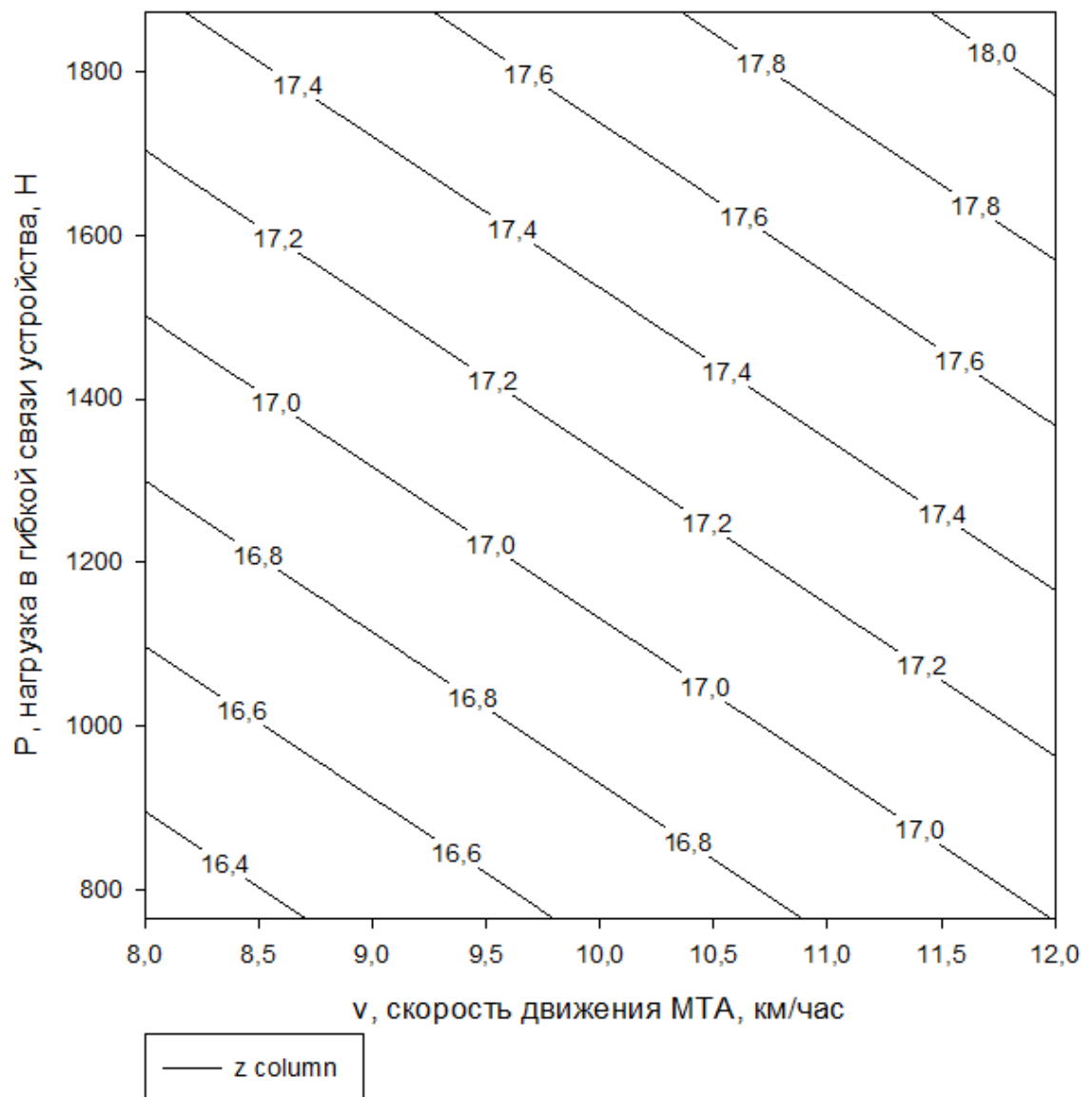


Рисунок 4.27 – Сечение поверхности отклика h в зависимости от X_2 (v) и X_3 (P) (при зафиксированном на нулевом уровне X_1 ($\alpha = 25$ град.)).

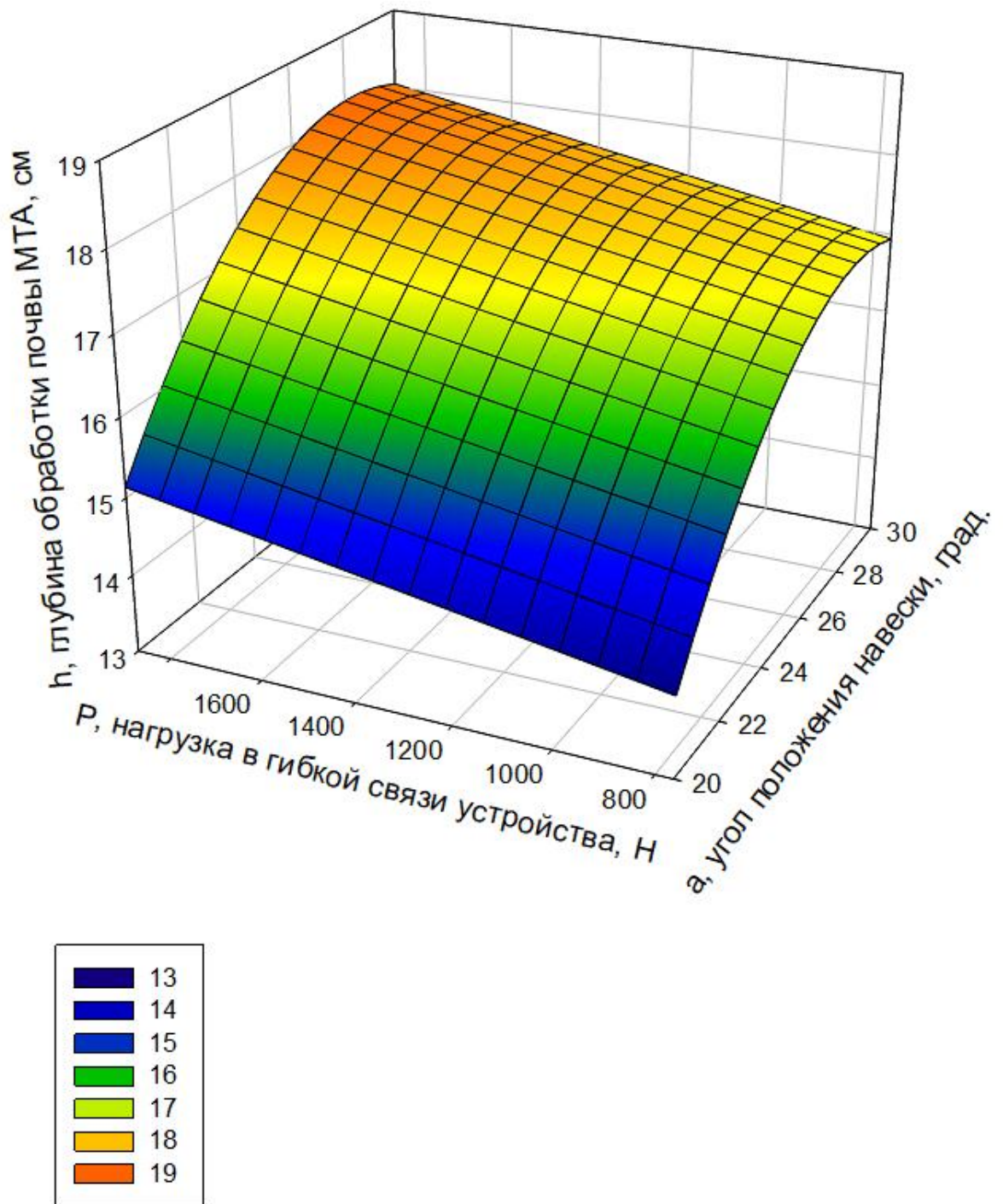


Рисунок 4.28 – Поверхность отклика h в зависимости от X_1 (α) и X_3 (P) (при зафиксированном на нулевом уровне X_2 ($v = 10 \frac{\text{км}}{\text{час}}$)).

$$h = -19,52 + 2,54\alpha + 0,00099P - 0,045\alpha^2 \quad (4.6)$$

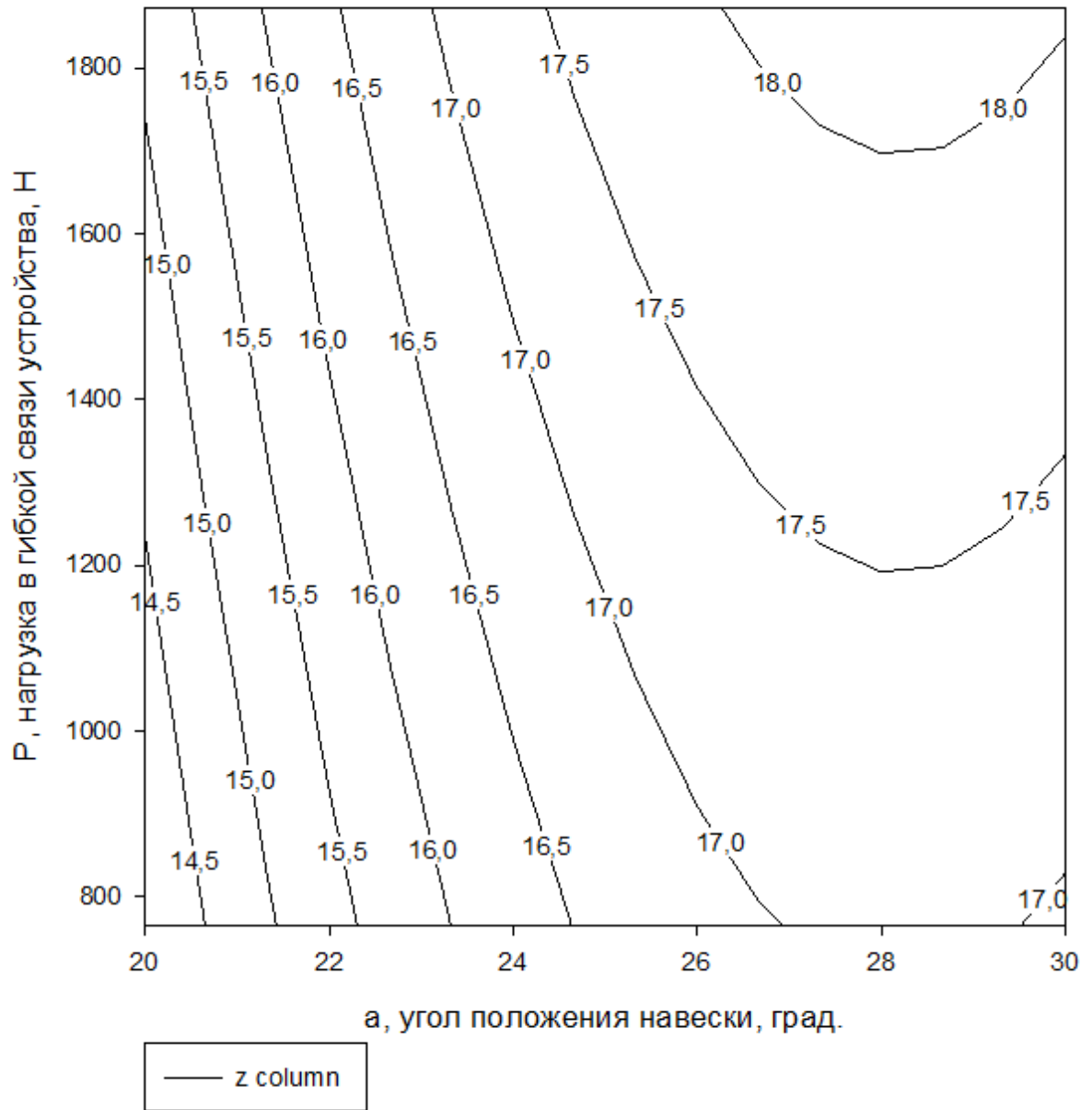


Рисунок 4.29 – Сечение поверхности отклика h в зависимости от X_1 (α) и X_3 (P) (при зафиксированном на нулевом уровне X_1 ($v = 10 \frac{\text{км}}{\text{час}}$)).

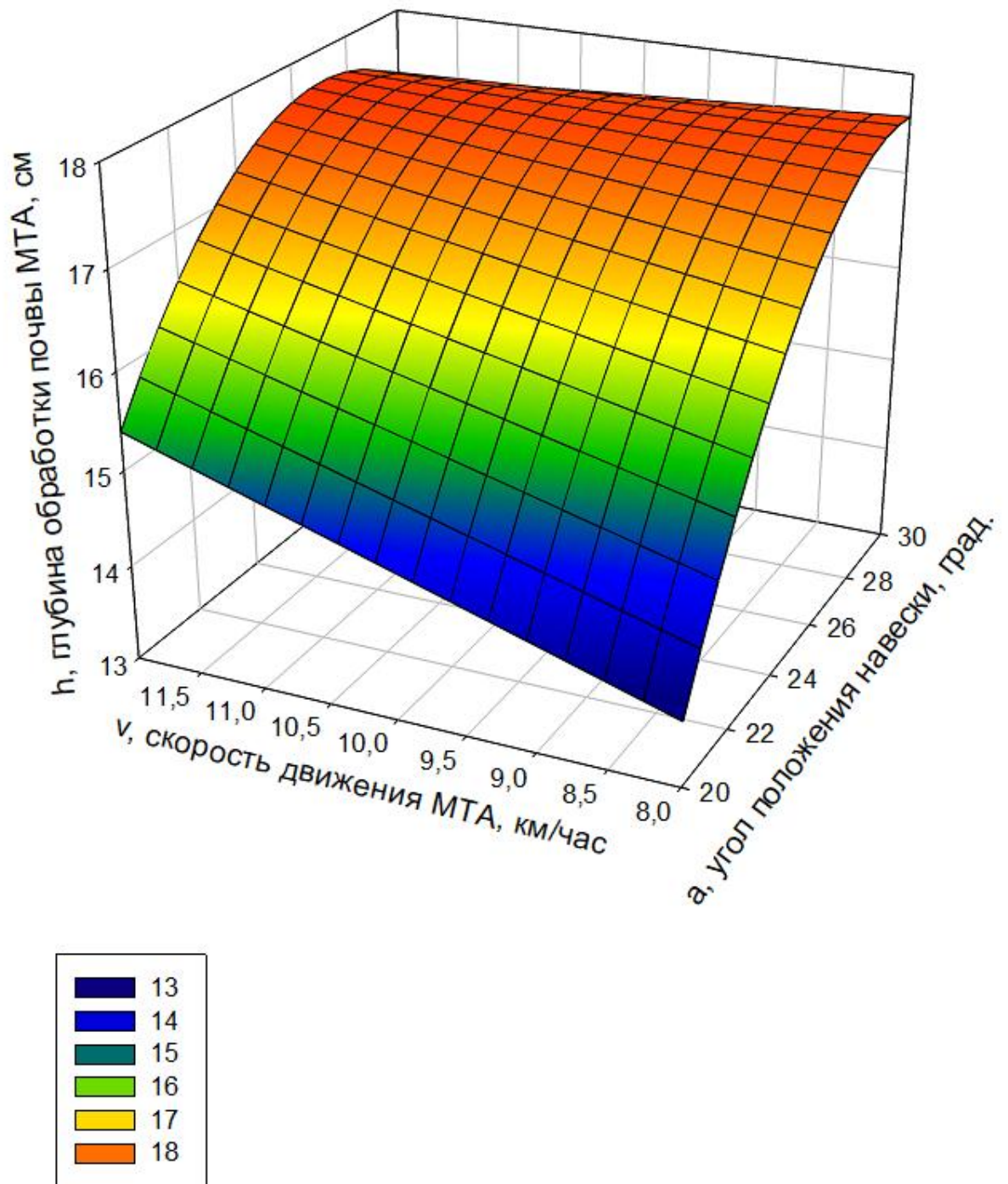


Рисунок 4.30 – Поверхность отклика h в зависимости от X_1 (α) и X_2 (v) (при зафиксированном на нулевом уровне X_3 ($P = 1319 H$)).

$$h = 32,54 + 3,039\alpha + 1,43v - 0,05\alpha v - 0,045\alpha^2 \quad (4.7)$$

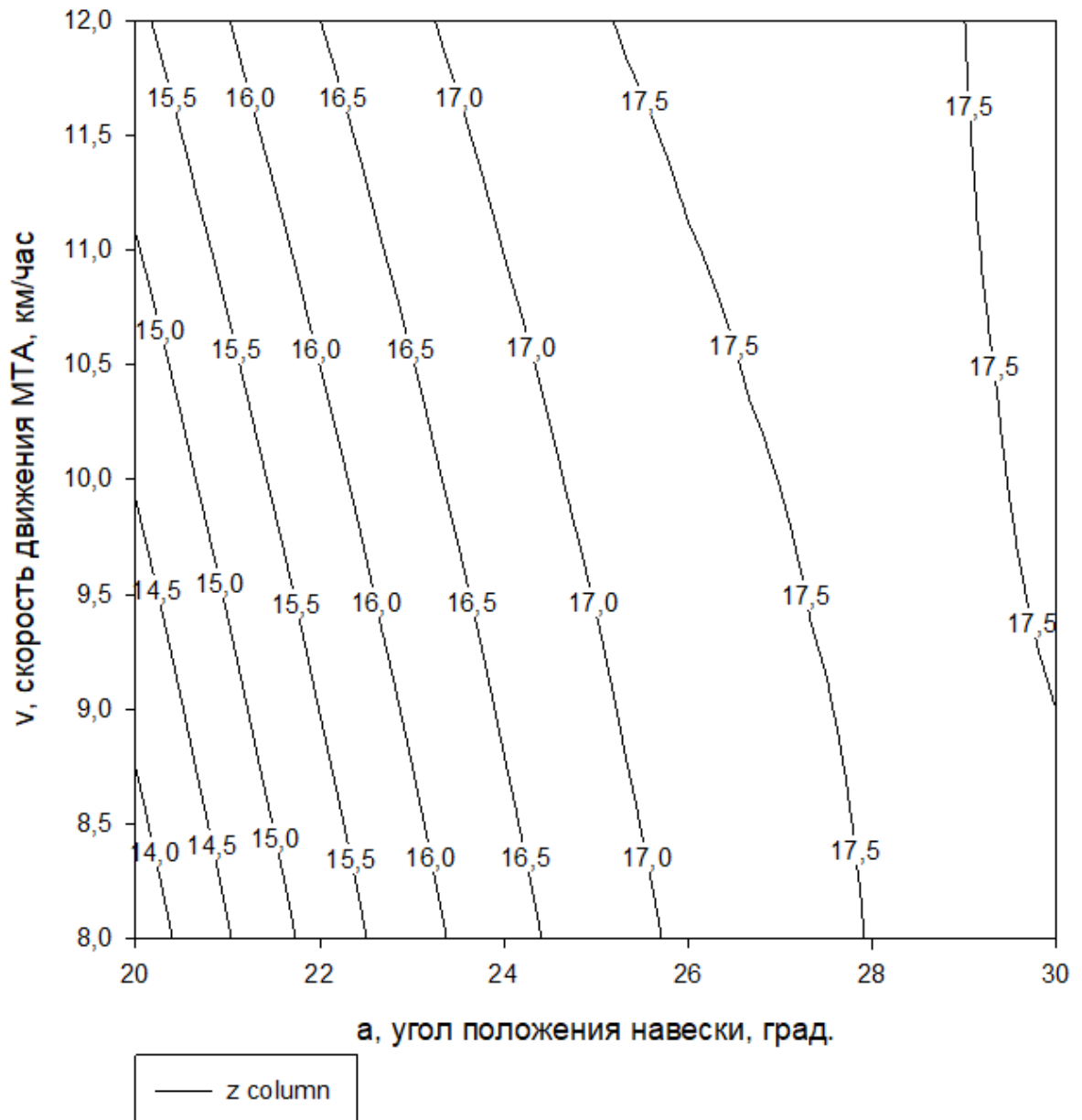


Рисунок 4.31 – Сечение поверхности отклика h в зависимости от X_1 (α) и X_2 (v) (при зафиксированном на нулевом уровне X_3 ($P = 1319$ Н)).

Вывод: оптимальная глубина обработки почвы $h = 18-20$ см образовывается при следующих значениях факторов: угле положения навески α от 26 до 30 град. и нагрузке в гибкой тросовой связи корректора-распределителя сцепного веса P от 1766 Н и выше.

5. ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОГО МТА

В последние годы наблюдается возрастающий дефицит энергии, что требует нахождения такого метода оценки использования средств механизации в технологии возделывания сельскохозяйственной продукции, который бы учитывал полностью все энергозатраты. Наиболее подходящая для этих целей методика определения энергетических затрат предложена ВИМ [47, 96]. Предлагаемая методика топливно-энергетического анализа позволяет её использовать как при оценке технологий, так и при испытании средств механизации. Преимуществом энергетического анализа является возможность оценки энергетической эффективности существующих и разрабатываемых технологий по сравнению с существующими. Важно отметить, что предлагаемый подход не исключает, а дополняет традиционные методы оценки, учитывающие такие параметры, как трудозатраты, экономическая эффективность и другие.

Отношение энергии содержащейся в конечном сельскохозяйственном продукте, к энергии, затраченной на его производство, дает энергетическую эффективность использования средств механизации:

$$R = \frac{\Pi}{E}, \quad (5.1)$$

где Π – энергия содержащаяся в конечном сельскохозяйственном продукте, МДж/ т (МДЖ/га);

E – энергии затраченная на его производство, МДж/ т (МДЖ/га).

Энергетическую эффективность использования средств механизации можно представить следующим образом:

$$R = \frac{a_n \cdot H_y}{E}, \quad (5.2)$$

где a_n – энергетический эквивалент основной продукции, МДж/т;

H_y – урожайность основной продукции, т/га.

В связи с этим возникает необходимость в определении энергии затраченной на производство конечного продукта в которую входят [47, 96]:

– энергозатраты живого труда:

$$E_{\text{ж}} = \frac{a_{\text{ж}} \cdot n_{\text{ч}}}{W_{\text{см}}}, \quad (5.3)$$

где $a_{\text{ж}}$ – энергетический эквивалент живого труда, МДж/ч;

$n_{\text{ч}}$ – число основных трактористов, чел;

$W_{\text{см}}$ – производительность МТА, га/ч.

– прямые энергозатраты:

$$E_{\text{п}} = H_{\text{т}} \cdot (a_{\text{т}} + f_{\text{т}}), \quad (5.4)$$

где $H_{\text{т}}$ – расход топлива, кг/га;

$a_{\text{т}}$ – теплосодержание топлива, МДж/кг;

$f_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты энергии на производство топлива, МДж/кг.

– энергозатраты трактора:

$$E_{\text{т}} = \frac{M_{\text{т}} \cdot C_{\text{тр}} \cdot (K_{\text{т}} + K_{\text{тк}} + K_{\text{тр}})}{100 \cdot T_{\text{нт}}}, \quad (5.5)$$

где $K_{\text{т}}$, $K_{\text{тк}}$, $K_{\text{тр}}$ – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт энергетического средства;

$M_{\text{т}}$ – масса энергетического средства, кг;

$C_{\text{тр}}$ – энергетический эквивалент энергетического средства, МДж/кг;

$T_{\text{нт}}$ – годовая загрузка тракторов, ч.

– энергозатраты сельскохозяйственной машины:

$$E_{\text{м}} = \frac{M_{\text{м}} \cdot \Pi_{\text{м}} \cdot (\Phi_{\text{м}} + \Phi_{\text{мк}})}{100 \cdot T_{\text{нт}}}, \quad (5.6)$$

где $M_{\text{м}}$ – масса сельскохозяйственной машины, кг;

$\Pi_{\text{м}}$ – энергетический эквивалент сельскохозяйственной машины, МДж/кг;

$\Phi_{\text{м}}$, $\Phi_{\text{мк}}$ – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт тракторов, %;

T_{HT} – годовая загрузка сельскохозяйственной машины, ч.

– суммарные энергозатраты МТА на 1 г:

$$E_{TM} = \frac{E_T + E_M}{W_{cc}} \quad (5.7)$$

– полные энергозатраты:

$$E_{TP} = E_P + E_{Ж} + E_{TM}. \quad (5.8)$$

– энергетическая эффективность применения средств механизации:

$$\Delta E_{TP} = E_{THB} - E_{ТПП}, \quad (5.9)$$

где E_{THB} – совокупные энергозатраты экспериментальной машины, МДж/га;
 $E_{ТПП}$ – совокупные энергозатраты серийной машины, МДж/га.

При расчёте энергетических показателей по данной методики учитывались методические нормативные и справочные материалы [47, 96], а также результаты хронометражных наблюдений.

На основе выше изложенной методики, провели топливно-энергетическую оценку, полученные данные приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Топливно-энергетическая оценка использования бороновальных МТА, МДж/га

Состав МТА / показатели	К-701 + БДТ-7	К-701 + БДТ-7 +устройство
Прямые затраты, МДж	358,361	332,011
Затраты живого труда, МДж	0,237	0,211
Суммарная энергоёмкость МТА, МДж	164,212	146,549
Совокупные энергозатраты, МДж/га	522,810	478,771
Экономия полных энергозатрат, МДж/га	-	44,039

На основании полученных данных (таблица 5.1) можно сделать вывод, что при использовании МТА (К-701 + БДТ-7 +устройство) экономия полных

энергозатрат составила 44,039 МДЖ/га. При подготовке поля площадью 500 га экономический эффект составит 34328 рублей.

ВЫВОДЫ

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 догрузки на борону позволило повысить вертикальную нагрузку на рабочие органы бороны (диски) на 2266 Н, за счёт разгрузки 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 догрузателей, 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 разгрузке 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 почвы, использование корректора-распределителя сцепного веса обеспечивает повышение тягово-сцепных характеристик энергетического средства, посредством снижения коэффициента буксования.

Определено влияние корректора-распределителя сцепного веса бороновального 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 хозяйственные 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 луцильников 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 звеньями МТА при бороновании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абидуллин, С.Н. Использование гидроувеличителя сцепного веса трактора класса 1,4 с упругой навеской на почвах пониженной влажности/ С.Н. Абидуллин, Н.Г. Кузнецов/ Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. - №6. – С.11-12.
2. Агейкин, А.С. Проходимость автомобилей / А.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 25-27.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.— М.: Наука, 1976, 279 с.
4. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М., «Металлургия», 1969.;
5. Амурская область; факты в цифре: Статистический сборник/ Амурстат – Благовещенск, 2024 – 185 с.
6. Апажев А.К. Повышение урожайности зерновых культур на основе усовершенствованной технологии и оптимизированного комплекса машин для предпосевной подготовки почвы и посева в условиях центральной части Северного Кавказа: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / А.К. Апажев //, Волгоградский ГАУ, 2018. – 415 с.
7. Арютов, Б.А. Повышение эффективности производственных процессов в растениеводстве / Б.А. Арютов, А.И. Новожилов, А.В. Пасин // Техника в сельском хозяйстве. - 2007.-№ 6. - С. 50-51.
8. Асманкин, Е.М. К вопросу о снижении буксования колесной машины / Е.М. Асманкин [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – №7. – С. 28-29.
9. Аушев М.Х. Параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата для предпосевной обработки почвы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аушев М.Х // ФГБОУВО «Кубанский ГАУ», 2018. – 141 с.

10. Багманов Р.С. Улучшение качества предпосевной обработки почвы и снижение энергозатрат путем обоснования параметров культиватора с упругими рабочими органами: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Багманов Р.С. // Москва, 2012. – 18 с.

11. Байбаков, А.В. Исследование трения и прилипания почвы – металл / А.В. Байбаков // Бюллетень НТИ по агрофизике. – Л.: Агрофизический институт, 1956. – с. 410.

12. Баранский, А.Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использования колесных тракторов / А. Н. Баранский. – Минск : Урожай, 1968. – 256 с.

13. Барский, И.Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В.Я. Анилович, Г.М. Кутьков. – М.: Машиностроение. – 1973. – 280 с.

14. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колесных тракторов: диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Беляев А.Н. // Мичуринский ГАУ, Мичуринск-наукоград. – 2019. – 440 с.

15. Бируля, А.К. Исследование взаимодействия колес с поверхностью качения, как основа оценки проходимости / А.К. Бируля // Проблемы повышения проходимости колесных машин. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С 11-118.

16. Борисенко, И.Б. Совершенствование агротехнологий и технических средств для поверхностной обработки почвы /И.Б. Борисенко, В.И. Пындак, М.С. Горюнов //Инновационно-технологические основы развития земледелия. – Курск, 2006. – С.77-88.

17. Валиев А.Р. Повышение эффективности обработки почвы в условиях Среднего Поволжья путем совершенствования машин с ротационными рабочими органами: диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Валиев А.Р. // Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Казань – 2018. – 472 с.

18. Веденяпин, Г.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка/ ГВ. Веденяпин, Ю.К. Киртбая. М.П. Сергеев. – М.: Сельхозиздат, 1963.- 431с.

19. Вентцель, Е.С. Задачи и упражнения по теории вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Академия, 2003. – 442 с.
20. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. - 8-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2002. – 575 с. 30.
21. Гапич, Д.С. Стабилизация режимов нагружения колёсных машинно-тракторных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Гапич Дмитрий Сергеевич. – Волгоград, 2014. – 343 с.
22. Геращенко, В.В. Устройство для регулирования сцепного веса трактора / В.В. Геращенко, П.В. Жадик, А.В. Жадик //Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 5. – С. 14-15.
23. Гильштейн, П.М. Почвообрабатывающие машины и агрегаты / П.М. Гильштейн. – М.: Машиностроение, 1969. – 192 с.
24. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2004. – 404 с. 43.
25. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с
26. Гоberman, В.А. О проектировании транспорта в сельскохозяйственном производстве / В.А. Гоberman // Научные труды всероссийского института механизации. – М., 1965. – Т.39. – С. 212-232.
27. Голубев В.В. Совершенствование технологических процессов и технических средств для предпосевной обработки почвы, посева льна и других мелкосеменных культур: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Голубев В.В. // ФГБОУ ВО «Российский ГАУ», 2017. – 421 с.
28. Горшков, Ю.Г. Повышение тягово-сцепных свойств колесных машин/Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов, И.Ю. Аверьянов//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. - №12. – С.20-22.
29. Горячки, В.П. Собрание сочинений: в 6 т. /В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т.І – 720 с.; Т.ІІ – 459 с.; Т.ІІІ – 384 с.; Т.ІV – 512 с.; Т.V – 569 с.; Т.VІ – 500 с.

30. ГОСТ 12.2.002-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 93 с.
31. ГОСТ 20915-2011. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний.
32. ГОСТ 20915-75 (СТ СЭВ 5630-86) Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 33 с.
33. ГОСТ 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 26 с.
34. ГОСТ 24055-2016 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Стандартинформ, 2017. – 39 с.
35. ГОСТ 26244-84. Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
36. ГОСТ 26953–86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия двигателей на почву. – Введ. 1987-01-01. – М.: Госстандарт СССР, 1986. – 18 с.
37. ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90) Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 22 с.
38. ГОСТ 53056 – 2008 Техника Сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 16 с.
39. ГОСТ 30750-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 22 с.
40. ГОСТ 30752-2001 (ИСО 789-3-93) Трактора сельскохозяйственные. Определение наименьшего и габаритного диаметров окружности поворота. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 9 с.
41. ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почв. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2015. – 45 с.

42. ГОСТ 33691-2015 Испытания сельскохозяйственной техники. Метод определения угла поперечной статической устойчивости. – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.
43. ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 61 с.
44. ГОСТ Р 54783-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров». – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.
45. Государственная инспекция по контролю за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники [Электронный ресурс] // Официальный сайт Правительства Амурской области – URL : http://www.amurobl.ru/wps/portal/Main/gov/iogv/inspections/its!/ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gTAWN_RydDRwN_d3MDA09HHxfLEBdDY38jE30_j_zcVP2CbEdFAK-AfEg!/dl3/d3/L2dBISevZ0FBIS9nQSEh/ (дата обращения: 12.02.2025).
46. Демко А.Н. Повышение эффективности использования почвообрабатывающего агрегата на базе колесного трактора класса 1,4 в технологии биологизированного земледелия: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Демко А.Н. // ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ», 2019. – 160 с.
47. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., испр., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
48. Егоров А.С. Разработка орудия для прикатывания почвы с обоснованием его оптимальных параметров и режимов работы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Егоров А.С. // ФГБОУ ВО «Ульяновский ГАУ имени П.А. Столыпина», 2020. – 169 с.
49. Емельянов, А.М. Методические указания элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента / А. М. Емельянов, А. М. Гуров ; БСХИ. – Благовещенск, 1984. – 63 с.

50. Жадик, П.В. Автоматический корректор вертикальных нагрузок по буксованию / П.В. Жадик, А.В. Жадик, М.Е. Лустенков //Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 4. – С. 24-25.
51. Желиговский, В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В.А. Желиговский. – Тбилиси: Грузинский СХМ, 1970.– 148 с.
52. Зеленин А.Н. Физические основы теории резания грунтов: научное издание / А. Н. Зеленин. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – 354 с.
53. Информационный портал сельского хозяйства Амурской области [Электронный ресурс] // (дата обращения: 12.02.2015).
54. Канарёв Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. – М: Машиностроение, 1983. – 142с.
55. Климанов, А.В. Повышение проходимости и тягово-сцепных свойств сельскохозяйственных тракторов. - Куйбышев: Волжская коммуна, 1982.- 93 с.
56. Кобяков, И.Д. Качество обработки почвы дисковыми рабочими органами / И.Д. Кобяков //Тракторы и сельхозмашины. – 2010. - № 5. – С. 38 - 39.
57. Колобов, Г.Г. Тяговые характеристики тракторов / Г.Г. Колобов, А.П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1972. – 151 с.
58. Кононов, А.М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистой почве Белоруссии: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Кононов Александр Матвеевич. – Горки, 1974. – 35 с.
59. Кошарный, Н.Ф. Техничко-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости. К: Вища школа.1981-.207 с.
60. Кривуца, З.Ф. Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения АПК Амурской области: дис. д-ра техн. наук: 05.20.01. Благовещенск, 2015.- 362 с.

61. Кряжков, В.М. Разработка систем транспортно-технологических процессов в АПК/ В.М. Кряжков, Н.М. Антышев, Н. Е. Евтушенков, С.Д.Сметнев// Техника в сельском хозяйстве. – 1997. - №1. – С.27-30.
62. Ксенович И.П., Антимончик С.Ф., Ионов А.М. Реализация тяги трактора класса 1,4 тонны со спаренными широкопрофильными шинами //Трактора и сельскохозяйственные машины. - 1979.- № 4.-С. 5-7.
63. Кузнецов Е.Е. Пути повышения эффективности использования мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных агрегатов на полевых и транспортных работах: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических работ/ Кузнецов Е.Е.// ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ», 2017. – 43 с.
64. Кузнецов Е.Е., Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Монография. ДальГАУ-Благовещенск, 2017. – 272 с.
65. Кузнецов, Е.Е. Методологическое обоснование выбора конструкции устройств рационального перераспределения сцепного веса / Е.Е. Кузнецов, С.В.Щитов и др. // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». – 2016.-№2(24). – 24 с.
66. Кузнецов, Е.Е. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4: монография / Е.Е.Кузнецов, С.В.Щитов и др. // – Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – 153 с.
67. Леонов В.В. Определение нагрузок, действующих на опорные поверхности бороновального машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Известия Оренбургского ГАУ. – 2024. – № 3(107). – С. 145-149.
68. Леонов В.В. Повышение опорной проходимости колесного машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Актуальные вопросы энергетики в АПК : Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 15 декабря 2022 года. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С. 174-181.

69. Леонов В.В. Повышение производительности экспериментального колесного агрегата на полевых работах / В.В. Леонов [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 112-120.

70. Леонов В.В. Повышение эффективности применения машинно-тракторных агрегатов при подготовке почвы / В.В. Леонов [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции. В 5-ти томах, Благовещенск 18-19 апреля 2024 года. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2024. – С. 123-127.

71. Леонов В.В. Применение способов перераспределения сцепного веса для расширения технологических показателей агрегатов / Леонов В.В. [и др.] // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : Сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 14-15 марта 2022 / Под научной редакцией А.А. Галиулина. – Пенза: Пензенский ГАУ, 2022. – с. 102-104.

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

73. Леонов В.В. Расчетная эффективность перспективного машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Актуальные вопросы энергетики в АПК : Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 15 декабря 2022 года. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С. 162-168.

74. Леонов В.В. Результаты исследований по использованию колесного трактора и модернизированной дисковой бороны / В.В. Леонов [и др.] // Технический сервис машин. – 2022. - № 1(146). – С. 39-45.

75. Леонов В.В. Результаты исследований по использованию тракторных агрегатов на технологических работах / В.В. Леонов [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2022. - № 1(49).

76. Леонов В.В. Результаты исследований по расширению условий использования тракторно-транспортных агрегатов на склоновых поверхностях / Леонов В.В. [и др.] // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». – 2021. – № 3 (45). – 24 с.

77. Леонов В.В. Результаты сравнительных экспериментальных исследований условий поворота тракторных поездов и соблюдения ширины транспортного коридора / Леонов В.В. [и др.] // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». – 2021. – № 3 (45). – 25 с.

78. Леонов В.В. Современное состояние средств механизации в региональном земледелии Амурской области / В.В. Леонов [и др.] // Организационно-экономические и инновационно-технологические проблемы модернизации экономики России : Сборник статей XII Международной научно-практической конференции, Пенза, 24-25 июня 2022 года / Под научной редакцией В.Н. Лазарева. – Пенза: Пензенский ГАУ, 2022. – С. 221-228.

79. Леонов В.В. Современные георадарные средства повышения эффективности сельскохозяйственного почвообрабатывающего комплекса / В.В. Леонов [и др.] // Актуальные вопросы энергетики в АПК : Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 15 декабря 2022 года. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С. 194-201.

80. Леонов В.В. Теоретические исследования силовых реакций и устойчивости движения системы при выравнивании вертикальной нагрузки тяжелой рамной дисковой бороны в условиях внешнего догружения / В.В. Леонов [и др.] // Известия Оренбургского ГАУ. – 2022. - № 5(97). – С. 111-118.

81. Леонов В.В. Улучшение тягово-сцепных свойств бороновального машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. – 2024. - № 199. – С. 69-81.

82. Леонов В.В. Формирование параметров производительности машинно-тракторного агрегата / В.В. Леонов [и др.] // Известия Оренбургского ГАУ. – 2023. – № 3(101). – С. 150-155.

83. Леонов, В. В. Влияние конструктивно-технологических параметров «корректора-распределителя сцепного веса» на распределение нагрузки бороновального агрегата / В. В. Леонов [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1. – С. 34-39.

84. 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.

85. Леонов, В. В. Особенности подготовки почвы под посев в условиях Амурской области / В. В. Леонов, С. Н. Воякин // Актуальные вопросы энергетики в АПК : Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 19 декабря 2024 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. – С. 127-132.

86. Леонов, В. В. Результаты производственной проверки работы бороновального агрегата с установленным корректором-распределителем сцепного веса / В. В. Леонов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2025. – № 1(111). – С. 67-73.

87. Леонов, В. В. Результаты производственных испытаний по использованию корректора-распределителя сцепного веса бороновального агрегата / В. В. Леонов [и др.] // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2025. – № 1(78). – С. 140-147.

88. Леонов, В.В. Анализ конструктивных технологических особенностей современных бороновальных машин / В.В. Леонов [и др.] // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием. Молодежный, 06-08 октября 2022 года. – Молодежный: Иркутский ГАУ им. А.А. Ежовского, 2022. С. 31-37.

89. 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.

90. Леонов, В.В. Исследования опорных реакций тракторно-транспортного агрегата, оборудованного распределяющим тягово-сцепным устройством / Леонов В.В. [и др.] // АПК России. – 2021. – Т. 28, № 4. С. 498-505.

91. Леонов, В.В. Направления повышения эффективности бороновальных агрегатов / В.В. Леонов [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х томах, Благовещенск 20-21 апреля 2022 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С. 151-157.

92. Леонов, В.В. Обеспеченность средствами механизации предприятий-сельхозпроизводителей в Амурской области / В.В. Леонов [и др.] // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования : Материалы XIV международной научно-практической конференции, посвящённой памяти доцента М.А. Анфиногенова, Новосибирского ГАУ «Золотой колос», 2022. – С. 181-186.

93. Макеева Ю.Н. Повышение эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов при балластировании энергонасыщенных колесных тракторов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Макеева Ю.Н. // ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», 2017. – 193 с.

94. Маслов Г.Г., Дидманидзе О.Н., Цибулевский В.В. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: Учебн. пособие для сельскохозяйственных вузов. – М.: УМЦ «Триада», 2007. – 292 с.

95. Мезникова М.В. Совершенствование технологического процесса полосной глубокой обработки почвы за счет оптимизации конструктивных параметров рабочего органа: диссертация на соискание ученой степени кандидата

технических наук / Мезникова М.В. // ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ», 2018. – 185 с.

96. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. – М.: Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1995 г. – 95 с.

97. Миронюк, С.К. Использование транспорта в сельском хозяйстве/С.К. Миронюк. – М.: Колос, 1982. – 287 с.

98. Назаров, Г.Н. Исследование эффективности гидроувеличителя сцепного веса колесного МЭС: Труды ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1967.- Вып. 26.- С. 12-18.

99. Нестяк В.С. Деформация почвы плужным дисковым ножом / В.С. Нестяк, И.Д. Кобяков, А.С. Союнов // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – Новосибирск. – Т. 2. – № 23-2. – 2012. – С. 112-115.

100. Нестяк В.С. Тяговое сопротивление дискового луцильника / В.С. Нестяк, И.Д. Кобяков, А.С. Союнов // Тракторы и сельхозмашины. – № 12. – 2012. – С. 32-33.

101. Никифоров М.В. Обоснование параметров и режимов работы выравнивателя-уплотнителя для предпосевной обработки почвы при возделывании мелкосеменных культур: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Никифоров М.В. // ФГБОУ ВО «Тверская ГСА», 2019. – 221 с.

102. Николаев В.А. Научное обоснование и разработка энергосберегающих технических средств обработки почвы: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Николаев В.А. // ФГБОУ ВО «Ярославская ГСА», 2011. – 43 с.

103. Новожилов А.И. Повышение эффективности механизированных технологических комплексов в растениеводстве с учётом сезонных условий их использования: дис....д-ра техн.наук: 05.20.01 / Новожилов А.И. // Пенза. ГСА - Нижний Новгород, м2011. - 378 с.

104. Пат. № 196181 Российская Федерация, МКИ В 60 В 15/00. Регулятор сцепного веса бороновального агрегата / Щитов С.В., Спириданчук Н.В., Кузнецов К.Е., Слепенков А.Е., Кривуца З.Ф., Марков С.Н., *заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. агр. университет.* - № 2019130426; заявл. 25.09.2019; опубл. 19.02.2020, Бюл. № 5.

105. Пат. № 2714436 Российская Федерация, МКИ В 60 В 15/00. Догружающе-корректирующее устройство для дискового луцильника / Щитов С.В., Спириданчук Н.В., Вторников А.С., Слепенков А.Е., Марков С.Н., // *заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. агр. университет.* - № 2018138427; заявл. 30.10.2018; опубл. 14.02.2020, Бюл. № 5.

106. Патент № 2780683 С1 Российская Федерация, МПК В60В 39/00, В62Д 53/04. Распределяюще-корректирующее тягово-сцепное устройство для полурамного трактора № 2022105575: заявл. 01.03.2022: опубл. 29.09.2022 / Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Леонов В.В. //; заявитель ФГБОУ ВО «ДальГАУ».

107. Патент № 2780711 С1 Российская Федерация, МПК В60В 39/00, В62Д 53/04, А01В 63/00. Буксирно-сцепное устройство с вертикальным регулированием № 2022106090: заявл. 05.03.2022: опубл. 29.09.2022 / Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Леонов В.В. //; заявитель ФГБОУ ВО «ДальГАУ».

108. Патент № 2782360 С1 Российская Федерация, МПК А01В 23/00, А01В 21/08, А01В 63/11. Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата № 2022104842: заявл. 22.02.2022 / Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Леонов В.В.//; ФГБОУ ВО «ДальГАУ», опубл. 26.10.2022.

109. Петрушко, И.М. Курс высшей математики. Теория вероятностей. Лекции и практикум: учебное пособие / И. М. Петрушко. – СПб.: Лань, 2008. – 352 с. 113.

110. Письменный, Д.Т. Конспект лекций по теории вероятностей и математической статистике – 2–е изд., испр. / Д. Т. Письменный. – М. Айрис–пресс, 2005. – 256 с.

111. Поликутина Е.С Результаты экспериментальных исследований по определению влияния устройства для перераспределения сцепного веса на

тяговые свойства и ходовую систему колёсного трактора / Е.С.Поликутина, Е.Е. Кузнецов, С.В.Щитов // Достижения науки и техники в АПК.-2015.-Т.29.№10.- С.95-98.

112. Поликутина Е.С. Повышение эффективности использования и снижение техногенного воздействия на почву средств механизации на полевых и транспортных работах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Поликутина Е.С. // ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ», 2017. – 133 с.

113. Поляков О.А. и др. Влияние эластичности шин на тяговые показатели колесных тракторов: Тезисы Кубанского НИИ по испытанию тракторов и сельскохозяйственных машин. - 1974.-Вып. 12.- С. 26-29.

114. Раймер У.Т. Обоснование технологии полосовой обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Раймер У.Т. // ФГБОУ ВО «Алтайский ГАУ», 2017. – 177 с.

115. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687136 Российская Федерация. Программа для определения воздействия тяжелой дисковой бороны на задние движители трактора с шарнирно-сочленённой рамой : № 2024686672 : заявл. 11.11.2024 : опубл. 14.11.2024 / В.В. Леонов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет».

116. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687808 Российская Федерация. Программа для определения воздействия тяжелой дисковой бороны на передние движители трактора с шарнирно-сочленённой рамой : № 2024686822 : заявл. 11.11.2024 : опубл. 21.11.2024 / В.В. Леонов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

117. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618203 Российская Федерация. Программа топливно-энергетического расчёта при экономическом анализе использования мобильного энергетического средства с устройствами для перераспределения сцепного веса на сельскохозяйственных работах : № 2022616624 : заявл. 12.04.2022 : опубл. 05.05.2022 / В. В. Леонов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет».

118. Севернев, М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев. – Л.:, 1972. – 288 с.

119. Селиванов, Н.И. Балластирование колесных тракторов на обработке почвы / Н.И. Селиванов, Ю.Н. Макеева // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 5. – С. 77–81.

120. Сенников, В.А. Повышение эффективности использования колёсных тракторов класса 1,4 в АПК / В.А.Сенников, Е.Е. Кузнецов, С.В.Щитов// Техника и оборудование для села.-2015.-№ 10.-С.16-18.

121. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М., Машиностроение, 1977. – 311 с.

122. Скотников В.А., Пономарев А.В., Климанов А.В. Проходимость машин/ В.А.Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. - Мн.: Наука и техника, 1982.- 328 с.

123. Слепенков А.Е. Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата при подготовке почвы под посев: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Слепенков А.Е. // ФГБОУ ВО «Дальневосточное ГАУ», 2021. – 178 с.

124. Слепенков А.Е. Повышение эффективности использования колёсного пропашного трактора при бороновании / Слепенков А.Е., Кузнецова О.А., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 206-210.

125. Слепенков А.Е. Расширение технологических характеристик бороновального агрегата / Слепенков А.Е., Кулинченко С.Н., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. // Технический сервис машин. 2021. № 1 (142). С. 83-88.
126. Сметнев, С.Д. Транспортное обслуживание агропромышленного комплекса/ С.Д. Сметнев, Н.Е. Евтушенков// Автомобильный транспорт. - 1989. - №8. – С.14-18.
127. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин. - М.: Машиностроение, 1981.-270 с.
128. Сохт, К.А. Дисковые бороны и лушильники. Проектирование технологических параметров / К.А. Сохт и др. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. – 164 с.
129. Союнов А.С. Обоснование параметров дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий / А.С. Союнов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск. – 2011. – С. 19.
130. Союнов А.С. Рабочий процесс дискового почвообрабатывающего орудия / А.С. Союнов, Е.В. Демчук // Международный научно-исследовательский журнал.- 2014. - №10 (29) . - URL: <https://research-journal.org/archive/10-29-2014-october/ef-bb-bfrabochij-process-diskovogo-pochvoobrabatyvayushhego-orudiya> (дата обращения: 07.02.2025).
131. Старовойт С.И. Обоснование параметров почвообрабатывающих рабочих органов для обработки суглинистых почв: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Старовойт С.И. // ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ», 2018. – 44 с.
132. Теличкина Н.А. Обоснование параметров комбинированного культиватора с тросовым и катковым рабочими органами для предпосевной обработки почвы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Теличкина Н.А. // ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ», 2018. – 153 с.

133. Трепененков, И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов/ И.И.Трепенков. – М.: Машгиз, 1963.-224 с.
134. Трубилин, Е. И. Рабочие органы дисковых борон и луцильников / Е. И. Трубилин, К. А. Сохт, и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 91. – С. 752-771. – EDN RKNLAD.
135. Филоненко, И.А. Об использовании оптимального транспорта в совхозах Саратовской области/ И.А. Филоненко// Сб.науч. тр СИМСХ. - Саратов, 1968. – вып.41. – С.126-132.
136. Цыпук, А.М. Обоснование динамической составляющей к рациональной формуле академика В.П. Горячкина / А.М. Цыпук // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2018. –Т. 6, № 4(40).–С.219-223.
137. Щитов, С.В. Пути повышения агротехнической проходимости колёсных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока: дис...д-ра техн. наук: 05.20.01. Благовещенск, 2009.- 325 с.
138. Щитов, С.В. Пути повышения эффективности использования колесных тракторов класса 1,4 в условиях Амурской области: монография / С.В. Щитов, И.А. Архипов и др. – Благовещенск: ДальГАУ, 2008. – 268 с.
139. Skornyakov E., Kvasha E., Tatalin B., Rusanov V. (Dnepropetrovsk, Moscow). New Conception of design and manufacture of ENVIRONMENT – protective properties tires and efficiency of there application// INTERNATIONAL CONFERENCE “SOIL COMPACTION AND SOIL NAMAGEMENT.” TALLIN, ESTONIA, 8-12 JUNE, 1992.-P. 16-19
140. Soane B.D. The ground pressure of wheels and tracks //Power Farm., 1970.- V.44.- N 4.- P. 40...44.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2780683**Распределяюще-корректирующее тягово-сцепное устройство для полумрамного трактора**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей Васильевич (RU), Шуравин Александр Александрович (RU), Леонов Владимир Викторович (RU), Кушнарев Алексей Николаевич (RU), Панова Елена Владимировна (RU)*

Заявка № 2022105575

Приоритет изобретения 01 марта 2022 г.

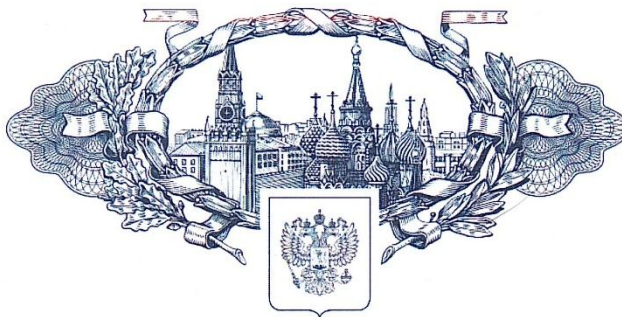
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 29 сентября 2022 г.Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 01 марта 2042 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b80077e14e40f0a94edbd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 2.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2780711

Буксирно-цепное устройство с вертикальным регулированием

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей Васильевич (RU), Шуравин Александр Александрович (RU), Леонов Владимир Викторович (RU), Кушнарев Алексей Николаевич (RU), Кузнецов Константин Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2022106090

Приоритет изобретения 05 марта 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 29 сентября 2022 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 05 марта 2042 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b80077e14e40f0a94ebdd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 20.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 782 360** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
A01B 23/00 (2006.01)
A01B 21/08 (2006.01)
A01B 63/11 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 23/00 (2022.08); A01B 21/08 (2022.08); A01B 63/11 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022104842, 22.02.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.02.2022

Дата регистрации:
26.10.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 22.02.2022

(45) Опубликовано: 26.10.2022 Бюл. № 30

Адрес для переписки:
675000, г. Благовещенск, ул. Политехническая,
86, федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Дальневосточный
государственный аграрный университет"

(72) Автор(ы):
Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU),
Щитов Сергей Васильевич (RU),
Леонов Владимир Викторович (RU),
Кушнарев Алексей Николаевич (RU),
Кислов Алексей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Дальневосточный
государственный аграрный университет"
(ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 196181 U1, 19.02.2020. RU 155845
U1, 20.10.2015. RU 2659349 C1, 29.06.2018. US
2413807 A, 07.01.1947.

(54) Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельскохозяйственного машиностроения. Устройство содержит гибкую тросовую силовую связь, установочные кронштейны. Устройство изготовлено в виде комплекта, 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-ролика (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). Обеспечивается увеличение тягово-сцепных свойств и стабилизация ходовой системы бороновального машинно-тракторного агрегата в движении, снижение массы, металлоемкости конструкции агрегируемой сельскохозяйственной машины, улучшение качества и глубины почвенной обработки бороной дисковой тяжелой, удобство в эксплуатации агрегата. 5 ил.

RU 2 782 360 C1

RU 2 782 360 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022618203

**Программа топливно-энергетического расчёта при
экономическом анализе использования мобильного
энергетического средства с устройствами для
перераспределения сцепного веса на сельскохозяйственных
работах**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный
государственный аграрный университет» (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей Васильевич
(RU), Леонов Владимир Викторович (RU), Шуравин Александр
Александрович (RU), Кузнецов Константин Евгеньевич (RU),
Пономарев Николай Вениаминович (RU)*

Заявка № 2022616624

Дата поступления 12 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 мая 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024687136

**Программа для определения воздействия тяжелой
дисковой бороны на задние движители трактора с
шарнирно-сочленённой рамой**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный аграрный университет»
(RU)*

Авторы: *Щитов Сергей Васильевич (RU), Кривуца Зоя Федоровна
(RU), Поликутина Елена Сергеевна (RU), Кузнецова Анастасия
Андреевна (RU), Митрохина Олеся Павловна (RU), Леонов
Владимир Викторович (RU)*



Заявка № 2024686672

Дата поступления 11 ноября 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 14 ноября 2024 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0692e761a6300b154f2401670b5ca2026

Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**

Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024687808

**Программа для определения воздействия тяжелой
дисковой бороны на передние движители трактора с
шарнирно-сочленённой рамой**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ» (RU)*

Авторы: *Щитов Сергей Васильевич (RU), Кривуца Зоя Федоровна
(RU), Поликутина Елена Сергеевна (RU), Кузнецова Анастасия
Андреевна (RU), Кидяева Наталья Петровна (RU), Леонов
Владимир Викторович (RU)*

Заявка № **2024686822**

Дата поступления **11 ноября 2024 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **21 ноября 2024 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0692e761a6300b154f2401670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты внедрения результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ»

Дир. — П. В. Тихончук

2024 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации



Кузнецова А.А.

2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и
технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточного
государственного аграрного университета д.т.н., доцент Воякин С.Н.,
начальник НИЧ Муратов А.А., аспирант Леонов В.В.

и представители ООО Союз: директор Кузнецова А.А.,
управляющий Бендарев А.С.

составили настоящий акт о том, что в период 2022-2024 г.г. в
результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Повышение эффективности использования тракторов с шарнирно-
сочлененной рамой при работе с дисковыми боронами
в процессе внедрения были выполнены следующие работы: Опытное
внедрение БМТА в составе К-401 и БЭТ-4 с
корректиром - распределителем сеяного веса.

экономический эффект составил при обработке почвы
на поле площадью 100 га - 16865 руб.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов:

Рекомендовать использовать в технологии
растения водства организаций

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

Муратов А.А.
Воякин С.Н.
Леонов В.В.

Представители предприятия

Бендарев А.С.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ»П.В.Тихончук2014 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

2014 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и
технологических работМы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Дальневосточный
государственный аграрный университет» д.т.н, доцент Водина С.Н.,
начальник НИУ Мурашов А.А., аспирант Леонов В.В.и представители КРХ: Мухомин С.А., Ковалев С.В.составили настоящий акт о том, что в период 2012-2015 г.г. в
результате проведения научно-исследовательских работ по теме:Повышение эффективности использования бороздочных и
шарнирно-сочлененной рамы при работе с дисковыми боронами
в процессе внедрения в производство были выполнены следующие работы:Графическое моделирование и изготовление БДТА в корпусе
К-401 и БДТ-4 серийного бороздочного БДТА с корридорами - ра-
пределителями ширины хода. Опытное внедрение БДТА с
устройством.экономический эффект которых составил при бороздочной почве на
паше площадью 100-га - 45328 руб.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов:

Рекомендовать использовать устройство в механизации
рабочих процессов организацииПредставители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУМурашов А.А.
Водина С.Н.
Леонов В.В.

Представители предприятия

Ковалев С.В.