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

На правах рукописи

Марков Сергей Николаевич

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УБОРОЧНЫХ РАБОТ

Специальность
05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель-
доктор технических наук, доцент
Кузнецов Е.Е.

Благовещенск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……... 5

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. АКТУАЛЬНОСТЬ И НАПРАВЛЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ…… 11

1.1 Особенности естественно-производственных условий Дальневосточного региона Российской Федерации и их влияние на использование автомобилей в агропромышленном комплексе… 11

1.2 Обзор современного состояния механизации и перспектив применения грузового транспорта в сельском хозяйстве области… 17

1.3 Анализ способов повышения эффективности использования колесных грузовых автомобилей на транспортных работах……. 23

1.4 Выводы по главе……. 30

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОВОДИМЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ……. 31

2.1 Методическое обоснование транспортно-технологического обеспечения уборочного процесса……... 31

2.1.1 Коэффициент эффективности уборочного процесса при повышении тягово-сцепных свойств автомобиля……... 33

2.1.2 Коэффициент эффективности уборочного процесса при использовании прицепов – перегружателей…… 36

2.1.3 Коэффициент эффективности уборочного процесса при использовании прицепов, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов»…… 37

2.2 Разработка и исследование способа повышения тягово – сцепных свойств автомобиля…… 38

2.3 Обоснование способов снижения нормального давления на почву ходовой системы автопоезда……. 47

2.3.1 Увеличение площади контакта движения с почвой……... 47

2.3.2	Определение объёма почвенных масс, заключённых между грунтозацепами колесного движителя…….	50
2.4	Исследования по определению эффективности транспортно – технологического обеспечения уборочных работ……..	53
2.5	Вывод по главе……...	56
3	МЕТОДИКА, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ……	57
3.1	Общая методика проведения и задачи экспериментальных исследований……	57
3.2	Объекты и условия проведения экспериментальных исследований	58
3.3	Применённые средств измерений экспериментальных параметров	68
3.4.1	Определение расхода топлива……..	70
3.4.2	Измерение частоты вращения ведущего колеса транспортного средства……...	71
3.4.3	Измерение пройденного пути и буксование транспортного средства……...	72
3.4.4	Измерение перераспределяемой нагрузки на движители транспортного средства…….	72
3.5	Измерение угла наклона…….....	76
3.6	Измерение массы транспортного средства и массы перевозимого груза…….	78
3.7	Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний...	78
3.8	Методика проведения физико – механических характеристик почвы……...	79
3.8.1	Определение влажности почвы……	80
3.8.2	Измерение глубины колеи…….	80
3.9	Определение тягового сопротивления буксируемого прицепа…….	81
3.10	Методика математической обработки экспериментальных данных	83

3.10.1 Оценка точности измерений……. 83

3.10.2 Статистическая обработка экспериментальных данных…… 85

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ….. 88

4.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению веса в ходовой системе автопоезда……... 88

4.1.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению веса между мостами автомобиля……... 88

4.1.2 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению сцепного веса между передним и задним мостом прицепа…….. 101

4.2 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния догружающего модуля для грузового автомобиля на коэффициент сцепного веса…….. 108

4.3 Результаты по определению воздействия движителей автомобиля на почву……... 110

4.4 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний……. 113

4.5 Выводы по главе……. 116

5 ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ…… 118

5.1 Топливно-энергетическая оценка проведённых исследований 118

ВЫВОДЫ…….. 123

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…… 125

ПРИЛОЖЕНИЯ…… 139

ВВЕДЕНИЕ

Проблема соблюдения сроков уборки и транспортировки урожая особенно актуальна в тех регионах, где своевременность вывоза во многом зависит от природно-климатических условий, при этом немалую роль играют и технические возможности товаропроизводителей, а именно их оснащенность мобильными транспортно-энергетическими средствами (ТЭС), под которыми понимаются автомобили, участвующие в транспортно-технологическом обеспечении агропромышленного комплекса.

Используемые в настоящий момент многоцелевые автомобили высокой грузоподъёмности семейства КамАЗ, обладая рядом преимуществ, имеют один существенных недостаток- это невысокие тягово-сцепные характеристики при передвижении по почвам с низкой несущей способностью. Учитывая, что технологический процесс, связанный с транспортировкой сельскохозяйственных культур, должен быть постоянным и выполняться вне зависимости от ограничения возможностей техники, важным становится изыскание способов решения обозначенной проблемы с наименьшими финансовыми затратами при большей эффективности. Одним из рациональных способов является повышение тягово-сцепных свойств при снижении нормального давления на почву, использование ТЭС в составе автопоезда с одновременным использованием корректирующих сцепной вес устройств в его конструкции.

В связи с чем основным назначением данной работы является проведение исследований, направленных на улучшение процесса транспортного обеспечения и гарантировании своевременного вывоза полученного урожая с полей при помощи высокопроходимых среднетоннажных автомобилей семейства Камского автомобильного завода КамАЗ.

Актуальность исследований обоснована необходимостью совершенствования процесса вывоза урожая с полей за счет рационального использования имеющихся мобильных транспортно-энергетических средств при совершенствовании их ходовой системы, условий реализации тягово-сцепных

свойств и снижении времени комплектования агрегата в полевых условия при вывозе урожая с полей.

В связи с чем была выдвинута научная гипотеза- добиться улучшения условий реализации тягово-сцепных свойств автомобиля и повышения эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочных работ возможно за счёт использования арочных автошин и установки дополнительных перераспределяющих устройств, способных провести догружение его ходовой системы в движении.

Для проверки предложенной гипотезы, проведения теоретического обоснования и производственной апробации сформулирована **цель исследования**- повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочных работ за счёт использования высокопроходимых среднетоннажных автомобилей (ВСА) на арочных шинах и устройств перераспределения сцепного веса. И определены следующие задачи научной работы:

-Изучить влияние климатических и производственных условий на нормальную эксплуатацию ВСА в Амурской области

-Определить возможности и способы повышения эффективности ВСА в условиях вывоза урожая с полей при низкой несущей способности почвы;

-Теоретически обосновать и экспериментально проверить процессы перераспределения вертикальных нагрузок, возникающие в схеме транспортного агрегата на арочных шинах при использовании догружающего модуля для грузового автомобиля;

-Провести сравнительные хозяйственные испытания и установить влияние ходовой системы транспортных агрегатов на почву;

-Дать топливно-энергетическую и экономическую оценку проведенных исследований.

Объект исследований. Технологический агрегат в составе ВСА с установленными арочными шинами, догружающе-перераспределяющим устройством и прицепом при выполнении транспортной операции.

Предмет исследований. Причины и закономерности повышения эффективного использования автотранспортного агрегата при использовании на уборке и транспортировке урожая в условиях низкой несущей способности почвы.

Научная новизна работы заключается в расширении сферы использования имеющихся, наименее эксплуатационно-затратных и обладающих меньшей стоимостью ВСА, обосновании причин и закономерностей в изучении процесса перераспределения сцепного веса при его корректировании догружающе-перераспределяющим устройством в ходе выполнения транспортной операции.

Получены аналитические выражения, позволяющие описать параметры воздействия предлагаемого устройства на перераспределение сцепного веса между прицепом и ходовой системой ВСА. Установлено влияние перераспределения сцепного веса на эффективность работы ВСА при выполнении работ транспортно-технологического обеспечения в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Новизна предложенных математических выражений, программ и технических решений подтверждена патентами РФ на интеллектуальную собственность и программой для ЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработаны и экспериментально проверены новые подходы, обосновывающие применение способов перераспределения сцепного веса и его корректирование при помощи устройства, смонтированного на раме автомобиля, на эффективность его использования и режимно-технологические параметры транспортного агрегата.

Установлено, что использование транспортного агрегата с предлагаемым устройством повышает тягово-сцепные свойства и позволяет регулировать нагрузку на движители при использовании на вывозе урожая в условиях низкой несущей способности почвы. Полученные экспериментальные зависимости дают возможность сократить затраты времени и материальных средств при конструировании, изготовлении, внедрении, совершенствовании и доработке серийных автомобилей и автопоездов.

Предложения по уточнению теории использования автомобиля на арочных шинах и с изменяющимся сцепным весом при корректировании вертикальной

нагрузки в технологии возделывания сельскохозяйственных культур внедрены и 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. Материалы исследований внедрены и используются в технологии растениеводства, применяемой ООО «СОЮЗ» Серышевского района, КФХ Бондаренко Н.А. Свободненского района, ООО «АгроСевер-3» Шимановского района, ОАО «Димское» Тамбовского района Амурской области.

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

Теоретические исследования по повышению эффективности использования автомобилей в технологии возделывания сельскохозяйственных культур проведены на основе использования методов теоретической и прикладной механики. В исследованиях использован математический аппарат линейного программирования, дифференциального и интегрального исчисления. Экспериментальные исследования проведены в реальных условиях производственной эксплуатации, полученные данные обработаны в соответствии с современными методами теории вероятностей, математической статистики и планирования экспериментальных исследований с применением специализированных компьютерных программных продуктов «Sigma Plot 11.0», «Mathcad» и «Компас 3DV18».

Основные положения, выносимые на защиту:

– способ повышения тягово-сцепных свойств и регулирования вертикальной нагрузки на движители при использовании на почвах с низкой несущей способностью;

– аналитические зависимости, позволяющие выявить влияние предлагаемых устройств на тягово-сцепные свойства и технологические параметры автопоезда;

– математические зависимости по определению влияния корректирующих устройств на производительность автопоезда.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных данных подтверждается сходимостью теоретических обоснований и экспериментальных показателей, определенных в реальных производственных условиях использования автомобилей и автопоездов в сельском хозяйстве Амурской области.

Результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на тематических научных конференциях ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ (2017 - 2021 гг.), национальных и международных научно-практических конференциях: научной конференции с международным участием «Современные проблемы науки» (Благовещенск, 2017 г.*),* «Актуальные вопросы развития науки в мире» *(*Москва, 2019 г.*),«*Актуальные вопросы развития науки в мире» *(*Москва, 2020 г.), «Стратегии устойчивого развития мировой науки»*(*Москва, 2020 г.), «Интеграция науки в современном мире»*(*Москва, 2020 г.),«Теоретические и практические вопросы современной науки» *(*Москва, 2020 г.), «Наука и современность» (Москва, 2021 г.), а также 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.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в сборниках национальных и международных научно-практических конференций, научных трудов ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК РФ): «Сельский механизатор»; АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал; «Известия Оренбургского государственного аграрного университета»; «Известия Международной академии аграрного образования», «Интеллект. Инновации. Инвестиции».

Всего по теме диссертации опубликовано 28 работ, в том числе 14 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, получено 3 патента на объекты интеллектуальной собственности, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы, состоящего из 127 наименований, в том числе 14 на иностранном языке и приложений. Общий объём работы составляет 146 с., содержит 76 рисунков, 8 таблиц.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. АКТУАЛЬНОСТЬ И НАПРАВЛЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Особенности природно-климатических условий Амурской области и направления повышения эффективности агропромышленного комплекса

Амурская область по итогам 2021 года заняла первое место по объёму сельхозпродукции среди всех субъектов Дальнего Востока[6].

В январе -ноябре 2021 г. в хозяйствах всех категорий производство продукции сельского хозяйства в текущих ценах составило 23,7 млрд. рублей, или в сопоставимых ценах 95,6% к уровню января-ноября 2020 г. В сельскохозяйственных организациях произведено продукции на 19,8 млрд. рублей, или в сопоставимых ценах 96,6% к уровню соответствующего периода предыдущего года [109].

Сегодня в Амурской области значительная часть плодородных земель используется под выращивание сои (рисунок 1.1) [6].

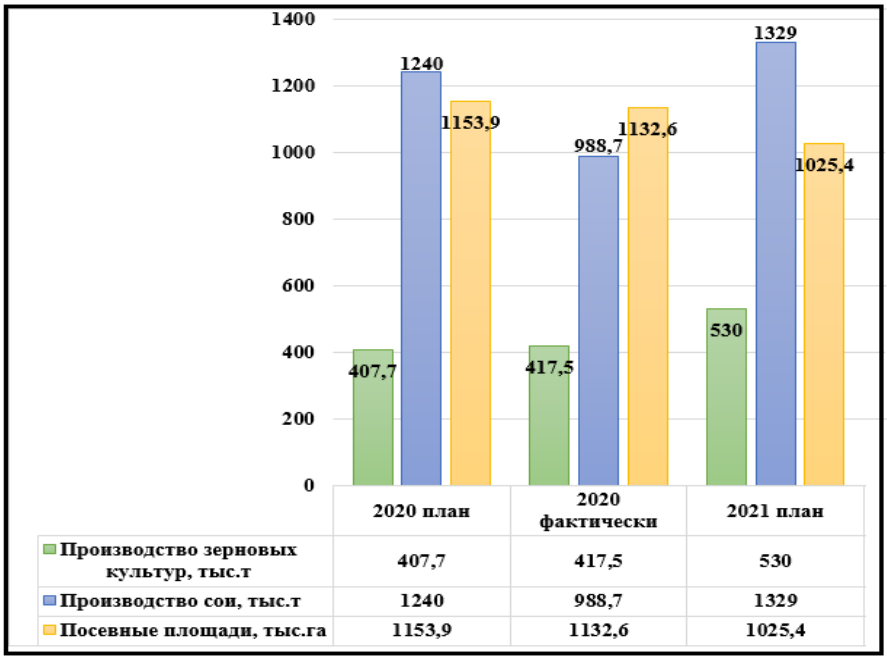


Рисунок 1.1-Основные показатели, плановые ориентиры и динамика производства основных культур агропромышленного комплекса Амурской области

Посевные площади сои, по данным Росстата, в 2021 году в России составили 3071 тыс. га. За последние 5 лет они увеличились на 37,3% (на 834 тыс. га). Амурская область занимает лидирующее место в производстве сои, удельный вес среди всех регионов России составляет 23,9%. Именно эта культура сегодня дает самую высокую прибыль региону[6].

Климат Амурской области переходный, от резко-континентального на северо-западе к муссонному на юго-востоке. Формирование такого климата обусловлено взаимодействием солнечной радиации, циркуляции воздушных масс и следующих географических факторов: широтное положение, удалённость территории от моря, влияние подстилающей поверхности в виде рельефа, растительности, наличия водных объектов большого объёма.

Климат, прежде всего, характеризуют показатели температуры самого холодного и самого тёплого месяцев. Температура воздуха самого холодного месяца – января, падает от минус 24°С в южных до минус 46°С в северо-западных частях области. Самая низкая температура, наблюдавшаяся в отдельные дни, достигала минус 60°С в северо-западных районах (рисунок 1.2).

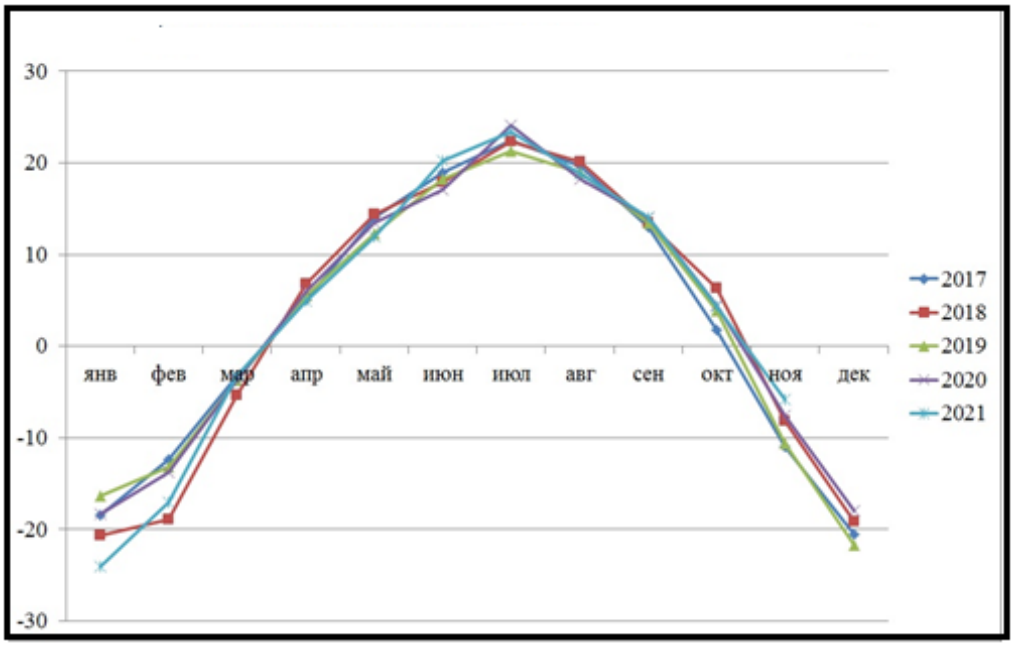


Рисунок 1.2 – Средние месячные температуры южной сельскохозяйственной зоны по годам

Обычно устойчивый снеговой покров появляется на протяжении октября,

надвигаясь с севера и севера-востока. Продолжительность его меняется от 147 дней на юге (Благовещенск) до 200-216 дней на севере. В конце марта снег начинает исчезать в южных районах, а к 25 апреля сходит совсем.

Снег в период уборки не удивление для Амурской области. Часто он блокирует уборочные мероприятия, увеличивая потери урожая. Вынужденный простой восполняют круглосуточной работой в последующий период.

Лето на юге области очень тёплое с достаточным или избыточным увлажнением. Здесь проходят июльские изотермы от 20 °С до 24 °С. Тёплым бывает лето и в межгорных долинах севера, где июльские температуры поднимаются до 16—19 °С. В горных районах температура с высотой достигает 12 °С. Средние абсолютные максимумы температуры на севере области могут достигать 38 °С, а на юге до 42 °С[76].

Годовое количество осадков в области велико: в северо-восточных горных и восточных районах их величина составляет от 900 до 1000 мм. В районах, близких Амуру и нижнему течению реки Зеи, осадков выпадает меньше. В районе Благовещенска — до 300 мм, нередки продолжительные паводки, рисунок 1.3.

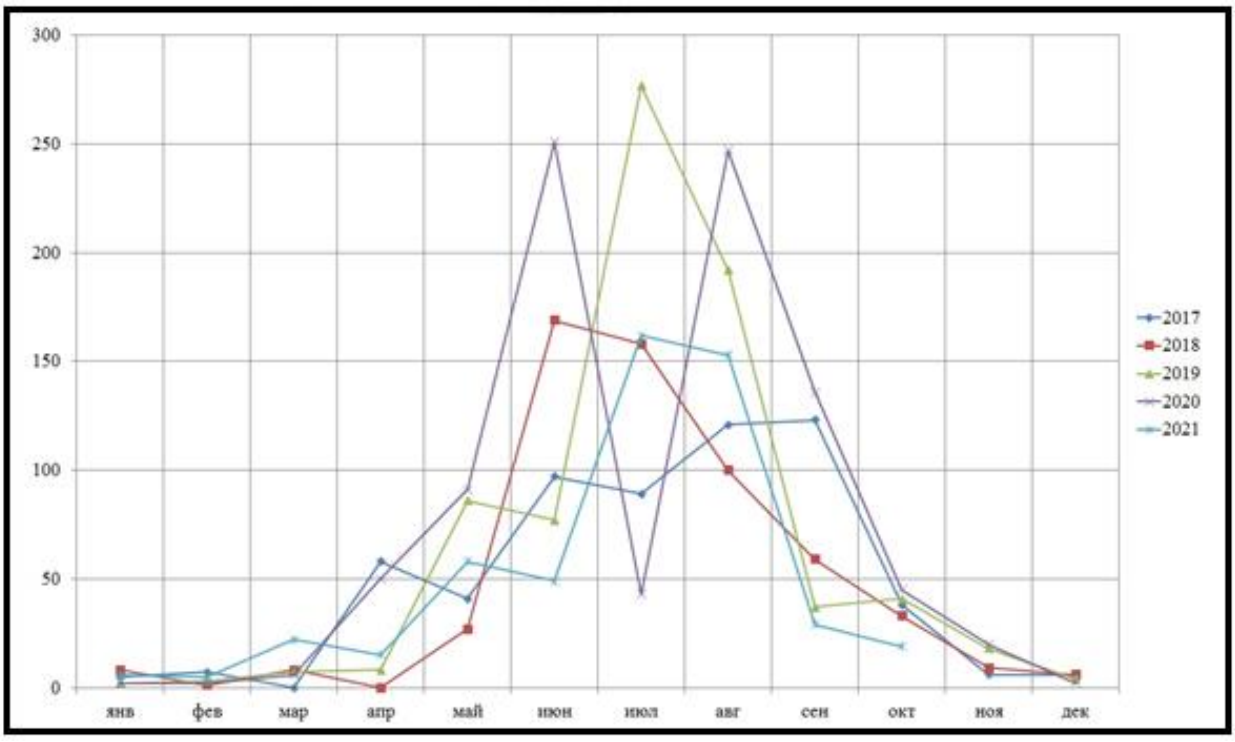


Рисунок 1.3 – Средние ежемесячные суммы осадков южной сельскохозяйственной зоны по годам

Для всей области характерен летний максимум осадков, что обусловлено муссоностью климата. За июнь, июль и август может выпадать до 70 % годовой нормы осадков. Хотя возможны колебания в выпадении осадков. Так, летом с возрастанием испарения увеличивается абсолютная и относительная влажность, а весной из-за сухости воздуха снежный покров большей частью испаряется, и следствием этого становится незначительный весенний подъём уровня воды в реках.

Уборка урожая является завершающим этапом полевых работ, связанных с возделыванием сельскохозяйственных культур. От своевременного и качественного её проведения во многом зависит объём полученной продукции. Это особенно актуально для тех регионов, в которых уборка проходит при неблагоприятных условиях, осложняемых переувлажнением или засухой, так как увеличение сроков уборки увеличивает потери зерновой части[88,96].

В условиях Амурской области уборка урожая, в частности зернобобовых культур, проходит в период, когда наблюдается выпадение большого количества осадков в виде дождя или дождя со снегом. Поверхностное переувлажнение снижает проходимость колёсных энергетических средств, задействованных на перевозке урожая с полей. При этом необходимо отметить, что в настоящее время в хозяйствах ощущается острая нехватка колёсных энергетических средств высокой проходимости, способных выполнять возложенные на них обязанности по транспортировке сельскохозяйственных грузов с использованием прицепов[15].

Это в конечном итоге снижает эффективность использования автомобильного транспорта, увеличивая в целом затраты, транспортные расходы и себестоимость сельскохозяйственной продукции.

Учитывая, что основой продовольственной независимости государства является успешное и эффективное аграрное производство, а также данные экспорта сельскохозяйственной продукции за 2020-2021 год, полученные с сайта Федерального таможенного комитета России (рисунок 1.4), можно сделать вывод

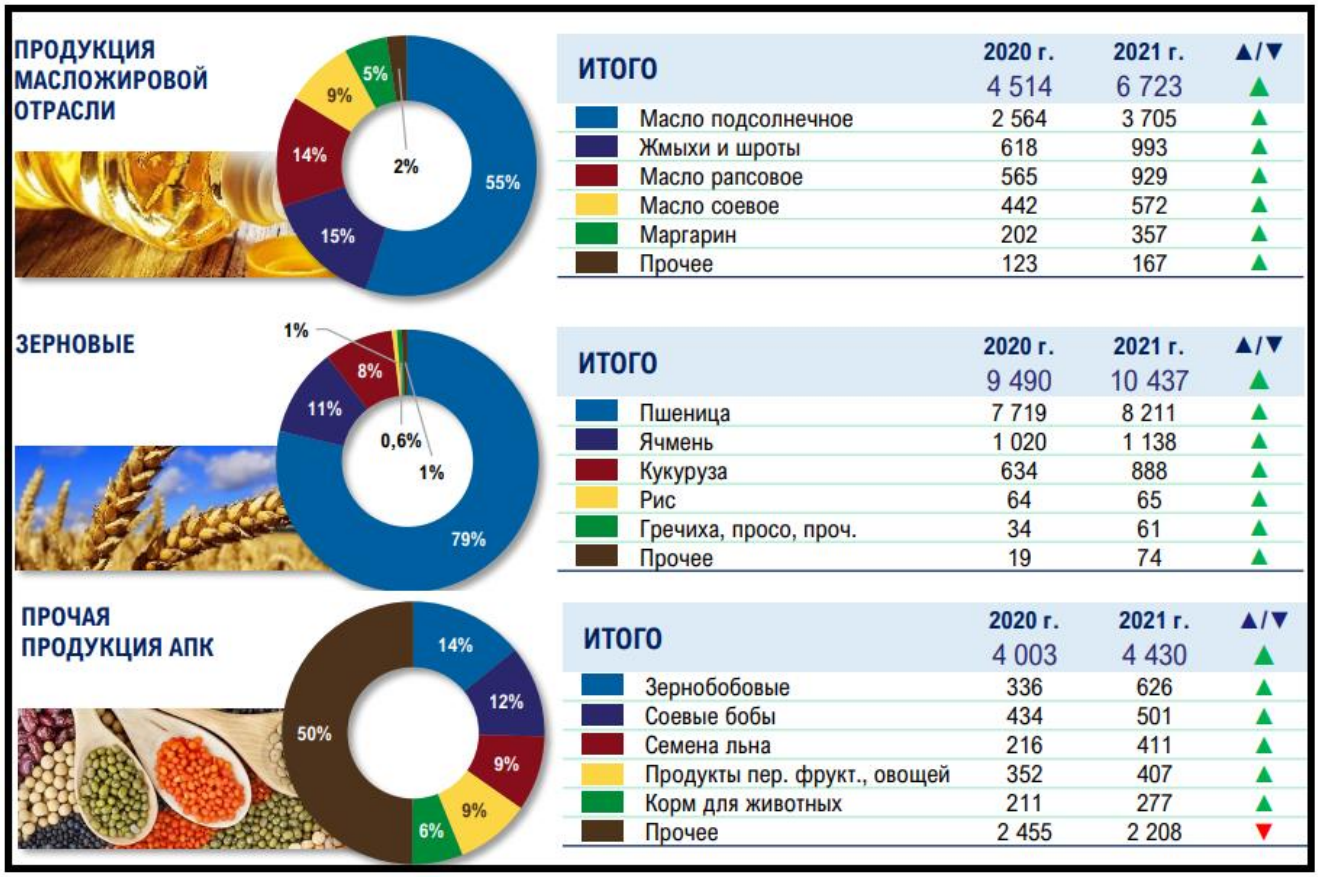


Рисунок 1.4- Структура экспорта Российской Федерации в период 2020-2021 г.г.(млн.долл)

ПО ВИДАМ ПРОДУКЦИИ	ЭКСПОРТ НА 19.12, МЛН ДОЛЛ. США			СР. ЦЕНА, ДОЛЛ. США/ТОННА		
	2020 г.	2021 г.	%	2020 г.	2021 г.	%
Продукция масложировой отрасли	4 514	6 723	+49%	598	945	+58%
Зерновые	9 490	10 437	+10%	206	263	+28%
Рыба и морепродукты	5 108	6 560	+28%	2 375	3 432	+45%
Мясная и молочная продукция	1 105	1 441	+30%	1 657	2 026	+22%
Продукция пищ. и пер. пром-ти	4 069	4 589	+13%	479	867	+81%
Прочая продукция АПК	4 003	4 430	+11%	455	585	+28%
Общий итог	**28 290**	**34 179**	**+21%**	**384**	**549**	**+43%**

Рисунок 1.5- Структура экспорта продукции Российской Федерации в период 2020-2021

о том, что экспорт продукции АПК России неуклонно растёт, что накладывает дополнительные обязательства на региональных производителей по достижению максимальной эффективности производства[72,73]. Вместе с тем, учитывая земельные запасы пашни [93] (рисунок 1.6) , в сравнении с обрабатываемыми землями (рисунок 1.1),

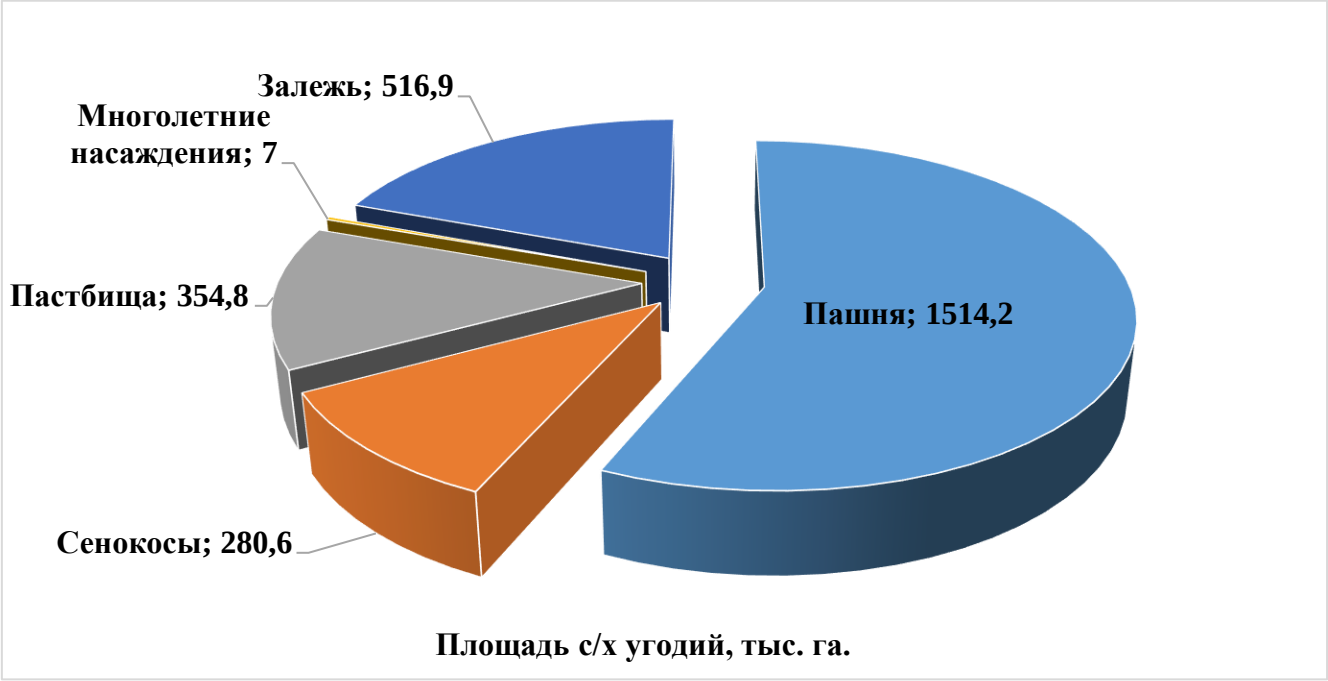


Рисунок 1.6 – Структура сельскохозяйственных угодий Амурской области (на 2019 год)

можно сделать обоснованный вывод о том, что область имеет достаточный ресурс (в пределах 480 тыс.га без учёта пастбищных земель и залежи) по расширению сельскохозяйственного производства и достижению более значимых показателей валовой продукции[76]. Чего возможно достичь при своевременном и современном обновлении парка сельскохозяйственной техники и максимально эффективном транспортном обеспечении требований АПК.

1.2 Обзор современного состояния средств механизации и перспектив применения грузового транспорта в сельском хозяйстве области

В современных экономических условиях технологии, энергетические средства и машины, применяемые и рекомендуемые сельскохозяйственному производству, весьма энергоёмкие, металлоёмкие и многооперационные, направлены на обработку больших посевных площадей с высокой длиной гона, адаптированы для низковлажных почв и благоприятных климатических условий.

Наряду с этим в хозяйствах области наблюдается и интенсивное использование устаревших машин, что при высоких материальных затратах на поддержание их в работоспособном состоянии, приводит к увеличению себестоимости продукции сельского хозяйства для конечного потребителя.

В исследуемом регионе, для решения транспортных задач, связанных с доставкой сельскохозяйственных грузов используется как стандартизованные автомобили, так специализированная сельскохозяйственная техника с прицепными системами, в основном со сроками эксплуатации более 10 лет.

К транспортным работам в сельскохозяйственном производстве относятся: транспортировка минеральных и органических удобрений, подвозка семян и гербицидов, транспортировка урожая и т. д. Вместе с тем, транспортные средства, используемые в сельскохозяйственном производстве для перевозки грузов существенно отличаются от средств транспорта, используемых в других отраслях, что вызвано рядом специфических особенностей – разнообразием перевозимых грузов, сезонностью работ, срочностью, габаритностью и прочими факторами.

Производственными наблюдениями установлено, что основной объем грузоперевозок в области выполняется в весенне-осенний период (рисунок 1.7),

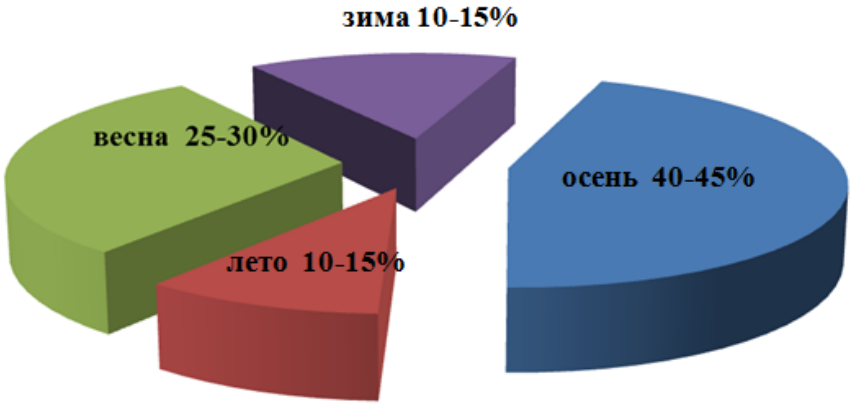


Рисунок 1.7- Распределение объёма грузоперевозок в зависимости от сезонности

и для его выполнения необходимо использовать весь имеющийся потенциал наличных транспортных средств и прицепных мощностей[17].

Для того, чтобы оптимизировать процесс работы с сельскохозяйственной продукцией при ее перевозке используются не только одиночные автомобили, но и сельскохозяйственные прицепы, которые имеют адаптированную для таких целей конструкцию. Прицепы такого типа предназначены для транспортировки кормов, зерновых и овощных культур, животных и птиц, удобрений, силоса и прочих сыпучих материалов. Существуют различные варианты сельскохозяйственных прицепов: тентованные, бортовые, герметичные, самосвальные, для перевозки животных и птицы. Особым спросом пользуются универсальные сельскохозяйственные прицепы, которые могут работать в паре с грузовым автомобилем или трактором.

Прицепы для перевозки зерновых и сельскохозяйственных культур различаются по форме и объему кузова, способу разгрузки, количеству осей. Обычно кузов подобной техники имеет прямоугольную форму и изготавливается из профилированных стальных листов и алюминиевых профилей. За счет небольшого собственного веса прицепы-зерновозы обладают большой грузоподъемностью до 35 тонн и объёмом до 92 кубических метров, оснащаются стационарно закрепленными бортами, а также могут иметь специальный тент с системой быстрой натяжки для защиты груза от грязи и

пыли. Различают прицепы, полуприцепы-зерновозы с задней и боковой разгрузками [1,109].

В последнее время работе автомобиля с прицепом в составе автопоезда уделяется всё большее значение, так эти агрегаты наиболее эффективны и производительны.

По данным открытых источников установлено, что продажи новых прицепов и полуприцепов в январе-мае 2021 г. составили 15,26 тыс. ед., что на 40,3% больше результата аналогичного периода прошедшего года (АППГ). При этом рынок новой прицепной техники показал рост на 34,3% и относительно января-мая 2019 г. [1]

В мае 2021 г. продажи новых прицепов выросли на 67,7% по отношению к маю 2020 г. и составили 3,15 тыс. ед. При этом рынок новой прицепной техники показал рост на 47,9% относительно мая 2019 г.
На рынке прицепов и полуприцепов России лидером продажи прицепов является концерн SCHMITZ. В мае продажи прицепов SCHMITZ выросли на 157,7% и составили 0,40 тыс. ед. За ним следуют прицепы ТОНАР, продажи которых в мае 2021 г. увеличились на 3,7% до 0,37 тыс. ед. Третье место занял KRONE, который реализовал 0,34 тыс. ед. прицепной техники (+512,7% к АППГ). Данные обзора представлены на рисунке 1.8

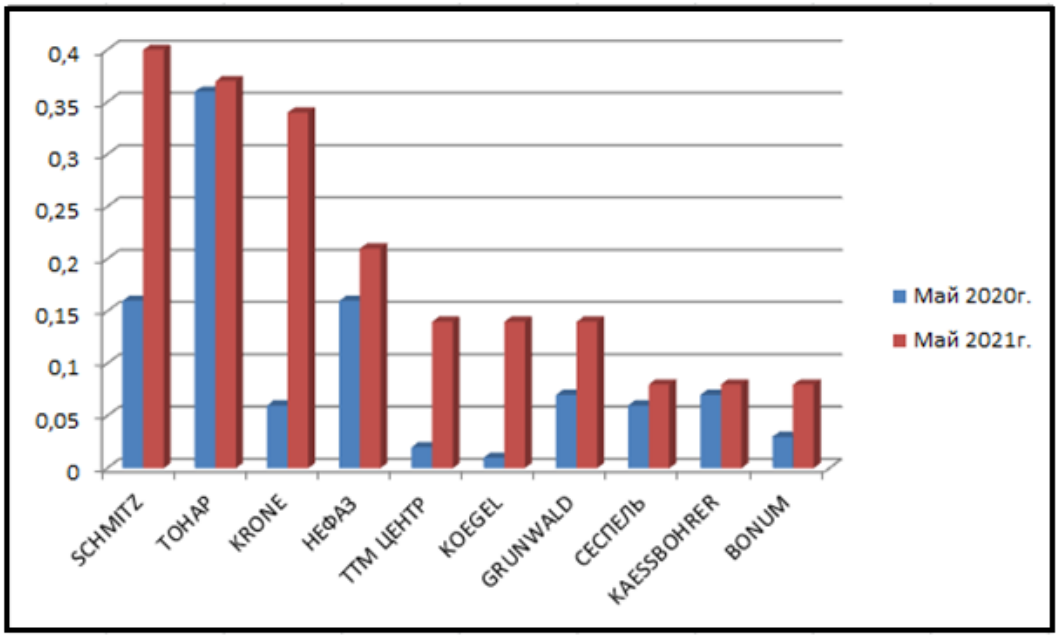


Рисунок 1.8- Сравнительные результаты продажи новых прицепов за май 2020-2021 г.г.

По приведенным данным анализа рынка техники видна значительная динамика роста количества прицепов по сравнению с предыдущим годом. В связи с чем вопрос повышения эффективности использования прицепных систем и автопоездов является перспективным и актуальным на современном этапе развития агропромышленного комплекса Российской Федерации[106].

Как отмечалось ранее, особо важная роль в технологии растениеводства отводится именно вывозу урожая с поля. Так как при этой операции задействуется максимально большая часть автомобильного парка.

Однако, в условиях климата Амурской области, повсеместно возникают проблемы с использованием автомобильной техники по причине застревания колёсных движителей в почвах с низкой несущей способностью и невозможности передвижения многоцелевых автомобилей без оказания буксирной помощи тракторами. В связи с чем хозяйства вынуждены для перевозки прицепов с урожаем использовать тракторы, что является малоэффективным из-за их низкой рабочей скорости[112].

Снижение несущей способности почвы в период уборки является причиной простоя основного автомобильного парка предприятия или использования его только на межхозяйственных перевозках, что немаловажно для небольших организаций-сельхозтоваропроизводителей, в частности крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ), имеющих как правило всего несколько единиц автомобильной техники.

В связи с действующими программами по реновации и развитию сельскохозяйственного производства Российской Федерации, в определённой степени финансируемыми или субсидируемыми Правительством государства[87], с начала 2021 года российские перевозчики активно приобретают новую технику, при этом рост наблюдается во всех сегментах — от легковых автомобилей до тяжелых грузовиков.

За первый квартал 2021 года объем рынка новых автомобилей в России составил 27 300 единиц — на 14% больше, чем за 3 месяца прошлого года.

Рост показали восемь брендов из ТОП-10 российского рынка. Так, немного потерял в объёмах лидер — марка ГАЗ, однако результат на уровне 10 542 машин (-1,2%) является достаточно успешным. Вместе с тем необходимо отметить, что основной продукцией группы «ГАЗ» является производство малотоннажных грузовых автомобилей до 2-х тонн грузоподъёмностью и пассажирских автобусов на базе «ГАЗель», невостребованных в сельском хозяйстве[1,113].

В ходе анализа продаж грузовых автомобилей за 1 квартал 2021 года наблюдается положительная динамика. Так, объем продаж по итогам квартала составил 19 400 штук, что на 11,6% больше, чем за январь-март минувшего года. Здесь зафиксированы следующие результаты: КамАЗ (7257 шт.; +24%), ГАЗ (1862 шт.; +11,1%), шведская Scania (1257 шт.; +36,6%) и белорусский МАЗ (1255 шт.; +67,8), «Урал» (1163 шт.; +13,2%)[113].

Данные открытых источников [1,6,72,73,113] показывают, что доля выпускаемых крупнотоннажных автомобилей увеличивается (рисунок 1.9),

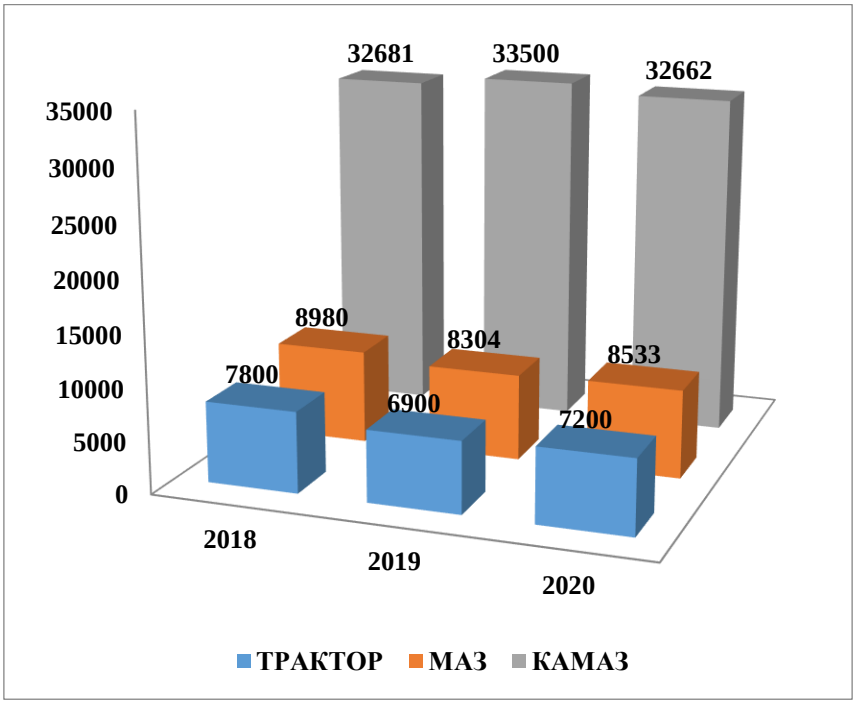


Рисунок 1.9-Количество произведённых разномарочных тракторов и автомобилей марок КамАЗ, МАЗ в Российской Федерации за период 2018-2020 г.г.

следовательно, повышается и их количество в хозяйствах автотранспортного и агропромышленного комплекса (рисунок 1.10), что ещё более актуализирует

рассматриваемое направление исследований для регионов с рискованным земледелием.

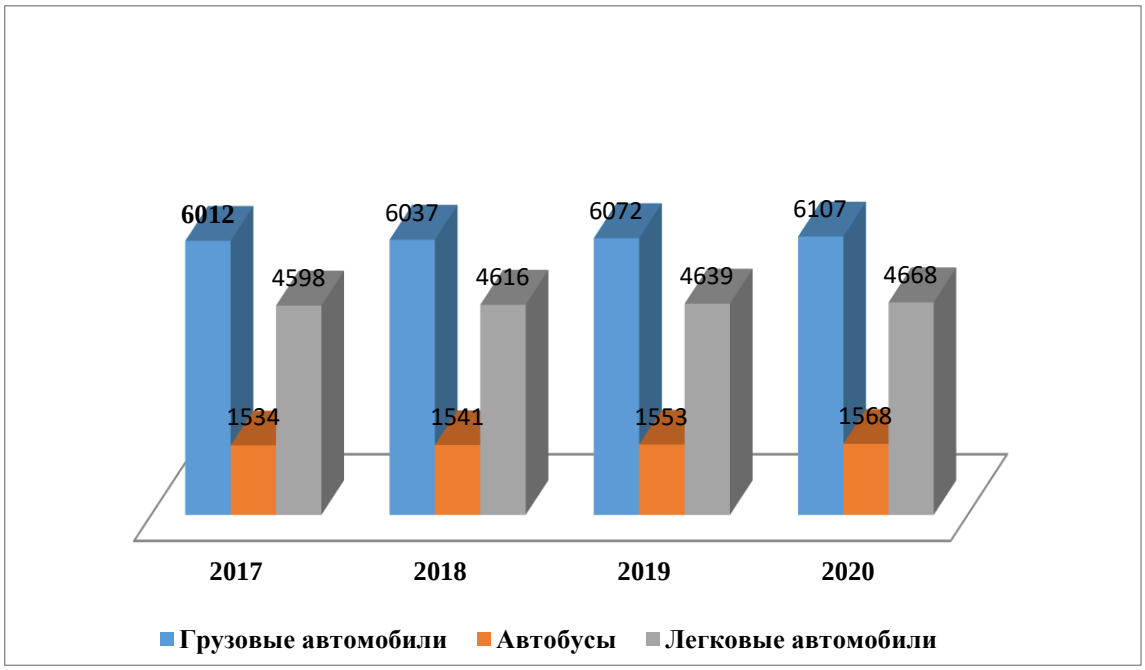


Рисунок 1.10-Структура автомобильного парка Амурской области

Обзором наличия марочного состава автомобилей в хозяйствах области установлено, что наиболее востребованным в малых сельскохозяйственных предприятиях является самосвальный автомобиль КамАЗ-55111(55115), как наиболее унифицированный для повседневных работ. Вместе с тем производственными наблюдениями установлено, что коэффициент использования грузоподъёмности этого автомобиля часто не превышает 0,6, таким образом, учитывая, что грузоподъёмность рассматриваемого транспортного средства составляет 10 т, наиболее востребованным при внутрихозяйственных перевозках может служить полноприводный автомобиль грузоподъёмностью до 6 т, наиболее стандартизованный с основными моделями, получившими наибольшее распространение в агропромышленном комплексе России.

Ранее наиболее востребованным в сельском хозяйстве были автомобили ГАЗ-САЗ 53Б, ГАЗ-САЗ 3507, ЗИЛ-ММЗ 4502, ЗИЛ-130, ЗИЛ-4314 и их модификации, в силу своей конструкционной простоты и надёжности в различных условиях эксплуатации. В современный период эту нишу транспортных средств способен заполнить полноприводный автомобиль концерна КамАЗ марки КамАЗ-

4350(43501), обладающий высокой степенью унификации с остальными моделями семейства КамАЗ и демонстрирующий высокие как эксплуатационные, так и надёжностные характеристики во всех климатических зонах Российской Федерации и производственных условиях.

1.3 Анализ способов повышения эффективности использования колёсных грузовых автомобилей на транспортных работах

Объем грузоперевозок автомобильным транспортом, по данным Федерального научного агроинженерного центра ВИМ и ежегодной статистики, с 2005 г. по настоящее время возрос в 1,4 раза, а тракторным транспортом – в 1,7 раза[110,113].

Транспортные работы в технологии производства сельскохозяйственной продукции составляют неотъемлемую часть всего технологического процесса, на выполнение которых расходуются значительные трудовые и энергетические затраты.

При этом необходимо отметить, что для полноценного обеспечения процесса сельскохозяйственного производства требуется более 250 наименований грузов, что в конечном итоге вызывает значительную потребность в обслуживающих его транспортных средствах [4, 5, 104].

Как показывают исследования, доля затрат на транспортировку грузов составляет 20…40% от общей суммы затрат на производство продукции, а в отдельных случаях эта цифра достигает и 65…70%.При этом затраты энергии составляют около 50%, а объем грузоперевозок составляет от 20 до 60 т·км на 1 га обрабатываемой пашни[101,102].

Одними из основных исследовательских работ, посвящённых вопросам управляемости мобильных машин, были работы Ю.А.Гуськова[30,31], Я.М. Певзнера[82], И.П.Ксеневича[49,50], Г.И. Мамити [62,63], И.К.Пчелинина[92]. Управляемость, теория поворота колесных агрегатов с учетом динамических

факторов разрабатывались А.С.Агейкиным [2], Е.М.Асманкиным [9], Д.А.Антоновым[7],С.В.Бахмутова [11], Я.Е. Фаробиным[107], Я.М. Певзнером[82], А.Н.Мирошниченко[74], И.О.Донато [38] .

Вопросу использования колесных грузовых автомобилей на транспортных работах в различных дорожных условиях посвящены работы Н.В.Алдошина [4], А.М.Гамаюнова [18], А.К.Бирули [13], А.Ю. Измайлова[46], С.А. Иофинова[47], З.Ф. Кривуцы[48], С.Д. Сметнева[96], Е.Е.Кузнецова [52,53], Е.С. Кузнецова [54,55] и многих других ученых[101-104].

Вопросы управляемости и устойчивости автомобилей, их торможении на платформе пространственных расчетных схем обсуждались в работах Г.М. Косолапова[43], Г.М.Кутькова[51], В.С.Курасова[56], Л.В.Барахтанова [10], А.В.Бочарова [14] и многих других авторов [57,81,83,100,102].

В дальнейшем вопросами надежности движения мобильных машин в большом количестве занимались не только отечественные, но и зарубежные исследователи. Значимые труды в данной сфере принадлежат российским ученым В.П.Горячкину [23], Д.С.Гапичу [19], Я.М.Певзнеру[82], В.А.Гоберману [20], Н.А. Загороднему[42], Я.Х Закину [43], А.А.Зангиеву [44], А.Л.Иванову [45], С.А.Шишлову[108], С.В.Щитову[112] и зарубежным:C.B.Winkler[127],G.B. Tajanowskij[124],M.P. Miller[118],R.H. Macmillan[119] и прочим исследователям[115-117,120-124,125-126].

Также существенный вклад в формирование концепции перемещения автопоездов внесли такие ученые как Я.Х.Закин[43], Я.Е.Фаробин[107],Ю.Г. Горшков[21,22],В.В. Осепчугов[80].

Проблемы стабилизации, а также управляемости автопоездов нашли отражение в работах С.Л.Овечкина [78], В.А.Петрушова [84],В.И.Поддубного [85], О.И.Поливаева [86],и других исследователей [41,58-61].

Большая часть работ Д.А. Антонова[7], Е.М.Асманкина[9], А.М.Горелика[24], В.А.Скотникова [97], Н.И.Селиванова [95]также посвящены исследованиям влияния внешних факторов на управляемость и стабильность движения.

Взаимозависимость стабильности перемещения автопоезда от геометрических параметров его составных частей, от соотношения их масс, а также моментов инерции рассмотрена в трудах Л.В.Барахтанова [10], С.В.Бахмутова [11], Л.В.Григоренко [29], Н.Ф.Скурятина [98], С.Д.Сметнёва[99].

Единым заключением ученых считается потребность учёта характеристик стабильности движения (устойчивости) агрегатов и сопутствующих условий, оказывающих большое влияние на тяговые характеристики, управляемость, безопасность и, в конечном итоге, эффективность при выполнении как сельскохозяйственных, так и транспортных работ.

Вместе с тем, исследования ученых Е.Е.Демина [37], И.О.Донато [38], Н.И. Селиванова[95], подтверждают, что природно-производственные особенности региона применения энергетического средства формируют значительное количество факторов, также оказывающих влияние на его эффективность и работоспособность[17,28,41].

Производственными наблюдениями за проведением работ транспортно-технологического обеспечения сельскохозяйственного производства отмечено, что в процессе выполнения транспортной операции также возможно возникновение причин или условий, которые могут существенно повлиять на техническое состояние автомобиля и сроки выполнения транспортной задачи.

В настоящее время, в связи с обширным распространением в экономике Российской Федерации последствий мировых кризисных явлений, влияния снижения потребительского спроса вследствие пандемии нового коронавируса и значительным снижением покупательской способности внутренней валюты, существенно снизился объём пополнения и обновления существующей техники, что напрямую повлияло на экономическую эффективность транспортных работ и снизило эксплуатационные показатели автотранспорта [30,44,72,85].

Эффективность использования колёсных энергетических средств на транспортных работах в сельскохозяйственном производстве объясняется возможностью их передвижения, как по грунтовым полевым и сельскохозяйственным дорогам, так и по дорогам с улучшенным покрытием.

На эффективность применения автомобилей в агропромышленном комплексе (АПК) оказывают влияние следующие факторы: природно-климатические условия, скорость движения, энергетические показатели, тягово-сцепные свойства, расстояние грузоперевозок, грузоподъемность и т.д.

При планировании перевозок грузов сельскохозяйственного назначения с использованием одноименного вида транспорта в идентичных условиях в качестве критериев согласно исследованиям, проведенным Кривуцей З.Ф.[48], рекомендуется применять пробеговые критерии оптимальности, которые имеют относительную простоту и точность их измерения, что позволяет получить наибольший экономический результат.

Авторы многочисленных исследований пришли к выводу, что повысить эффективность функционирования транспортно-технологического обеспечения агропромышленного комплекса возможно за счет сокращения транспортных работ, что позволит снизить транспортные затраты и уменьшить потребность в подвижном составе.

Внедрение в сельскохозяйственное производство новых современных систем машин и постоянное совершенствованием технологий возделывания сельскохозяйственных культур предопределяет рациональное обеспечение оптимального согласования смежных транспортных и технологических операций.

Одной из сложных и наиболее напряженный сельскохозяйственных операций является завершающий этап полевых работ- уборка урожая. Автор в работе [48,57,111,112], как критерии оптимальности предлагает принимать минимум приведенных затрат на уборку и доставку зерна в требуемом объеме. В рассматриваемом случае целевая функция $П$ представляет собой сумму приведенных затрат в объеме годовой потребности района

$$П = \sum_{ijl} C_{ijl} X_{ijl} + \sum_{ikl} C_{ikl} X_{ikl} + \sum_{jkl} C_{jkl} X_{jkl} \rightarrow \min. \qquad (1.1)$$

где C_{ijl}– приведенные затраты на уборку и перевозку 1т зерна с i-го поля на j-й ток l-м способом, руб./т; C_{ikl}–приведенные затраты на перевозку 1т зерна с i-го поля k-му потребителю l-м способом, руб./т;C_{jkl}– приведенные затраты на

перевозку 1т зерна с *j*-й тока *k*-му потребителю *l*-м способом, руб./т; X_{ijl}– объем перевозок зерна с *i*-го поля на *j*-й ток *l*-м способом, т; X_{ikl}– объем перевозок зерна с *i*-го поля *k*-му потребителю *l*-м способом, т; X_{jkl}– объем перевозок зерна с *j*-й тока *k*-му потребителю *l*-м способом, т.

Оценку правильности выбора соотношения грузоподъёмности и скорости движения с грузом в работе [44] автор предлагает оценивать удельным расходом топлива

$$g = f \cdot L \cdot 0{,}72(1 + Ам).\left[\left(1 + \frac{V_Г}{V_x}\right) + \left(\frac{t_{пр} \cdot G_{пр} \cdot V_Г}{L}\right)\right], \qquad (1.2)$$

где *Ам* - коэффициент материалоемкости; *f* – коэффициент сопротивления перекатыванию; *L* – средняя длина пробега с грузом , км*;* $V_Г$ – скорость движения с грузом , м/с; V_x – скорость движения без груза, м/с; $G_{пр}$ – грузоподъемность прицепа, т; $t_{пр}$ – время простоя тракторного поезда на погрузочно-разгрузочных операциях, ч.

Для снижения удельного расхода топлива, как видно из уравнения (1.1), необходимо уменьшать коэффициент материалоемкости, повышать скорость движения, уменьшать время простоя на погрузо-разгрузочных работах.

Вопросы оптимального сочетания технологий и средств транспортного обеспечения в технологических процессах производства сельскохозяйственной продукции нашли отражение в работах А.Ю. Измайлова [46]. В качестве критерия оптимальности автор предлагает принимать величину себестоимости тонны перевозимого зерна (руб./т):

$$\Delta C = \frac{LK\Gamma}{\Delta P} + \frac{З_у + А_{mc} + З_m + З_{пр}}{P}, \qquad (1.3)$$

где *L* – путь, проходимый ТС при перевозке зерна за цикл «комбайн – ток – комбайн», км;

К – стоимость 1 кг ГСМ, руб.; *Г* - расход ГСМ на 100 км пути, кг; ΔP – масса зерна, перевозимая ТС за цикл, т; *P* - масса груза, перевозимая ТС за сезон, т; A_{mc}– амортизация ТС за уборочный период, руб.; $З_m$ – затраты на техническое обслуживание ТС за уборочный период, руб.; $З_{пр}$ – прочие затраты на ТС.

Использование транспортных агрегатов с двумя ведущими мостами повышает экономичность транспортных работ, а кинематическое несоответствие устраняется подбором определенного давления в колесах автомобиля.

Однако проведенный анализ показал, что минимальные затраты времени на выполнение заданного объема работ не всегда приводят к максимальной производительности или к минимуму эксплуатационных расходов подвижного состава.

При обосновании транспортного обеспечения методом математического моделирования чаще всего используется транспортная задача.

При использовании в качестве критерия производительности транспортного обеспечения нашли применение:

-детерминированные экономико-математических модели, позволяющих провести оптимизацию параметров транспортной системы [12,39, 112];

- теория массового обслуживания для построения вероятностных моделей [3,48,91];

-имитационное моделирование транспортной системы [16, 75, 79,90].

В работе [48] тягово-сцепные свойства предлагается оценивать по запасу проходимости.

$$П = \frac{\varphi_{доп} К_з \lambda_к}{К_m \left[\Psi \pm \left(\frac{\delta_{вр}}{g}\right)\frac{d_v}{d_t}\right]}, \quad (1.4)$$

где $\varphi_{доп}$ – коэффициент использования сцепления, соответствующий допустимому буксованию ведущих колес; $к_з$ – коэффициент запаса сцепления; $\lambda_к$ – коэффициент вертикальной нагрузки ведущих колес; Ψ – коэффициент сопротивления; $\delta_{вр}$ – коэффициент учета вращающихся масс; g – ускорение свободного падения, м/с^2; dv/dt – линейное ускорение агрегата.

Из формулы (1.4) видно, что запас проходимости во многом зависит от дорожных условий.

Проведённый анализ литературных источников показывает, что для повышения эффективности использования колесных грузовых автомобилей на

транспортных работах, необходимо повышение их тягово-сцепных свойств. Что возможно при дополнительном распределении сцепного веса по мостам автомобиля за счёт перераспределения веса агрегатируемого прицепа и увеличении опорной поверхности движителей установкой арочных шин [14,19,94,95,97,100] согласно предлагаемой блок-схемы (рисунок 1.11).

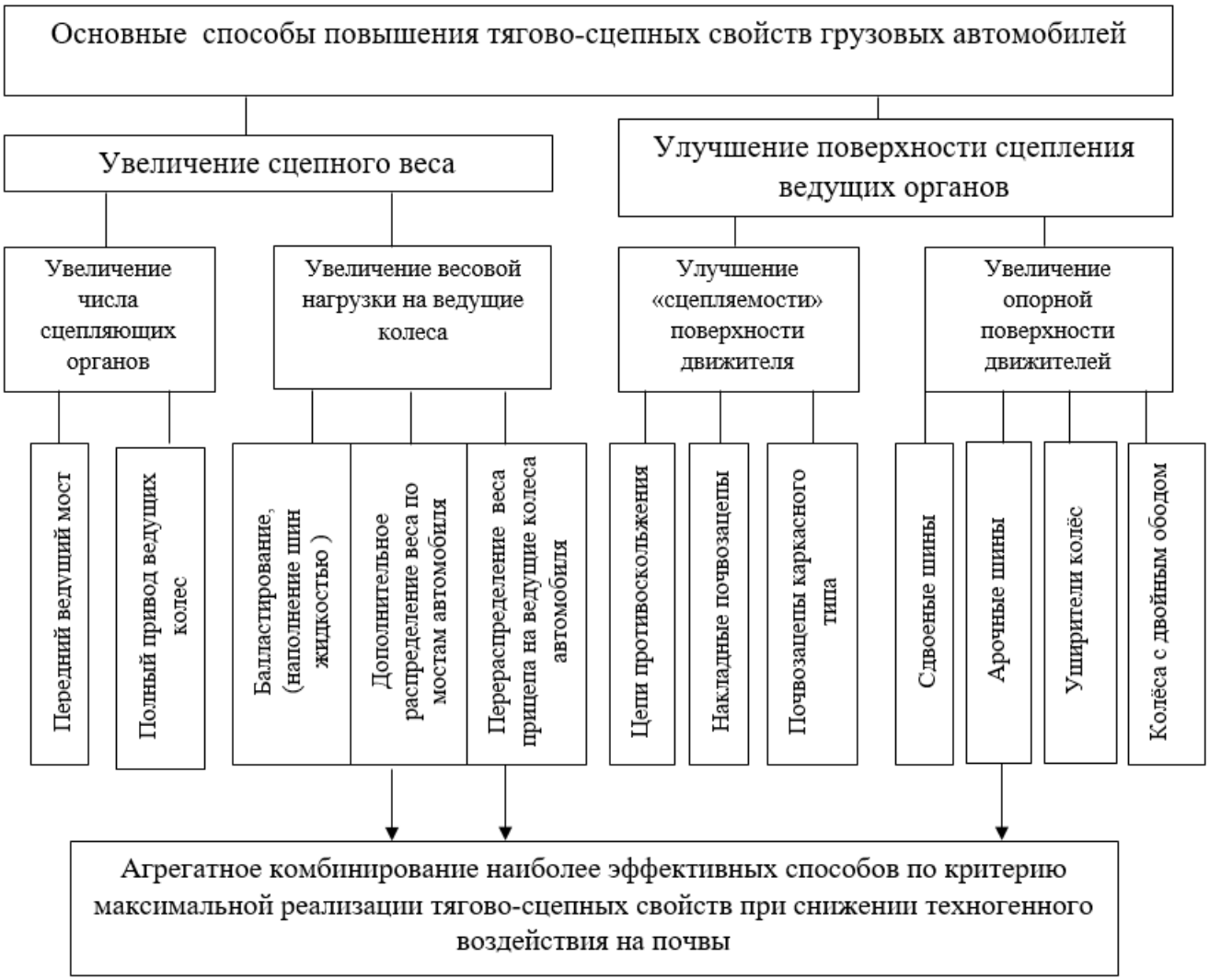


Рисунок 1.11- Блок-схема формирования комбинированного способа повышения тягово-сцепных свойств автомобиля

1.4 Выводы по главе

Проведенные теоретические исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Необходимость увеличения объёмов производимой сельскохозяйственной продукции и производственно-климатические условия региона обосновывают необходимость нахождения способов повышения производительности существующих транспортных агрегатов.

2. На основании проведенного обзора установлено, что для повышения эффективности использования колёсных транспортных агрегатов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур при использовании на почвах с низкой несущей способностью необходимо повышение их тягово-сцепных качеств.

3. Обзор моделей грузовых транспортных средств и прицепных систем, используемых в сельском хозяйстве региона, позволяет предложить перспективную конструкцию сельскохозяйственного автопоезда, в составе полноприводного среднетоннажного автомобиля КамАЗ-4350 и прицепа, обладающих конструкционно-заложенными возможностями для повышения тягово-сцепных свойств в зависимости от условий его использования.

4. В целях дальнейшего опытного и производственного внедрения, поиска адекватных технических решений по направлению исследований необходимо проведение опытно-конструкторских работ, детальных теоретических и экспериментальных исследований.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОВОДИМЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Методологическое обоснование транспортно-технологического обеспечения уборочного процесса

Уборка урожая является завершающим этапом полевых работ, связанных с возделыванием сельскохозяйственных культур. От своевременного и качественного её проведения во многом зависит объём полученной продукции. Это особенно актуально для тех регионов, в которых уборка проходит при неблагоприятных условиях, осложняемых переувлажнением или засухой, так как увеличение сроков уборки увеличивает потери зерновой части.

В условиях Амурской области уборка урожая, в частности зернобобовых культур, проходит в период, когда наблюдается выпадение большого количества осадков в виде дождя или дождя со снегом. Поверхностное переувлажнение снижает проходимость колёсных энергетических средств, задействованных на перевозке урожая с полей. При этом необходимо отметить, что в настоящее время в хозяйствах ощущается острая нехватка колёсных энергетических средств высокой проходимости, способных выполнять возложенные на них обязанности по транспортировке сельскохозяйственных грузов с использованием прицепов.

Это в конечном итоге снижает эффективность использования автомобильного транспорта, увеличивая в целом затраты, транспортные расходы и себестоимость сельскохозяйственной продукции.

Повысить эффективность использования транспортных средств на уборке урожая возможно следующим образом:

- за счёт повышения тягово-сцепных свойств энергетических средств;

-за счёт снижения нормального давления на почву транспортных средств;

- за счёт использования прицепов-перегружателей;

- за счёт использования прицепов, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов»;

-за счёт использования энергетических средств большой грузоподъёмности;

- за счёт использования энергетических средств высокой проходимости.

Необходимо отметить, что в Амурской области использование энергетических средств большей грузоподъёмности из-за слабой несущей способности почвы в период уборки ограничено, а применение прицепов-перегружателей приводит к увеличению травмирования семян сои и снижению его стоимости.

В связи с этим повышения эффективности использования автомобилей, в частности семейства КамАЗ, наиболее распространённых в сельском хозяйстве региона, можно добиться за счёт снижения нормального давления на почву, повышения тягово-сцепных свойств и использования прицепов, способных выполнять роль компенсаторов во время отсутствия автомобиля, задействованного на вывозке урожая.

При этом эффективность транспортно-технологического обеспечения процесса уборки предлагается оценивать коэффициентом эффективности уборочного процесса

$$К_{эу} = Т_к / Т_а \ , \qquad (2.1)$$

где $Т_к$ – время затраченное на заполнения бункера комбайна и его выгрузку, ч;

$Т_а$ – время затраченное автомобилем на вывозку урожая, ч.

При этом должно обязательно выполняться условие

$$К_{эу} \geq 1 \qquad (2.2)$$

При следующем ограничении

$$Т_к \geq Т_а \qquad (2.3)$$

при $$Т_к - Т_а \rightarrow \min \qquad (2.4)$$

Таким образом предлагаемый коэффициент эффективности уборочного процесса показывает, как технологически правильно составлен и применяем уборочный процесс.

2.1.1 Коэффициент эффективности уборочного процесса при повышении тягово-сцепных свойств автомобиля

Выразим коэффициент эффективности уборочного процесса с учетом времени работы комбайна и автомобиля при повышении тягово-сцепных свойств автомобиля, задействованного на вывозе урожая.

Время, затраченное комбайном на заполнение бункера и его выгрузку

$$T_к = (U_к \ j \ (1+ \ \delta_к \ ))/3600 \ (Q_к + T_{ва} \ ) \ n_к \ , \qquad (2.5)$$

где $U_к$ -объём бункера комбайна, м^3;

j-объёмная масса зерна, кг/м^3 ;

$\delta_к$ - отношение массы соломы к массе зерна (для зерновых *δк=2*; для сои *δк=1,2*);

$n_к$- количество намолоченных бункеров, ед;

$Q_к$ - пропускная способность зерноуборочного комбайна, кг/с;

$T_{ва}$ – время затраченное на выгрузку бункера в кузов автомобиля, ч.

Время, затраченное автомобилем на вывозку урожая с поля, определится по выражению

$$T_а \ = (L_г /V_г + L_п / \ V_п \ ) + T_п \ + T_р \ ) \ n_е \ , \qquad (2.6)$$

где $L_г$ -длина ездки с грузом от поля до места выгрузки, км;

$V_г$ – скорость движения с грузом, км/ч;

$L_п$ – длина ездки без груза от места выгрузки до поля, км;

$V_п$ – скорость движения без груза, км/ч;

$T_п$ – время, затраченное на движение по полю, ч;

$T_р$ – время, затраченное на выгрузку, ч;

$n_е$ – количество рейсов, выполненных автомобилем, ед.

Примем следующие допущение:

$$L_г = L_п = L. \qquad (2.7)$$

Данные допущения будут справедливы, так как расстояние от поля и обратно будут отличатся незначительно в виду различных мест выгрузки урожая из бункера на территории организации.

Тогда формула (2.6) примет следующий вид

$$T_a = (L/V_г + L/V_п) + T_п + T_р) n_e. \quad (2.8)$$

В связи с этим необходимо более подробно рассмотреть вопрос времени движения автомобиля по полю

$$T_п = (L_{пл}/V_{пл}) n_e, \quad (2.9)$$

где $L_{пл}$ -длина ездки по полю, км;

$V_{пл}$ – скорость движения по полю, км/ч.

В условиях Амурской области очень важно решение задачи использования автомобильного транспорта в период сбора урожая и его вывозе с полей, так как он характеризуется слабой несущей способностью поверхности движения, связанной с перенасыщением почвы влагой в результате выпадения большого количества осадков, что снижает тягово-сцепные качества автомобиля и, как следствие, уменьшает рабочую скорость движения вследствие буксования движителей.

Таким образом, с учётом указанного выше формула (2.9) примет вид

$$T_п = (L_{пл}/V_{пл}) n_e = (L_{пл}/V_т (1- \delta) n_e, \quad (2.10)$$

где $V_т$ – теоретическая скорость движения автомобиля, км/ч;

δ- величина буксования, %.

Следовательно, анализируя формулу (2.10) можно отметить, что время движения автомобиля по полю напрямую зависит от тягово-сцепных свойств автомобиля и в частности от величины его буксования.

Как известно, величина крутящего момента, реализуемая ведущими колесами автомобиля, находится в зависимости от ведущего момента двигателя, сцепного веса и коэффициента использования сцепного веса

$$\frac{M_{вед}}{r_к} = \varphi \cdot G_{сц}, \quad (2.11)$$

где $M_{вед}$ – ведущий момент двигателя, передающийся на ведущие колёса автомобиля, Н/м;

$G_{сц}$– сцепной вес приходящейся на ведущие , Н.

$r_к$ – радиус качения колеса, м.

Выразим из формулы (2.11) величину коэффициента использования сцепного веса

$$\varphi = \frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}. \quad (2.12)$$

Между величиной буксования и коэффициентом использования сцепного веса существует следующая зависимость [89]

$$\delta^с = \frac{0{,}248\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}}{1-3{,}077\left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}\right)^3}. \quad (2.13)$$

Время движения по полю с учётом формулы (2.13) определится по выражению

$$T_п = \left(\left(L_{пл} / V_т \left(1 - \frac{0{,}248\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}}{1-3{,}077\left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}\right)^3}\right)\right)\right) n_e \quad (2.14)$$

Преобразуем формулу (2.8) с учётом выражения (2.14)

$$T_а = \left((L/V_г + L/V_п) + T_р + L_{пл}/V_т \left(1 - \frac{0{,}248\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}}{1-3{,}077\left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}\right)^3}\right)\right) n_e. \quad (2.15)$$

Тогда на основании полученной выше формулы коэффициент эффективности уборочного процесса примет следующий вид

$$К_{эу} = T_к / \left((L/V_г + L/V_п) + T_р + L_{пл}/V_т \left(1 - \frac{0{,}248\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}}{1-3{,}077\left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}\right)^3}\right)\right) n_e, \quad (2.16)$$

Или

$$К_{эу} = (U_к j(1+\delta_к)/3600Q_к + T_в)n_к / \left((L/V_г + L/V_п) + T_р + L_{пл}/V_т \left(1 - \frac{0{,}248\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}}{1-3{,}077\left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_к}\right)^3}\right)\right) n_e \quad (2.17)$$

Таким образом, анализ полученных выражений (2.16 и 2.17) позволяет сделать вывод о том, что повышение тягово-сцепных свойств автомобиля будет способствовать повышению коэффициента эффективности уборочного процесса вследствие снижения времени движения автомобиля по полю при уборке урожая.

2.1.2 Коэффициент эффективности уборочного процесса при использовании прицепов –перегружателей

В технологии растениеводства и процессе уборки нашли применение прицепы, выполняющие роль компенсаторов-бункеров накопителей, которые чаще всего размещаются с края обрабатываемого поля и оборудуются дополнительно выгрузными шнеками для перегрузки зерновой массы в кузов автомобиля. При этом в условиях слабой несущей способности почвы комбайны, подъезжая к ним для разгрузки, перегружают набранный бункер в прицеп, снижая время простоя в ожидании автомобиля, выполняющего операции перевозки.

В этом случае коэффициент эффективности уборочного процесса (2.1) примет вид

$$К_{эу} = (T_к + T_д)\, n_к / T_а \,, \qquad (2.18)$$

Время на подъезд комбайна к прицепу определится по выражению

$$T_д = (2\, L_{пл} / V_к)\, n_к \,, \qquad (2.19)$$

где $V_к$ – скорость движения комбайна, км/ч

или

$$К_{эу} = (T_к + 2\, L_{пл} / V_к)\, n_к / T_а \,. \qquad (2.20)$$

$$К_{эу} = ((U_к\ j\ (1+\ \delta_к)\ /3600\ Q_к + (2\, L_{пл}\, n_к / V_к)\ / T_а))\, n_к. \qquad (2.21)$$

При этом необходимо учесть, что время (2.15), затраченное автомобилем на транспортировку урожая с поля, сократится и примет следующий вид

$$T_а = ((L/V_г + L/V_п) + T_р)\, n_е. \qquad (2.22)$$

В этом случае коэффициент эффективности уборочного процесса буде равен

$$К_{эу} = ((U_к\ j\ (1+\ \delta_к)\ /3600\ Q_к + (2\, L_{пл}\, n_к / V_к))\, n_к / T_а \qquad (2.23)$$

или

$$К_{эу}=((U_к j(1+\delta_к)/3600Q_к)+(2L_{пл}n_к/V_к))n_к/((L/V_г+L/V_п)+T_р)n_е. \qquad (2.24)$$

Анализируя полученное выражение (2.24) можно сделать вывод, что коэффициент эффективности возрастает из-за снижения времени вывозки урожая с полей автомобилем, возрастания времени на заполнение бункера и его разгрузку

в кузов автомобиля, но в данном случае не будет выполнятся ограничение, предусмотренное выражением (2.4). Также необходимо отметить, что использование рассмотренных прицепов-накопителей с дополнительным шнеком для выгрузки увеличивает травмируемость зерна или семян и, как следствие, увеличивает себестоимость полученной продукции при снижении его качества и сортности.

2.1.3 Коэффициент эффективности уборочного процесса при использовании прицепов, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов»

В целях всестороннего и объективного анализа рассмотрим формирование коэффициента эффективности уборочного процесса при использовании прицепов, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов».

Время, затраченное комбайном на заполнение бункера и его выгрузку в кузов автомобиля и кузов прицепа предлагается рассчитывать по формуле

$$T_к = ((U_к \; j \; (1+ \; \delta_к)/3600 \; Q_к + T_{ва} + T_{вп})) \; n_к. \qquad (2.25)$$

где $T_{вп}$ –время, затраченное на выгрузку бункера в кузов прицепа, ч.

Тогда на основании формул (2.24) и (2.25) коэффициент эффективности уборочного процесса буден равен

$$К_{эу}=((U_кj(1+\delta_к)/3600Q_к+T_{ва}+T_{вп}))n_к/(L/V_г+L/V_п+T_п+T_р)n_е. \qquad (2.26)$$

Анализируя полученную формулу (2.26) можно отметить, что коэффициент эффективности процесса повысится, так как комбайну потребуется время на заполнение бункера и его выгрузку в прицеп, при этом соблюдается неравенство

$$n_к \geq n_е \qquad (2.27)$$

Необходимо отметить, что во время отсутствия автомобиля на поле, связанного с операцией транспортировки урожая, комбайн будет загружать другой прицеп, также находящейся в поле. В тот же время использование большегрузных прицепов ограничивается высоким нормальным давлением движителей на почву, исходя из чего возникает потребность его снижения, что возможно при

использовании способов увеличения площади опоры и увеличения объема почвенных масс, заключённых между почвозацепами колёсного движителя.

Предложенный математический аппарат позволяет сделать вывод, что повышения эффективности уборочного процесса в Амурской области возможно достичь за счёт повышения тягово-сцепных свойств автомобиля, снижения нормального давления на почву и применением прицепов выполняющих задачу «транспортных компенсаторов».

Из чего можно заключить, что наиболее оптимальным и максимально эффективным методом достижения лучших результатов является рациональное комбинирование рассмотренных выше способов.

2.2 Разработка и исследование способа повышения тягово-сцепных свойств автомобиля

Ранее проведенными исследованиями установлено, что повысить тягово-сцепные свойства автомобиля возможно за счёт использования догружающего устройства, способного корректировать сцепной вес в звене «прицеп-агрегатируемое средство». С этой целью было разработано перспективное устройство оригинальной конструкции -«Догружающий модуль для грузового автомобиля», на которое полечен патент на изобретение № 2763005.

Предлагаемое устройство (догружающий модуль грузового автомобиля) устанавливается на поперечной траверсе и дышле прицепа, а также задней фронтальной части рамы автомобиля и способно перераспределять часть веса, приходящегося на колёса прицепа, через закрепленную гибкую тросовую силовую связь и стандартное лебёдочное устройство на ведущие колёса транспортного средства-автомобиля в целях увеличения его проходимости, снижения буксования, повышения производительности при выполнении транспортных работ. Конструктивная схема экспериментального автопоезда с предлагаемым устройством представлена на рисунке 2.1.

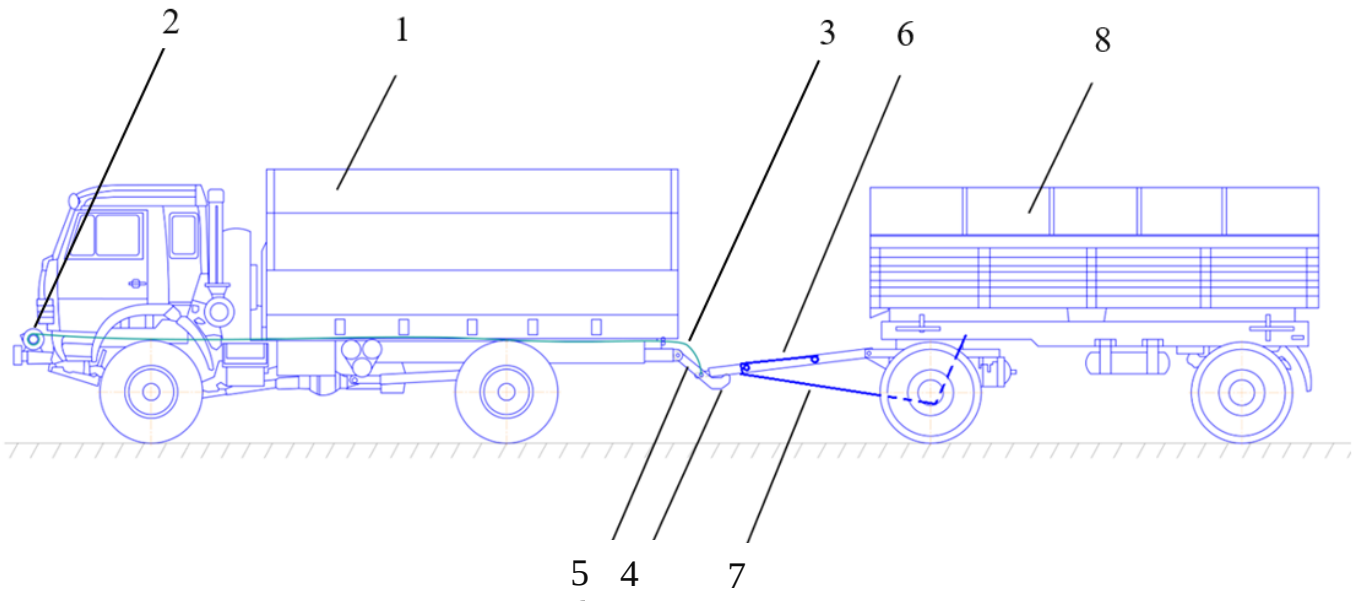


Рисунок 2.1- Конструктивная схема экспериментального автопоезда: 1-автомобиль; 2- лебёдочное устройство; 3- лебёдочная тросовая связь; 4- чалочный крюк; 5- тягово-сцепное устройство автомобиля; 6- дышло прицепа; 7- гибкая тросовая связь; 8- прицеп

Принцип работы устройства следующий. При снижении тягово-сцепных свойств автомобиля водитель подключает лебёдочное устройство (2), которое натягивает вытяжную гибкую тросовую силовую связь (3), приподнимая чалочным крюком (4) тягово-сцепное устройство (5). При этом приподнимается дышло прицепа (6), ранее фиксированное в транспортировочном положении тросовой силовой связью (7) вместе с передней частью прицепа (8). Это позволяет перераспределить часть веса прицепа (8) на ходовую систему автомобиля, увеличивая его тягово-сцепные свойства.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догружающим модулем для грузового автомобиля водителем транспортного средства (автомобиля) лебёдочное устройство не включается и перераспределение весовой нагрузки не производится.

В целях теоретического обоснования конструктивных и технологических параметров предлагаемого устройства определим условия распределения весовой нагрузки на опоры буксирующего колёсного средства, для чего составим

уравнения равновесия, описывающие процессы перераспределения в ходовой системе автопоезда.

Для упрощения расчёта и использования основных математико-методических способов теории механизмов и машин [8,114] рассмотрим транспортное средство с прицепом, как составную конструкцию автомобиль + крюковый захват + дышло + прицеп.

Составим и решим уравнения равновесия при неработающем догружающем модуле согласно схемы действия сил, представленной на рисунке 2.2

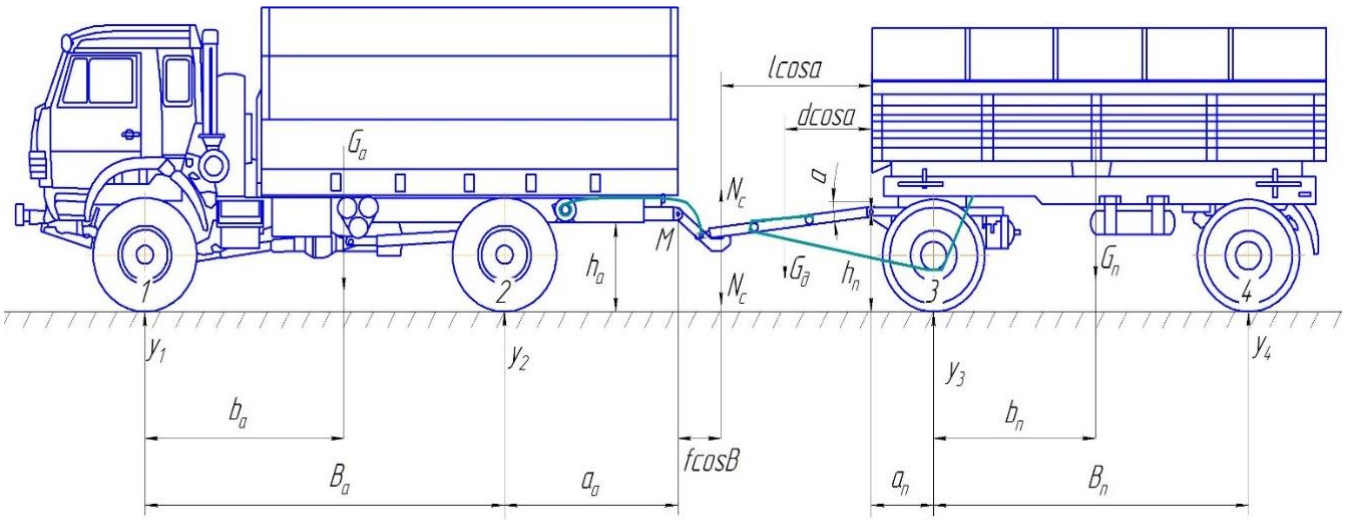


Рисунок 2.2– Схема к расчёту распределения усилий, без использования догружающего модуля

где G_a – вес автомобиля, Н; $G_д$ – вес дышла, Н; $G_п$ – вес прицепа, Н; B_a – расстояние от опоры 1 до опоры 2, м; $B_п$ – расстояние от опоры 3 до опоры 4, м; b_a – расстояние от опоры 1 до центра тяжести автомобиля, м; $b_п$ – расстояние от опоры 3 до вертикальной проекции центра тяжести прицепа, м; a_a – расстояние от опоры 2 до шарнира установки устройства М, м; $a_п$ – расстояние от опоры 3 до шарниров k крепления дышла прицепа, м; y_1 – реакция поверхности в опоре 1, Н; y_2 – реакция поверхности в опоре 2, Н;y_3 – реакция поверхности в опоре 3, Н;y_4 – реакция поверхности в опоре 4, Н; N_c – силовая реакция в чалочном крюке, Н; T_a – сила натяжения троса лебёдкой автомобиля, Н; $T_п$ – сила натяжения троса прицепа, Н;

$h_л$ – высота от поверхности до лебёдки, м; $h_а$ – высота от поверхности до рамы автомобиля, м;$h_п$ – высота от земли до шарнира прицепа, м;l – расстояние от шарнира прицепа k до точки силовой реакции в чалочном крюке $N_с$, м; d – расстояние от шарнира прицепа k до вертикальной проекции центра тяжести дышла прицепа, м; f – расстояние от шарнира M до чалочного крюка, м; n - расстояние от шарнира прицепа k до точки установки троса прицепа, м; β – угол наклона устройства относительно рамы, град; φ – угол изгиба троса в поперечине дышла, град ;α – угол наклона дышла относительно рамы прицепа, град; $R_к$ – радиус колеса, м.

Для дышла прицепа

$$\sum F_{kx} = 0 \quad x_k = 0, \tag{2.28}$$

$$\sum M_c(F_k) = 0 \quad -y_k \cdot lcos\alpha + G_д(l-d)cos\alpha + x_k \cdot lsin\alpha = 0, \tag{2.29}$$

$$\sum M_k(F_k) = 0 \quad N_c \cdot lcos\alpha - G \cdot dcos\alpha = 0. \tag{2.30}$$

тогда из выражения (2.29) получаем

$$y_k = \frac{G_д(l-d)cos\alpha}{lcos\alpha} = \frac{G_д(l-d)}{l}. \tag{2.31}$$

из (2.30):

$$N_c = \frac{G \cdot dcos\alpha}{lcos\alpha} = \frac{G_д d}{l}. \tag{2.32}$$

Для крюкового захвата (чалочного крюка)

$$\left.\begin{aligned} \sum x = 0 \quad x_M = 0, \\ \sum y = 0 \quad y_M - N_c = 0, \\ y_M = N_c = \frac{G_д d}{l}, \end{aligned}\right\} \tag{2.33}$$

Для опор автомобиля

$$\left.\begin{aligned} \sum M_1 = 0 \quad G_a \cdot b_a - y_a \cdot B_a + y_M \cdot (B_a + a_a) = 0. \\ \sum M_2 = 0 \quad -y_1 \cdot B_a + G_a \cdot (B_a - b_a) - y_M \cdot a_a = 0. \end{aligned}\right\} \tag{2.34}$$

$$y_2 = \frac{G_a \cdot b_a + y_M(B_a + a_a)}{B_a} = \frac{G_a \cdot b_a + \frac{G_д d}{l}(B_a + a_a)}{B_a}. \quad (2.35)$$

$$y_1 = \frac{G_a \cdot (B_a - b_a) - y_M a_a}{B_a} = \frac{G_a(B_a - b_a) - \frac{G_д d}{l} a_a}{B_a}. \quad (2.36)$$

Для прицепа

$$\left.\begin{array}{ll} \sum M_3 = 0 & -y_k \cdot a_n + G_n \cdot b_n - y_4 \cdot B_n = 0 \\ \sum M_4 = 0 & y_3 \cdot B_n - y_k(B_n + a_n) - G_n \cdot (B_n - b_n) = 0 \end{array}\right\} \quad (2.37)$$

из выражения (2.36) получаем

$$y_4 = \frac{G_n \cdot b_n - y_k \cdot a_n}{B_n} = \frac{G_n \cdot b_n - \frac{G_д(l-d)}{l} \cdot a_n}{B_n} = \frac{G_n \cdot b_n}{B_n} - \frac{G_n(l-d)a_n}{B_n \cdot l}. \quad (2.38)$$

из (2.37):

$$y_3 = \frac{G_n(B_n - b_n) + y_k(B_n + a_n)}{B_n} = \frac{G_n(B_n - b_n) + \frac{G_д(l-d)(B_n + a_n)}{l}}{B_n} =$$

$$= \frac{G_n(B_n - b_n)}{B_n} + \frac{G_д(l-d)(B_n + a_n)}{B_n \cdot l}. \quad (2.39)$$

Весом непосредственно чалочного крюка пренебрегаем в связи с его малозначительностью.

Составим уравнения равновесия при работе догружающего модуля согласно схемы, предложенной на рисунке 2.3:

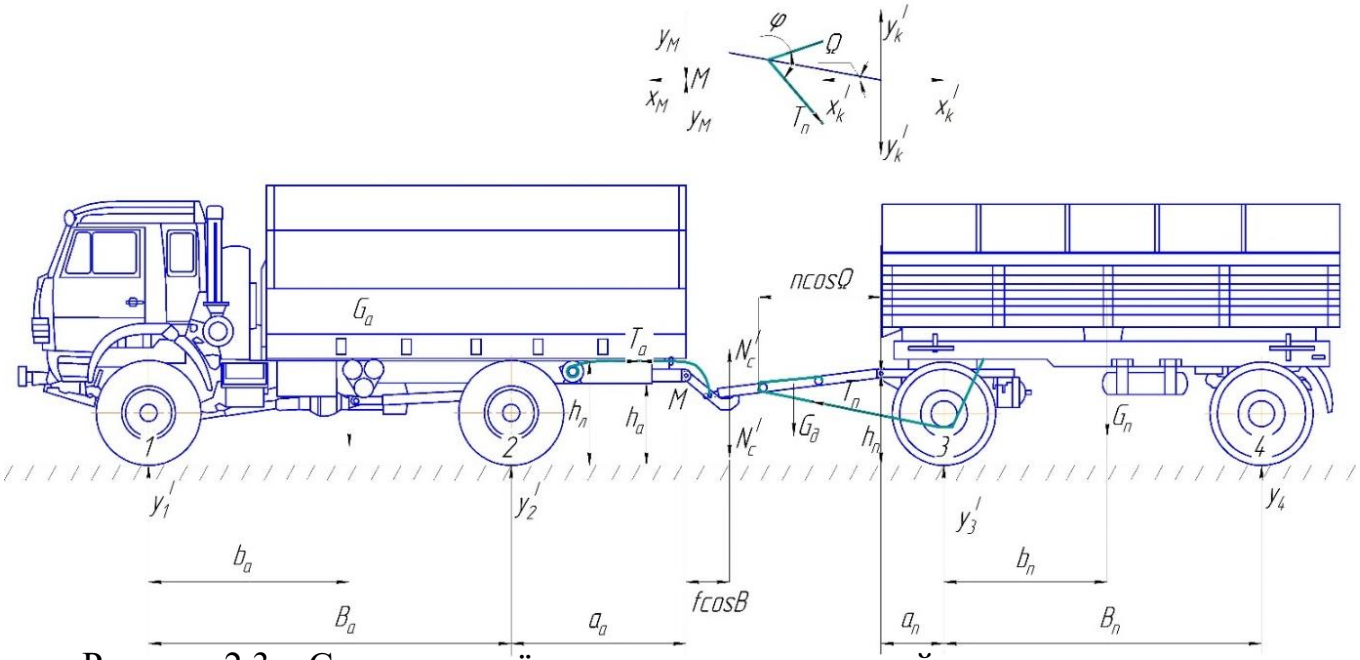


Рисунок 2.3 – Схема к расчёту распределения усилий при использовании догружающего модуля

где y_1' – реакция поверхности в опоре 1, кН; y_2' – реакция поверхности в опоре 2, кН; y_3' – реакция поверхности в опоре 3, кН; y_4' – реакция поверхности в опоре 4, кН; N_c' – силовая реакция в чалочном крюке, кН.

Составим и решим уравнения равновесия для опор и силовых элементов автопоезда при догружении.

Для дышла прицепа

$$\sum F_{kx} = 0 \quad T_n \cdot cos\varphi - x_k' = 0, \tag{2.40}$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad N_c' - T_n sin\varphi + y_k' - G_д = 0, \tag{2.41}$$

$$\sum M_k(F_k) = 0 \quad N_c' \cdot lcos\theta - T_n sin\varphi \cdot ncos\theta - G_д cos\theta \cdot d = 0, \tag{2.42}$$

из выражения (2.40) получаем

$$x_k' = T_n cos\varphi. \tag{2.43}$$

из (2.41) $$N_c' = \frac{T_n sin\varphi \cdot n cos\theta + G_д cos\theta \cdot d}{l cos\theta} = \frac{G_д d}{l} + \frac{T_n sin\varphi \cdot n}{l}. \quad (2.44)$$

из (2.42)

$$y_k' = -N_c' + T_n sin\varphi + G_д = G_д + T_n sin\varphi - \frac{G_д l}{l} - \frac{T_n sin\varphi \cdot n}{l} =$$

$$= G_д\left(1 - \frac{d}{l}\right) + T_n sin\varphi\left(1 - \frac{n}{l}\right). \quad (2.45)$$

Для опор прицепа

$$\sum M_3(F_k) = 0 \quad -y_4' \cdot B_n + G_n \cdot b_n + x_k' \cdot h_n - y_k' \cdot a_n - T_n cos\varphi \cdot R_k = 0. \quad (2.46)$$

$$\sum M_3(F_k) = 0 \;\; y_3' \cdot B_n - G_n(B_n - b_n) + T_n sin\varphi \cdot B_n - T_n cos\varphi \cdot R_k +$$

$$+x_k' \cdot h_n - y_k'(B_n + a_n) = 0. \quad (2.47)$$

из (2.46)

$$y_4' = \frac{G_n b_n + x_k' \cdot h_n - y_k' \cdot a_n - T_n cos\varphi \cdot R_k}{B_n} =$$

$$= \frac{G_n b_n + T_n cos\varphi \cdot h_n - T_n cos\varphi \cdot R_k - (G_д\left(1 - \frac{d}{l}\right) + T_n sin\varphi(1 - \frac{n}{l}))a_n}{B_n} =$$

$$= \frac{G_n b_n}{B_n} - \frac{G(l-d)a_n}{B_n \cdot l} + \frac{T_n cos\varphi(h_n - R_k)}{B_n} - \frac{T_n sin\varphi(1 - \frac{n}{l})a_n}{B_n}. \quad (2.48)$$

из (2.47)

$$y_3' \cdot B_n = \frac{G_n(B_n - b_n) - T_n sin\varphi \cdot B_n + T_n cos\varphi \cdot R_k - x_k' \cdot h_n + y_k'(B_n + a_n)}{B_n} =$$

$$= \frac{G_n(B_n - b_n) - T_n sin\varphi \cdot B_n + T_n cos\varphi \cdot R_k - T_n cos\varphi \cdot h_n + (G_д\left(1 - \frac{d}{l}\right) + T_n sin\varphi\left(1 - \frac{n}{l}\right))(b_n + a_n)}{B_n} =$$

$$= \frac{G_n(B_n - b_n)}{B_n} + \frac{G(l-d)(B_n + a_n)}{B_n \cdot l} - \frac{T_n cos\varphi(h_n - R_k)}{B_n} + \frac{T_n sin\varphi(\left(1 - \frac{n}{l}\right)(b_n + a_n) - B_n)}{B_n}. \quad (2.49)$$

Для чалочного крюка

$$\sum F_{kx} = 0 \quad y_M' - N_c' = 0, \quad (2.50)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad y_M' - T_a = 0, \quad (2.51)$$

из выражения (2.50) получаем

$$y_M = N_c' = \frac{G_д d}{l} + \frac{T_n sin\varphi \cdot n}{l}. \quad (2.52)$$

$$x_m' = T_a. \quad (2.53)$$

Для опор автомобиля

$$\sum M_1 = 0 \quad T_a h_n + G_a b_a - y_2' \cdot B_a - x_M h_a + y_M (B_a + a_a) = 0, \quad (2.54)$$

$$\sum M_2 = 0 \quad y_1' \cdot B_a + T_a h_n - G_a (B_a - b_a) - x_M h_a + y_M a_a = 0, \quad (2.55)$$

из (2.54) получаем

$$y_2' = \frac{G_a b_a + T_a h_n - x_M h_a + y_M (B_a + a_a)}{B_a} =$$

$$= \frac{G_a b_a + T_a h_n - T_a h_a + \left(\frac{G_д d}{l} + \frac{T_n sin\varphi \cdot n}{l}\right)(B_a + a_a)}{B_a} =$$

$$= \frac{G_a b_a + \frac{G_д d}{l}(B_a + a_a)}{B_a} + \frac{T_a (h_n - h_a) + T_n sin\varphi \cdot \frac{n}{l}(B_a + a_a)}{B_a}. \quad (2.56)$$

из (2.55) получаем

$$y_1' = \frac{G_a (B_a - b_a) - T_a h_n + x_m h_a - y_M \cdot a_a}{B_a} =$$

$$= \frac{G_a (B_a - b_a) - T_a h_n + T_a h_a - \left(\frac{G_д d}{l} + \frac{T_n sin\varphi \cdot n}{l}\right) a_a}{B_a} =$$

$$= \frac{G_a (B_a - b_a) - G_д \cdot \frac{d}{l} \cdot a_a}{B_a} - \frac{T_a (h_n - h_a) + T_n sin\varphi \frac{n}{l} a_a}{B_a}. \quad (2.57)$$

Анализируя выражения (2.35) и (2.57) и выражения (2.36) и (2.56) можно сделать вывод, что после включения догружающего модуля передние опоры автомобиля разгружаются на величину ($\frac{T_a (h_n - h_a) + T_n sin\varphi \frac{n}{l} a_a}{B_a}$), а задние опоры автомобиля загружаются на величину ($\frac{T_a (h_n - h_a) + T_n sin\varphi \cdot \frac{n}{l}(B_a + a_a)}{B_a}$).

В соответствии с полученными теоретическими взаимосвязями построен комбинированный график перераспределения веса между колёсными осями в ходовой системе автопоезда в зависимости от угла подъёма дышла прицепа при использовании догружающего модуля, представленный на рисунке 2.4,

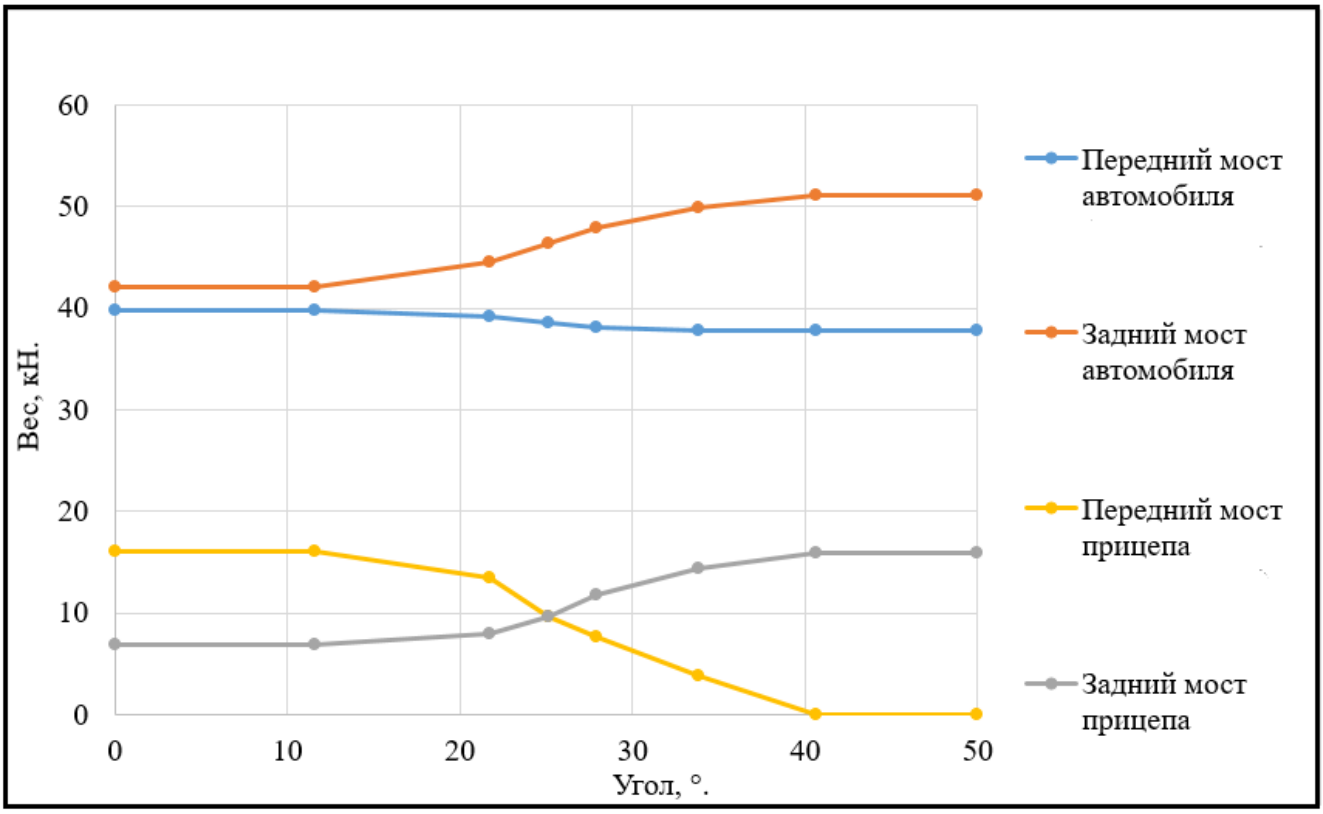


Рисунок 2.4- Комбинированный график перераспределения веса между колёсными осями в ходовой системе автопоезда в зависимости от угла подъёма дышла прицепа

В результате математического моделирования процесса перераспределения в среде Mathcad был получен график влияния предложенного устройства на сцепной вес автомобиля в виде 3-Д модели (рисунок 2.5).

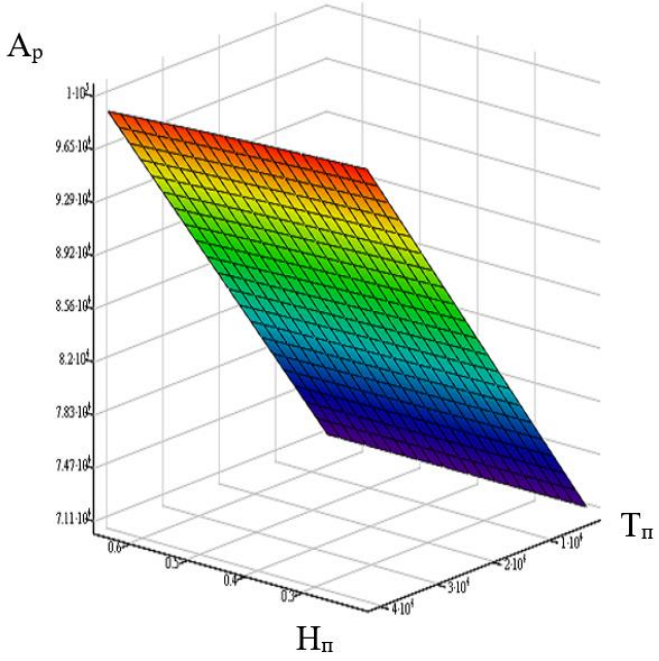


Рисунок 2.5- 3-Д модель влияния предложенного устройства на сцепной вес автомобиля

Где A_o –расстояние крепления устройства, м; $T_п$ – сила натяжения тросовой силовой связи , Н; $H_п$ – высота поднятия дышла прицепа, м

На основании проведенных теоретических исследований установлено, что использование предлагаемого устройства позволяет повысить сцепной вес автомобиля за счёт перераспределения веса с ходовой системы прицепа и создаст условия для лучшей реализации тягово-сцепных свойств колёсного энергетического средства.

2.3 Обоснование способов снижения нормального давления на почву ходовой системы автопоезда

2.3.1 Увеличение площади контакта движителя с почвой

Как известно, основными факторами, влияющими на глубину колеи, оставляемой после прохода колёсной ходовой системы энергетического средства являются несущая способность основания (поверхности движения) и нормальное давление движителей на почву. Несущая способность основания, по которому движется энергетическое средство, определяется особенностями природно-

климатических условий региона и является неизменяемым фактором. Снижение нормального давления движителей энергетического средства на основание возможно произвести за счёт изменения конструктивных параметров ходовой части и, в частности, способом установки шин большего размера по примеру арочных. Постановка шин увеличенного размера позволяет значительно увеличить площадь пятна контакта колеса.

Вычисление площади опоры (пятна контакта) произведём на основании вычисления площади сектора шины колеса энергетического средства, заключенного между грунтозацепами. Необходимые вычисления целесообразно осуществить исходя из теории двойных интегралов. Опираясь на специфику применения полярной системы координат учтем, что областью интегрирования является область радиального типа (рисунок 2.6).

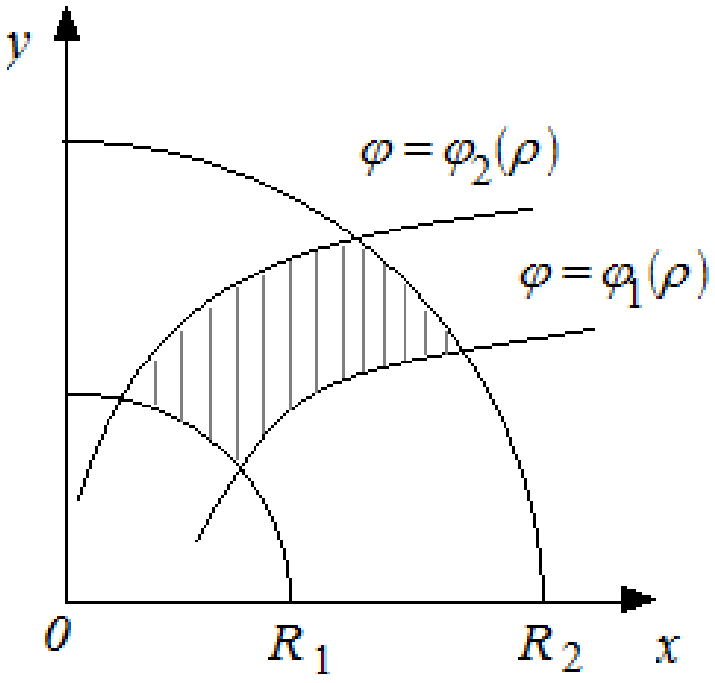


Рисунок 2.6- Область радиального типа

Где R_1 - радиус шины без учёта высоты грунтозацепов, м; R_2 – радиус шины с учётом высоты грунтозацепов, м

При этом область сектора шины между грунтозацепами ограничена:

1. двумя концентрическими окружностями с постоянными радиусами R_1 и R_2 ($R_1 < R_2$)

2. двумя линиями, уравнения которых записаны в следующем виде

$$\begin{cases} \varphi = \varphi_1(\rho) \\ \varphi = \varphi_2(\rho) \end{cases} \tag{2.58}$$

где $\varphi_1(\rho) \le \varphi_2(\rho)$ при любом $\rho \in [R_1; R_2]$.

Тогда площадь сектора шины между грунтозацепами имеет вид

$$S = \iint\limits_D f(x,y)dxly = \int\limits_{\rho_1}^{\rho_2} \rho d\rho \int\limits_{\varphi_1(\rho)}^{\varphi_2(\rho)} f(\rho\cos\varphi, \rho\sin\varphi)d\varphi \tag{2.59}$$

Согласно конструктивных параметров колеса энергетического средства вычисляемая площадь между секторами грунтозацепов составляет $\frac{1}{28}$, с учетом этого формула (2.59) примет вид

$$S_i = \frac{1}{28}\int\limits_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \int\limits_0^{2\pi} d\varphi = \frac{1}{28}\int\limits_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \cdot \varphi\Big|_0^{2\pi}$$

или

$$S_i = \frac{1}{28}\int\limits_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \cdot (2\pi - 0) = \frac{2\pi}{28}\int\limits_{R_1}^{R_2} \rho d\rho$$

или

$$S_i = \frac{\pi}{14}\int\limits_{R_1}^{R_2} \rho d\rho = \frac{\pi}{14} \cdot \frac{\rho^2}{2}\Bigg|_{R_1}^{R_2} \tag{2.60}$$

Решив полученное уравнение (2.60) получим площадь S_i заключённую между двумя грунтозацепами и учитывая конструктивные особенности колеса получаем

$$S_i = \frac{\pi\left(R_2^2 - R_1^2\right)}{28}. \tag{2.61}$$

На основании проведенных вычислений получаем, что

$$S_{шины} = \sum_{i}^{n} S_i \,, \tag{2.62}$$

где n - количество секторов между грузозацепами.

Таким образом на основании полученных формул (2.61) и (2.62) можно сделать вывод, что площадь, заключённая между двумя грунтозацепами, зависит от геометрических параметров колеса, то есть с их увеличение она возрастает.

В ранее проведенных исследованиях установлено, что с увеличением ширины колёсного движителя (площади контакта колеса с основанием) возрастает касательная сила тяги, развиваемая энергетическим средством. Таким образом, постановка арочных автошин позволяет увеличить площадь контакта движителя с основанием и улучшить реализацию сцепных характеристик движителя.

2.3.2 Определение объёма почвенных масс, заключённых между грунтозацепами колесного движителя

Вычисление объёма грунта между грунтозацепами протектора колеса получим путем вычисления тройного интеграла в цилиндрических координатах

$$V = \iiint_{T} dxdydz \tag{2.63}$$

Связь декартовых координат x, y, z с цилиндрическими координатами ρ, φ, z определяется формулами

$$\begin{aligned} x &= \rho\cos\varphi, \\ y &= \rho\sin\varphi, \\ z &= z. \end{aligned} \tag{2.64}$$

В нашем случае предполагается, что

$$\rho \geq 0\,, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi\,, \tag{2.65}$$

$$z_1 < z < z_2\,, \text{, причем } z_1 = C_1,\ \ z_2 = C_2\ (C_1, C_2 - const)\,. \tag{2.66}$$

где z_1, z_2 - отсекаемые плоскости.

Якобиан перехода от декартовых координат к цилиндрическим равен

$$J(\rho,\varphi,z)=\begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} & \frac{\partial x}{\partial z} \\ \frac{\partial y}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} & \frac{\partial y}{\partial z} \\ \frac{\partial z}{\partial \rho} & \frac{\partial z}{\partial \varphi} & \frac{\partial z}{\partial z} \end{vmatrix}$$

$$J(\rho,\varphi,z)=\begin{pmatrix} \cos\varphi & -\rho\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \rho\cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}=\rho\geq 0 \qquad (2.67)$$

Тогда применяя замену переменных получаем следующую формулу

$$V=\iiint\limits_{T} dxdydz=\iiint\limits_{T}\rho d\rho d\varphi dz \qquad (2.68)$$

Проекция области интегрирования на плоскость *Oxy* представляет собой кольцо ограниченное двумя окружностями (рисунок 2.7)

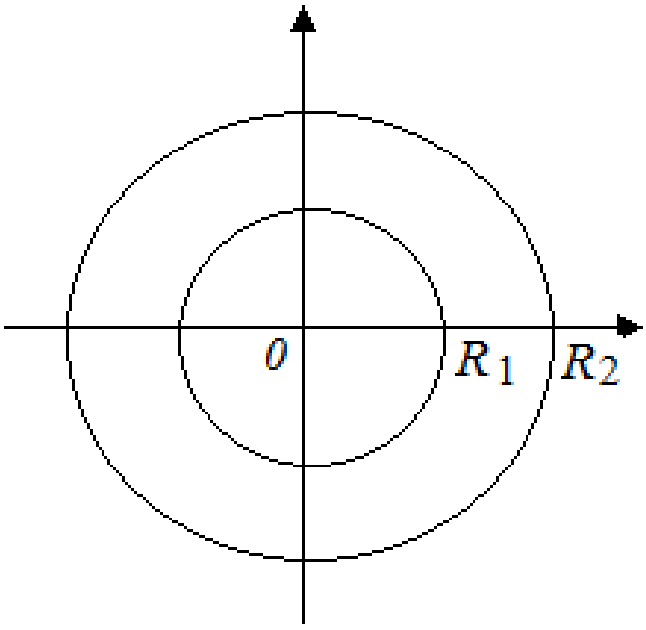


Рисунок 2.7- Проекция области интегрирования

$$\begin{cases} x^2+y^2\geq R_1^2 \\ x^2+y^2\leq R_2^2 \end{cases} \qquad R_1\leq\rho\leq R_2 \qquad (2.69)$$

где R_1 - радиус шины без грунтозацепа,м, R_2 - радиус шины с грунтозацепами,м.

Представим уравнения поверхностей в цилиндрических координатах

1) $x^2 + y^2 \geq R_1^2 \quad \Rightarrow \quad \rho^2 \cos^2 \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi \geq R_1^2$

$$\rho^2 \left(\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi\right) \geq R_1^2$$

$$\rho^2 \geq R_1^2$$

$$\rho \geq R_1 \tag{2.70}$$

2) $x^2 + y^2 \leq R_2^2 \quad \Rightarrow \quad \rho^2 \cos^2 \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi \leq R_2^2$

$$\rho^2 \left(\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi\right) \leq R_2^2$$

$$\rho^2 \leq R_2^2$$

$$\rho \leq R_2 \tag{2.71}$$

Таким образом, осуществляя переход к трехкратному интегралу формула (2.68) с учетом (2.65), (2.66), (2.67), (2.69), (2.71) принимает вид

$$V = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho \, d\rho \int_{C_1}^{C_2} dz \tag{2.72}$$

Учитывая описание колеса энергетического средства объём почвы заключенный между грунтозацепами в проекции области интегрирования будем рассматривать как $\frac{1}{28}$ части всей проекции, тогда получаем

$$V_i = \frac{1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho \, d\rho \int_{C_1}^{C_2} dz$$

$$V_i = \frac{1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho z \Big|_{C_1}^{C_2} d\rho$$

$$V_i = \frac{1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho \left(C_2 - C_1\right) d\rho$$

$$V_i = \frac{C_2 - C_1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho \, d\rho$$

$$V_i = \frac{C_2 - C_1}{28} \int_0^{2\pi} \frac{\rho^2}{2}\Bigg|_{R_1}^{R_2} d\varphi$$

$$V_i = \frac{C_2 - C_1}{56} \int_0^{2\pi} \left(R_2{}^2 - R_1{}^2\right) d\varphi$$

$$V_i = \frac{\left(C_2 - C_1\right) \cdot \left(R_2{}^2 - R_1{}^2\right)}{56} \int_0^{2\pi} d\varphi$$

$$V_i = \frac{\left(C_2 - C_1\right) \cdot \left(R_2{}^2 - R_1{}^2\right)}{56} \cdot \varphi\Big|_0^{2\pi}$$

$$V_i = \frac{\left(C_2 - C_1\right) \cdot \left(R_2{}^2 - R_1{}^2\right) \cdot \pi}{56} \ . \qquad (2.73)$$

На основании проведенных вычислений получим, что

$$V_{шины} = \sum_i^n V_i \ , \qquad (2.74)$$

где n - количество секторов между грузозацепами.

Анализируя полученные выражения (2.73) и (2.74) можно отметить, что объём сминаемого грунта у арочных шин возрастает в связи с увеличением разности (R_2 – R_2) по сравнению с серийными автошинами, так как рассматриваемые шины арочного типа имеют большую высоту грунтозацепов.

2.4 Исследования по определению эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочных работ

Эффективность транспортно-технологического обеспечения уборочного процесса зависит от своевременного вывоза урожая с полей, что особенно важно в период, когда переувлажнение верхнего слоя почвы не позволяет использовать многоцелевые автомобили, не обладающие высокими тягово-сцепными

свойствами. Автомобили повышенной проходимости, как правило при движении по полю в этих условиях оставляют после себя глубокую колею. В предыдущих разделах данной главы были определены показатели повышения уборочного процесса:

- повышение тягово-сцепных свойств автомобиля путём перераспределения веса;

- снижение нормального давления на почву за счёт увеличения площади контакта путём установки арочных шин ;

- применением прицепов на арочных шинах выполняющих задачу «транспортных компенсаторов».

Установлено, что наиболее эффективный результат может быть достигнут за счёт комбинирования всех рассмотренных выше способов.

В общем случае производительность автомобиля зависит от ряда параметров:

-коэффициента использования пробега;

-коэффициента использования грузоподъёмности;

- длины ездки (плеча подвоза);

- времени простоя на погрузо-разгрузочных работах;

-массы перевозимого груза;

-рабочей скорости движения (величины буксования).

При работе на почвах с низкой несущей способностью на величину производительности наибольшее влияние будет оказывать масса перевозимого груза и рабочая скорость движения (величина буксования).

Как показали ранее проведенные исследования величина буксования во многом зависит от сцепного веса [89]

$$\delta = \frac{0{,}248\frac{M_{вед}}{G_{сц}\cdot r_к}}{1-3{,}077\left(\frac{M_{вед}}{G_{сц}\cdot r_к}\right)^3} \qquad (2.75)$$

На основании ранее полученных формул сцепной вес равен

-для серийного автомобиля

$$y_2 = \frac{G_a\cdot b_a+\frac{G_д d}{l}(B_a+a_a)}{B_a}. \qquad (2.76)$$

- для автомобиля с догружающим модулем

$$y_2' = \frac{G_a b_a + \frac{G_д d}{l}(B_a + a_a)}{B_a} + \frac{T_a(h_n - h_a) + T_n sin\varphi \cdot \frac{n}{l}(B_a + a_a)}{B_a}. \quad (2.77)$$

Для лучшей оценки влияние догружающего модуля для грузового автомобиля на сцепной вес автопоезда введём показатель- коэффициент эффективности догружения ведущих колёс

$$К_{эфд} = y_2' / y_2 = 1 + \frac{T_a(h_n - h_a) + T_n sin\varphi \cdot \frac{n}{l}(B_a + a_a)}{G_a \cdot b_a + \frac{G_д d}{l}(B_a + a_a)}. \quad (2.78)$$

Подставляя коэффициент эффективности догружения ведущих колёс (2.78) в выражение (2.75) получим величину буксования для автомобиля с догружающим модулем

$$\delta^э = \frac{0{,}248 \frac{М_{вед}}{G_{сц} Кэфд \cdot r_к}}{1 - 3{,}077 \left(\frac{М_{вед}}{G_{сц} Кэфд \cdot r_к} \right)^3} \quad (2.79)$$

Исходя из выше сказанного выразим величину производительности:

-для серийного автомобиля [105]

$$W = \left(\frac{\mu \cdot j}{L - V_T(1 - \delta)\mu t} \right) m_{прс} V_р, \quad (2.80)$$

Где μ – коэффициент использования пробега, j – коэффициент использования грузоподъёмности, L – длина ездки (плеча подвоза), км, $V_р$ – рабочая скорость движения , км/ч, δ- коэффициент буксования, t – время простоя на погрузо-разгрузочных операциях, ч, $m_{прс}$ – масса груза, перевозимого одним прицепом, т.

-для автомобиля с догружающем модулем (экспериментального)

$$W^э = \left(\frac{\mu \cdot j}{L - V_T \left(1 - \frac{0{,}248 \frac{М_{вед}}{G_{сц} Кэфд \cdot r_к}}{1 - 3{,}077 \left(\frac{М_{вед}}{G_{сц} Кэфд \cdot r_к} \right)^3} \right) \mu t} \right) m_{прс} V_р \quad (2.81)$$

Сравнивая между собой формулы (2.80) и (2.81) можно отметить, что использование догружающего модуля для грузового автомобиля позволяет повысить величину производительности по сравнению с серийным автомобилем.

2.5 Выводы по главе

Проведенные теоретические исследования позволяют сформулировать следующие обоснованные выводы:

1. Предложенный математический аппарат и обзор ранее проведённых исследований подтверждает, что повышения эффективности уборочного процесса в Амурской области возможно достичь за счёт повышения тягово-сцепных свойств автомобиля, снижения нормального давления на почву и применением прицепов выполняющих задачу «транспортных компенсаторов». Из чего можно заключить, что наиболее оптимальным и максимально эффективным методом достижения лучших результатов является рациональное комбинирование рассмотренных способов.

2. Для повышения эффективности использования автомобиля на почвах с низкой несущей способностью необходимо снизить нормальное давление движителей на почву за счёт увеличения площади опоры, что возможно при постановке арочных шин. Это в свою очередь даёт возможность увеличить и массу перевозимого груза.

3. Предложенное теоретическое обоснование подтверждает эффективность разработанной перспективной конструкции- «Догружающего модуля для грузового автомобиля», которое позволяет повысить сцепной вес автомобиля за счёт перераспределения веса с ходовой системы прицепа, что создаст условия для лучшей реализации тягово-сцепных свойств движителем колёсного энергетического средства.

4. В целях подтверждения полученных зависимостей необходимо изготовление экспериментального устройства- «Догружающего модуля для грузового автомобиля», его экспериментальное внедрение и опытная проверка получаемых данных при проведении эксплуатационных испытаний.

3. МЕТОДИКА, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общая методика проведения и задачи экспериментальных исследований

Для подтверждения достоверности полученных во второй главе теоретических зависимостей были проведены следующие экспериментальные исследования[24-26, 32-36,40]:

-лабораторные;- производственные;-сравнительно-хозяйственные.

Проведение этих видов экспериментальных исследований объясняется тем, что:

-при проведении лабораторных испытаний необходимо было определить ряд недостающих параметров, которые входили в полученные теоретические зависимости;

-выполнение производственных экспериментальных исследований обосновано невозможностью воспроизведения в лабораторных условиях реальных условий эксплуатации в полном объёме;

-только сравнительно-хозяйственные испытания позволяют получить исчерпывающие показатели для определения эффективности проведенных исследований в отношении объектов как предлагаемых к производству, так и существующих в изучаемом уровне техники.

В связи с чем определены следующие задачи экспериментальных исследований:

1. Экспериментально установить возникающие процессы, проверить величины взаимодействующих параметров и проанализировать размеры перераспределения сцепного веса между ведущими колёсами автомобиля и прицепа при работе предлагаемого устройства.

2. Провести сравнительные хозяйственные испытания экспериментального (с установленным догружающим модулем для грузового автомобиля) и серийного транспортного средства.

3. Выполнить экономическую и топливно-энергетическую оценку использования экспериментального транспортного средства в обеспечении транспортно-технологического процесса уборки сельскохозяйственной продукции.

3.2 Объекты и условия проведения экспериментальных исследований

Объектами исследования были выбраны следующие транспортные средства:

- автомобиль КамАЗ-4350 в серийном исполнении (рисунок 3.1);

-автомобиль КамАЗ-4350 с установленным устройством-догружающим модулем для грузового автомобиля (рисунок 3.2);

-автомобиль КамАЗ -4350 на арочных шинах (рисунок 3.3);

-прицеп серийный 2ПН-4М (рисунок 3.4);

-экспериментальный прицеп 2ПН-4М на арочных шинах (рисунок 3.5);

-автомобиль КамАЗ-4350 с установленным догружающим модулем для грузового автомобиля и прицепом ПН-4М на арочных шинах (рисунок 3.6);

Рисунок 3.1-Автомобиль КамАЗ-4350 в серийном исполнении

Рисунок 3.2-Экспериментальный автомобиль КамАЗ-4350 с установленным устройством -догружающим модулем для грузового автомобиля

Рисунок 3.3- Автомобиль КамАЗ -4350 на арочных шинах

Рисунок 3.4- Прицеп серийный 2ПН-4М

Рисунок 3.5-Прицеп экспериментальный 2ПН-4М на арочных шинах

Рисунок 3.6- Автомобиль КамАЗ-4350 с установленным устройством - догружающим модулем для грузового автомобиля и прицеп ПН-4М на арочных шинах

Для перераспределения сцепного веса между движителями моста было установлено исследуемое устройство- догружающий модуль для грузового автомобиля (рисунок 3.7 и 3.8)

Рисунок 3.7- Догружающий модуль для грузового автомобиля

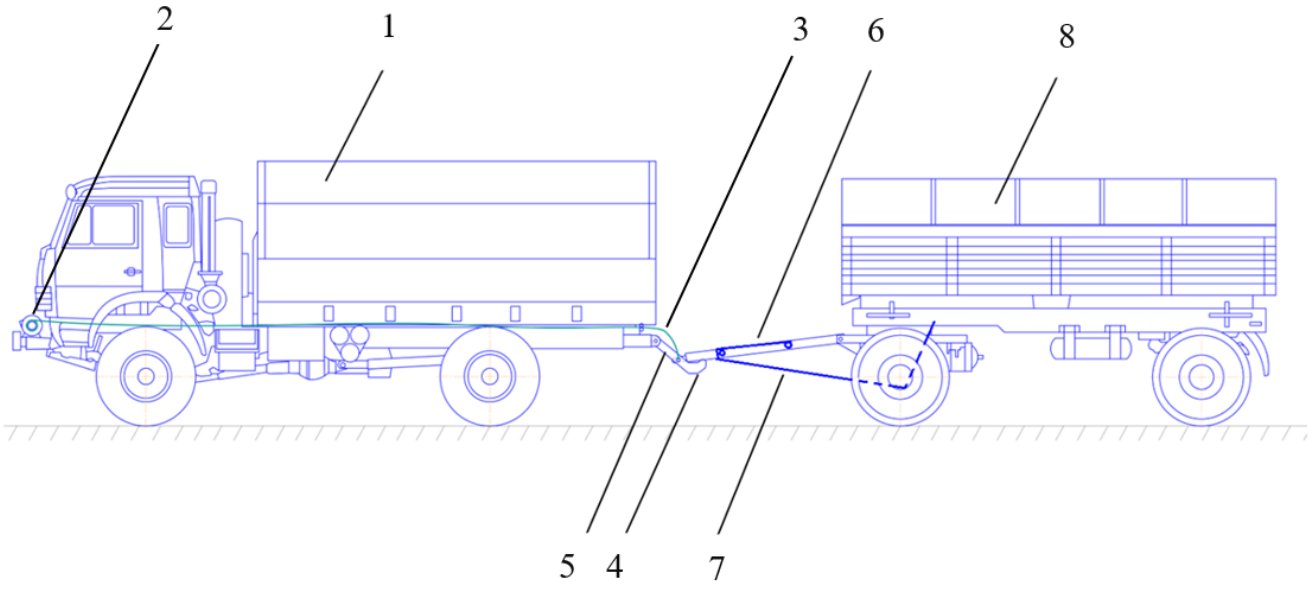


Рисунок 3.8- Конструктивная схема экспериментального автопоезда: 1-автомобиль; 2- лебёдочное устройство; 3- лебёдочная тросовая связь; 4- чалочный крюк; 5- тягово-сцепное устройство автомобиля; 6- дышло прицепа; 7- гибкая тросовая связь; 8- прицеп

Догружающий модуль состоит из лебёдочного устройства (рисунок 3.9), гибкой тросовой части (рисунок 3.10), чалочного крюка (рисунок 3.11), тягово-сцепного устройства с дышлом прицепа (рисунок 3.12) и цепной связи для фиксации дышла прицепа в транспортном положении (рисунок 3.13**).**

Принцип работы устройства следующий. При снижении тягово-сцепных свойств автомобиля водитель подключает лебёдочное устройство, которое натягивает вытяжную гибкую тросовую силовую связь, приподнимая чалочным крюком тягово-сцепное устройство. В этом случае приподнимается дышло прицепа, ранее фиксированное в транспортировочном положении тросовой силовой связью, вместе с передней частью прицепа (рисунок 3.14). что позволяет перераспределить вес прицепа на ходовую систему автомобиля и увеличивать его тягово-сцепные свойства.

Рисунок 3.9- Лебёдочное устройство автомобиля КамАЗ-4350

Рисунок 3.10- Чалочный крюк с гибкой лебёдочной тросовой частью догружающего модуля для грузового автомобиля

Рисунок 3.11-Чалочный крюк догружающего модуля для грузового автомобиля (транспортное положение)

Рисунок 3.12- Работа тягово-сцепного устройства и нагружение дышла прицепа

Рисунок 3.13- Цепная силовая связь для регулирования и фиксации дышла прицепа в транспортном положении

Рисунок 3.14-Фрагмент исследований по поднятию переднего моста прицепа при работе устройства

Экспериментальные исследования проведены в реальных условиях эксплуатации при вывозе продукции с полей и переувлажннении верхнего слоя почвы, в некоторых экспериментах- и наличии снежного покрова в период 2020…2021г.г. (рисунок 3.15, 3.16).

Рисунок 3.15-Фрагмент проведения испытаний в осенний период в условиях переувлажнения верхнего слоя почвы

Рисунок 3.16-Фрагмент проведения испытаний в условиях наличия снежного покрова

3.3 Применённые средства измерений экспериментальных параметров

С целью выявления влияния естественно-производственных условий на эксплуатационные показатели транспортных средств, определения параметров перераспределения сцепного веса между мостами прицепа и автомобиля в реальных условиях эксплуатации были проведены сравнительные испытания. При этом замерялись следующие параметры транспортных средств [24-26, 32-36,40]:

-скорость движения (частота вращения ведущих колёс);

-пройденный путь;

-масса перевозимого груза;

-масса транспортного средства;

-фиксация передачи КПП автомобиля;

-расход топлива;

-время опыта.

-распределение нагрузки по опорным поверхностям движителя.

Измерение вышеназванных параметров проводилось тензометрической аппаратурой, смонтированной на автомобиле, а также передвижной лабораторией, установленной на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ ГАЗ-2705 (рисунок 3.17-3.18, с переносными подкладными весами типа RW-10 (15)P, предназначенными для взвешивания энергетических средств с максимальным количеством осей до трех, а также весы платформенные электронные МВСК(В) (рисунок 3.19).

Рисунок 3.17 - Общий вид передвижной лаборатории установленной на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ ГАЗ-2705

Рисунок 3.18 - Общий вид измерительной аппаратуры комплекса CAS

Рисунок 3.19- Весы платформенные электронные МВСК(В)

Рисунок 3.20 –Калибровка путеизмерительного прибора

3.4.1 Определение расхода топлива

При определении расхода топлива применяются несколько общеизвестных способов [24-26, 32-36,40].

Использование дополнительных датчиков уровня топлива, которые монтируются непосредственно на транспортное средство и измеряют текущий уровень топлива в баке. Точность при этом способе составляет порядка 1%.

Использование ёмкостного датчика. Данный метод является самым простым и основан на измерении электрической емкости между двумя цилиндрическими пластинами при изменении уровня жидкости. Они могут быть использованы как на бензиновых, так и на дизельных транспортных средствах.

Использование метода полного бака. Сущностью данного метода является доливка энергетического средства до полного бака до и после проведения экспериментальных исследований.

3.4.2 Измерение частоты вращения ведущего колеса транспортного средства

Измерение частоты вращения ведущего колеса транспортного средства проводилось по методике, изложенной в работе [89].

При этом теоретическая скорость определялась по формуле

$$V_T = \frac{2\pi \cdot r_k \cdot n_k}{t}, \quad (3.1)$$

где r_k - радиус качения ведущего колеса;t - время опыта;

n_k - частота вращения ведущего колеса автомобиля.

При этом радиус качения определялся следующим образом. На колесе делалась отметка (рисунок 3.21) и автомобиль проезжал без нагрузки 10 оборотов колеса. После этого замерялся пройденный путь и определялся радиус колеса по формуле

$$L=2\,\pi r_k\,n, \quad (3.2)$$

Где n-число оборотов колеса, равное 10.

Рисунок 3.21- Фрагмент определения пройденного пути

3.4.3 Измерение пройденного пути и буксования транспортного средства

Пройденный путь определялся с помощью оригинального путеизмерительного прибора «Пятое колесо» (рисунок 3.20) установленного на транспортное средство, при этом за каждый оборот колеса датчик восемь раз размыкал электрическую цепь, что фиксировалось бортовым измерительным комплексом[24-26, 32-36,40].

Пройденный за опыт путь определялся по формуле

$$L = 2\pi \cdot r'_k \cdot n = 2\pi r_к N/8 \quad (3.3)$$

где n– число оборотов путеизмерительного колеса транспортного средства;

r'_k– радиус качения путеизмерительного колеса транспортного средства, м.

где N_I – количество импульсов по счетчику.

Рабочая скорость транспортного средства определялась по выражению

$$V_p = \frac{L}{t}. \quad (3.4)$$

Буксование ведущих колес транспортного средства определялась по общеизвестной формуле

$$\sigma = \frac{V_T - V_P}{V_T}. \quad (3.5)$$

3.4.4 Измерение перераспределяемой нагрузки на движители транспортного средства

Для измерения перераспределяемой нагрузки между колёсами прицепа и автомобиля использовались весы платформенные электронные МВСК(В)-10 (рисунок 3.19). Основная характеристика весоизмерительного комплекса приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1- Основные характеристики приборного комплекса

Наибольший предел взвешивания (НПВ), т	3	5	10	15	20	30
Наименьший предел взвешивания (НмПВ=20 е), т		0,04	0,1	0,1	0,2	0,2
Класс точности по ГОСТ 29329	Средний III					
Дискретность отсчёта (d) и цена деления поверочного деления (е), d = e, кг		2	5	5	10	10
Пределы допускаемой погрешности при первичной поверке весов, кг: От НмПВ до 500 е включ. Св. 500 е до 2000 е включ. Св. 2000 е		 ±2 ±2 ±4	 ±5 ±5	 ±5 ±5 ±10	 ±10 ±10	 ±10 ±10 ±20
Пределы допускаемой погрешности при периодической поверке весов, кг: От НмПВ до 500 е включ. Св. 500 е до 2000 е включ. Св. 2000 е		 ±2 ±4 ±6	 ±5 ±10	 ±5 ±10 ±15	 ±10 ±20	 ±10 ±20 ±30
Время установления показаний весов не более, с	5					
Потребляемая мощность не более, ВА	20					
Питание весов от сети переменного тока напряжением, В Частотой, Гц	220 (+22; -33) 50 (±1)					
Габаритные размеры ГПУ весов, мм	550 х 750					
Вероятность безотказной работы за 2000 часов	0,95					
Средний срок службы, лет	не менее 12					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весов, °С	От минус 30 до + 50					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весового терминала, °С	От + 5 до + 40					
Относительная влажность окружающего воздуха при температуре 35 °С, %	До 80					

Фрагменты проведения экспериментальных исследований приведены на рисунках 3.22…3.26.

Рисунок 3.22-Фрагмент измерения нагрузки на задние ведущие колёса

Рисунок 3.23-Фрагмент измерения нагрузки на передние ведущие колёса

Рисунок 3.24-Фрагмент измерения нагрузки ходовой системы без работы устройства

Рисунок 3.25 -Фрагмент определения параметров перераспределения нагрузки с передней оси прицепа на автомобиль

Для чистоты опыта под колеса подкладывались деревянные опоры, по высоте равные высоте измерительной площадки весоизмерительного комплекса (рисунок 3.26).

Рисунок 3.26 - Фрагмент проведения замеров с использованием деревянных опор

3.5 Измерение угла наклона

Для измерения параметров работы догружающего модуля для грузового автомобиля, фиксации изменения продольных и поперечных углов агрегатов и узлов транспортного средства использовались электронные инклинометры Absoiute Digital Protractor (рисунок 3.27)

Рисунок 3.27 – Фрагмент измерения угла наклона дышла прицепа и чалочного крюка инклинометром Absoiute Digital Protractor

Краткая характеристика инклинометра Absoiute Digital Protractor приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2- Краткая характеристика инклинометра Absoiute Digital Protractor

Technical Specifications	
Accuracy	0° and 90° ≤ 0.1°, the rest ≤ 0.2°
Resolution	0.05°
Working Range	°:4×90°, mm/m:1000mm/m, %:100%, in/ft:12in/ft
Power	2×AAA alkaline battery
Working Temperature	32°F to 104°F (0°C to 40°C)
Working Humidity	≤ 85%
Protection Grade	IP65

3.6 Измерение массы транспортного средства и массы перевозимого груза

Для измерения массы автомобиля, прицепа и массы перевозимого груза использовались весы платформенные электронные МВСК(В) для поосевого взвешивания автомобильного транспорта МВСК-10-3-А, предел взвешивания 10 т.

3.7 Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний

Проведение хронометражных наблюдений включало в себя следующие этапы [24-26, 32-36,40]:

-подготовка к проведению наблюдений;

-проведение замеров;

-обработка хронометражных замеров;

-анализ полученных данных.

В качестве основных эксплуатационно-технологических показателей были приняты:

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

При этом измерялись:

- время основной работы;
- затраты времени работы по элементам технологической операции;
- объём перевезённого груза;
- количество израсходованного топлива.

В общее время работы автомобиля входили следующие элементы:

- время, затрачиваемое на основную работу;
- время на повороты;
- время на проведение технологического обслуживания;
- время на устранение технологических отказов.

- время на проведение периодического технического обслуживания;

- время на устранение технических отказов.

Производительность за 1 ч. эксплуатационного и сменного времени определяли по известным и рекомендуемым методикам [86].

При определении эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочного процесса проводились эксплуатационные испытания методом хронометражного наблюдения так как он является одним из основных методов при эксплуатационных испытаниях. Полученные в результате данные позволяют провести сравнения по следующим параметрам [24-26, 32-36,40]:

-производительность в час времени движения;

- производительность в час чистого рабочего времени и за смену;

- скорость движения;

- коэффициент использования времени движения;

коэффициент использования времени смены;

- расход топлива на единицу выполненной работы.

Надежной формой наблюдения является проведение сплошного хронометража, при этом хронометражист неотлучно находится в кабине автомобиля в течение всего рабочего времени выполнения операции.

Расход топлива учитывался по уровню в баке перед началом и в конце работы.

3.8 Методика определения физико-механических характеристик почвы

Физико-механические свойства почвы определялись в соответствии с методикой комплексных исследований по изучению влияния ходовых систем сельскохозяйственных тракторов, комбайнов и транспортных средств на почву, разработанной и предложенной ВИМ [68-71]. При этом замерялись следующие параметры: влажность и глубина колеи.

Повторность опытов следующая:

- при определении влажности - пятикратная;
- при определении глубины колеи - пятикратная.

3.8.1 Определение влажности почвы

Определение влажности почвы осуществлялась использованием полупроводникового зонда PM S710 с длиной погружного элемента 30 см. (рисунок 3.28).

Рисунок 3.28- Полупроводниковый зонд PM S710

Порядок определения влажности подробно описан в инструкции по применению. Замеры влажности проводились на глубину 5, 10, 15 см. с фиксацией получаемых параметров.

3.8.2 Измерение глубины колеи

Глубину колеи определяли с использованием метода ординат [67, 89].

Количество выбираемых ординат подбирали исходя из того, чтобы можно было построить сечение колеи с отклонением от действительного не более чем на ± 5 мм.

Измерение глубины колеи производили с помощью технического приспособления (рисунок 3.29).

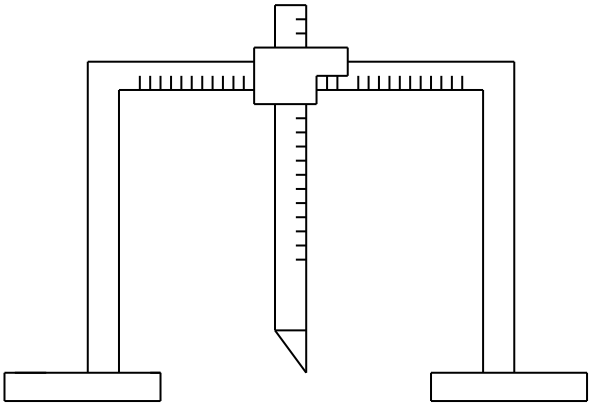


Рисунок 3.29- Схема прибора для проведения измерения глубины колеи, оставленной автомобилем

3.9 Определение тягового сопротивления буксируемого прицепа

Определение методики проведения тяговых испытаний подробно описано в работе [67, 89]. При проведении тяговых испытаниях трактора использовалось тензометрическое звено (рисунок 3.30) и бортовой измерительный комплекс (рисунок 3.31).

Рисунок 3.30- Тензометрическое звено

Рисунок 3.31- Бортовой измерительный комплекс

Тарировку тензометрического звена проводили перед началом и после проведения испытаний (рисунок 3.32 и 3.33).

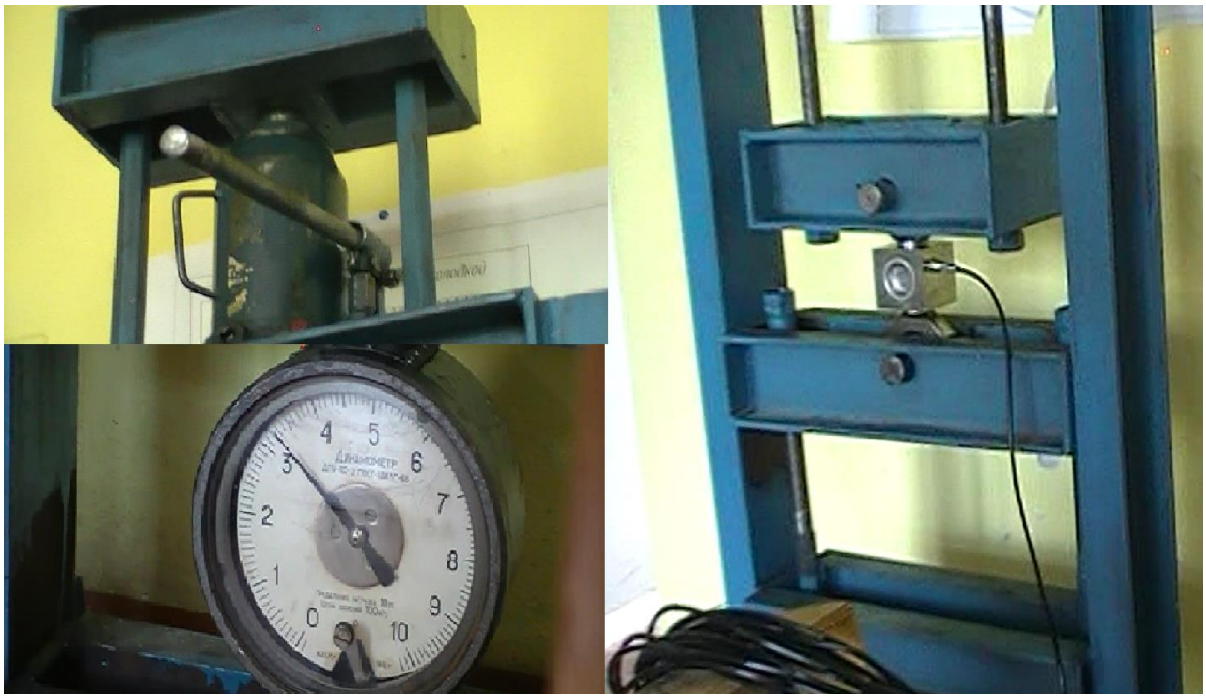


Рисунок 3.32- Тарировка тензометрического звена

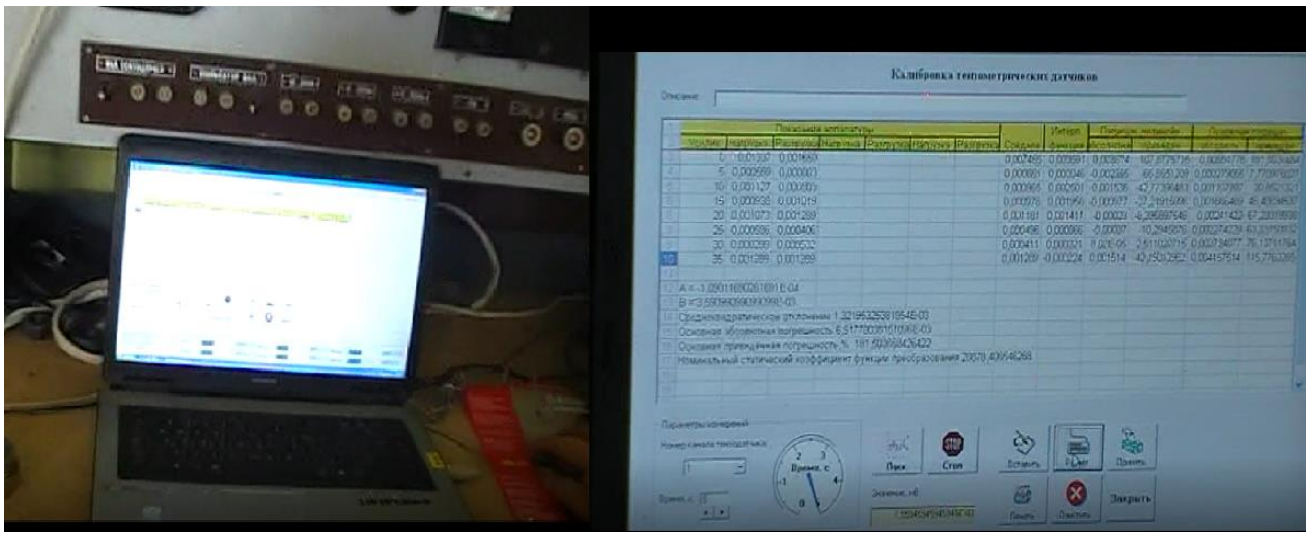


Рисунок 3.33– Фрагмент тарировки тензометрического звена

3.10 Методика математической обработки экспериментальных данных

3.10.1 Оценка точности измерений

Проведение производственных испытаний всегда сопровождаются рядом неизбежных ошибок среди них наиболее распространенные: случайные, систематические и грубые.

При обработке полученных данных и обосновании аналитических выводов необходимо брать во внимание лишь те результаты опытов, в которых не содержатся грубые и систематические односторонние ошибки.

При обработке полученных результатов исследований учитывали относительную суммарную погрешность. Например, при определении пройденного пути суммарная погрешность будет состоять из следующих составляющих:

$$П = П_{дк} + П_{пп} + П_{ик} + П_{оп} \ , \qquad (3.6)$$

где $П_{дк}$ - относительная погрешность допущенная при тарировки датчика оборотов «пятого колеса»; $П_{пп}$ - относительная погрешность из-за относительной неровности поверхности; $П_{ик}$ - относительная погрешность регистрирующего прибора бортового измерительного комплекса;$П_{оп}$ - относительная погрешность при обработки данных. Аналогичным образом находили погрешность при определении других параметров, представленных в таблице 3.3.

Таблица 3.3 -Суммарные относительные ошибки прямых и косвенных измерений

Замеряемые величины	Относительная ошибка, %
Масса перевозимого груза	3,9-4,7
Масса транспортного средства	4,2- 4,5
Масса прицепа	4,1-4,4
Буксование	4,3-4,5
Теоретическая скорость движения	3,1-3,7
Рабочая скорость движения	3,8-4,2
Время опыта	4,1-4.4
Нагрузка на движитель	3,9-4,2
Угол наклона	3,8-4,3
Пройденный путь	4,1 -4,4

3.10.2 Статистическая обработка экспериментальных данных

Все методы математико-статистического анализа условно делятся на первичные и вторичные. Первичными называют методы, с помощью которых можно получить показатели, непосредственно отражающие результаты производимых в эксперименте измерений. Соответственно под первичными статистическими показателями имеются в виду те, которые применяются в самих психодиагностических методиках и являются итогом начальной статистической обработки результатов психодиагностики. Вторичными называются методы статистической обработки, с помощью которых на базе первичных данных выявляют скрытые в них статистические закономерности.

К первичным методам статистической обработки относят, например, определение выборочной средней величины, выборочной дисперсии, выборочной моды и выборочной медианы. В число вторичных методов обычно включают корреляционный анализ, регрессионный анализ, методы сравнения первичных статистик у двух или нескольких выборок.

При статистической обработке результатов измерений с целью нахождения закона распределения экспериментальных данных необходимо построить соответствующую модель теоретического закона распределения, путем сопоставления эмпирической модели известным законам распределения. Эта задача решается с помощью критерия согласия Пирсона χ^2.

Применение критерия χ^2 осуществляется по следующему алгоритму.

1. По экспериментальным данным при выборке проводится оценка параметров нормального закона распределения:

– среднего арифметического значения серии измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i, \tag{3.7}$$

где x_i – значение измеряемой величины;

n – число выборки.

– дисперсии:

$$S^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2. \quad (3.8)$$

2. Вычисляются теоретические частоты $n_i^{'}$

$$n_i^{'} = \frac{nh}{S} \varphi(u_i), \quad (3.9)$$

где h - шаг (разность между соседними вариантами);

S – выборочное среднее квадратичное отклонение;

$u_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S}$; $\varphi(u_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-u^2}{2}}$ находится по таблице.

Полученная частота $n_i^{'}$ округляется до целых значений.

3. Определяется мера расхождения эмпирического и теоретического распределения χ_0^2

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^{l} \frac{(n_i - n_i^{'})^2}{n_i^{'}}. \quad (3.10)$$

4. Число степеней свободы k вычисляется по формуле

$$k=s-r=s-3,$$

где s – число интервалов вариационного ряда, $r=3$ – сумма числа параметров теоретического закона распределения, учитывая параметры нормального распределения, определенные в пункте 1.

5. Выбирается уровень надежности α.

6. По найденному числу степеней свободы k и уровню надежности α, пользуясь таблицей «Критические точки распределения» определяется критическое значение $\chi_{\text{кр}}^2$.

7. Если $\chi_0^2 < \chi_{\text{кр}}^2$ – то гипотеза о нормальном распределении исследуемого признака подтверждается. Если $\chi_0^2 > \chi_{\text{кр}}^2$ – то гипотеза о нормальном распределении исследуемого признака отвергается.

В случае ограниченного объема выборки определяется степень точности и надежности оценок математического ожидания m и среднеквадратичного отклонения σ.

По выборочной средней $\bar{x}$ и выборочному среднеквадратичному отклонению S находятся доверительные интервалы по формулам:

– для математического ожидания m

$$\bar{x} - \frac{S}{\sqrt{n}} t_\alpha < m < \bar{x} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_\alpha, \quad (3.11)$$

где t_α– коэффициент Стьюдента; α – надежность,

– для среднего квадратического отклонения

$$S(1-q) < \sigma < S(1+q), \quad (3.12)$$

где q – табличное значение величины, соответствующей n и α.

8. свободы k и уровню надежности α, пользуясь таблицей «Критические точки распределения» определяется критическое значение $\chi^2_{\text{кр}}$.

9. Если $\chi^2_0 < \chi^2_{\text{кр}}$ – то гипотеза о нормальном распределении исследуемого признака подтверждается. Если $\chi^2_0 > \chi^2_{\text{кр}}$ – то гипотеза о нормальном распределении исследуемого признака отвергается.

В случае ограниченного объема выборки определяется степень точности и надежности оценок математического ожидания m и среднеквадратичного отклонения σ.

По выборочной средней $\bar{x}$ и выборочному среднеквадратичному отклонению S находятся доверительные интервалы по формулам:

– для математического ожидания m

$$\bar{x} - \frac{S}{\sqrt{n}} t_\alpha < m < \bar{x} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_\alpha, \quad (3.13)$$

где t_α– коэффициент Стьюдента; α – надежность,

– для среднего квадратического отклонения

$$S(1-q) < \sigma < S(1+q), \quad (3.14)$$

где q – табличное значение величины, соответствующей n и α.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению веса в ходовой системе автопоезда

4.1.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению сцепного веса между мостами автомобиля

Как установлено, одним из действенных способов повышения тягово-сцепных свойств колёсных мобильных энергетических средств в условия низкой несущей способности почвы является увеличения площади контакта движителя с почвой. Для колёсных тракторов нашла широкое применение установка сдвоенных колёс с хорошо развитыми грунтозацепами, что обеспечивает увеличение площади контакта движителя с поверхностью движения и позволяет снизить нормальное давление на почву и, как следствие, избежать значительного продавливания верхнего несущего почвенного слоя.

Для автомобилей использование сдвоенных колёс не всегда даёт положительный результат вследствие того, что происходит полное залипание пространства между движителями, грунтозацепами колеса и сдвоенные колёса тогда представляют собой сплошной каток, не способный реализовать сцепные качества. Одним из способов решения проблемы повышения тягово-сцепных свойств автомобиля является установка арочных шин с развитыми грунтозацепами. Наиболее оптимальный результат, как установлено, будет достигнут при использовании полноприводных среднетоннажных двухосных автомобилей семейства КамАЗ, по типу модели 4350 при замене стандартных шин КАМА-1260 425/85R21 на арочные Я-170А 1140х700, что позволит максимально реализовать мощностные показатели, заложенные заводом изготовителем.

Наряду с использованием шин большего размера (арочных) повысить тягово-сцепные свойства также возможно за счёт увеличения полезной нагрузки на ведущие колёса, в частности путем использования передаваемой части веса прицепа. Однако наличие повышенной влажности почвы не позволяет применить этот способ при использовании серийного варианта автомобиля. В этом случае

дополнительная нагрузка на движители приведет к продавливанию верхнего слоя почвы и повысит величину буксования.

Таким образом, наиболее рациональным в данной ситуации представляется комплексное решение обозначенной задачи по повышению тягово-сцепных свойств за счёт замены стандартных шин на арочные (рисунок 4.1) с одновременной установкой устройства для перераспределения веса между звеньями агрегата-прицепом и автомобилем[64- 66].

а)

б)

Рисунок 4.1- Общий вид серийных и арочных автошин
а-вид фронтальный; б-вид профильный

Это решение позволит не только повысить тягово-сцепные свойства автомобиля но и одновременно снизить проваливание автопоезда и его техногенное воздействие в одинаковых почвенных условиях (рисунок 4.2).

Рисунок 4.2- Фрагмент проведения исследований серийного и экспериментального автомобилей в условиях переувлажнения

Как видно из представленного рисунка 4.2 автомобиль, оборудованный арочными шинами, имеет меньшее нормальное давление движителей на почву, что позволяет повысить его сцепной вес с целью использования на перевозках в рассматриваемых условиях уборки при агрегатировании с прицепами, также оснащёнными арочными шинами, в целом позволяющими снизить нормальное давление транспортного агрегата на почву.

Как было указано выше, для повышения сцепного веса было разработана и теоретически обоснована конструкция перспективного перераспределяющего устройства - догружающего модуля для грузового автомобиля.

С целью подтверждения полученных ранее теоретических зависимостей проведены экспериментальные исследования по перераспределению сцепного веса между колёсами прицепа (передней осью) и задними ведущими колёсами автомобиля. При проведении исследований учитывалось влияние угла наклона чалочного крюка (рисунок 4.3), приходящая осевая нагрузка на опоры автопоезда (рисунок 4.4), угла наклона дышла прицепа (рисунок 4.5) и высоты подъёма дышла прицепа (рисунок 4.6) на сцепной вес, приходящейся на задние ведущие колёса автомобиля.

Рисунок 4.3- Фрагмент измерения угла наклона чалочного крюка

Рисунок 4.4- Фрагмент измерения осевой нагрузки автопоезда

Рисунок 4.5- Фрагмент измерения угла наклона дышла прицепа

Рисунок 4.6- Фрагмент измерения высоты подъёма чалочного крюка и дышла прицепа

Результаты экспериментальных исследований приведены в виде графиков на рисунках 4.7…4.8.

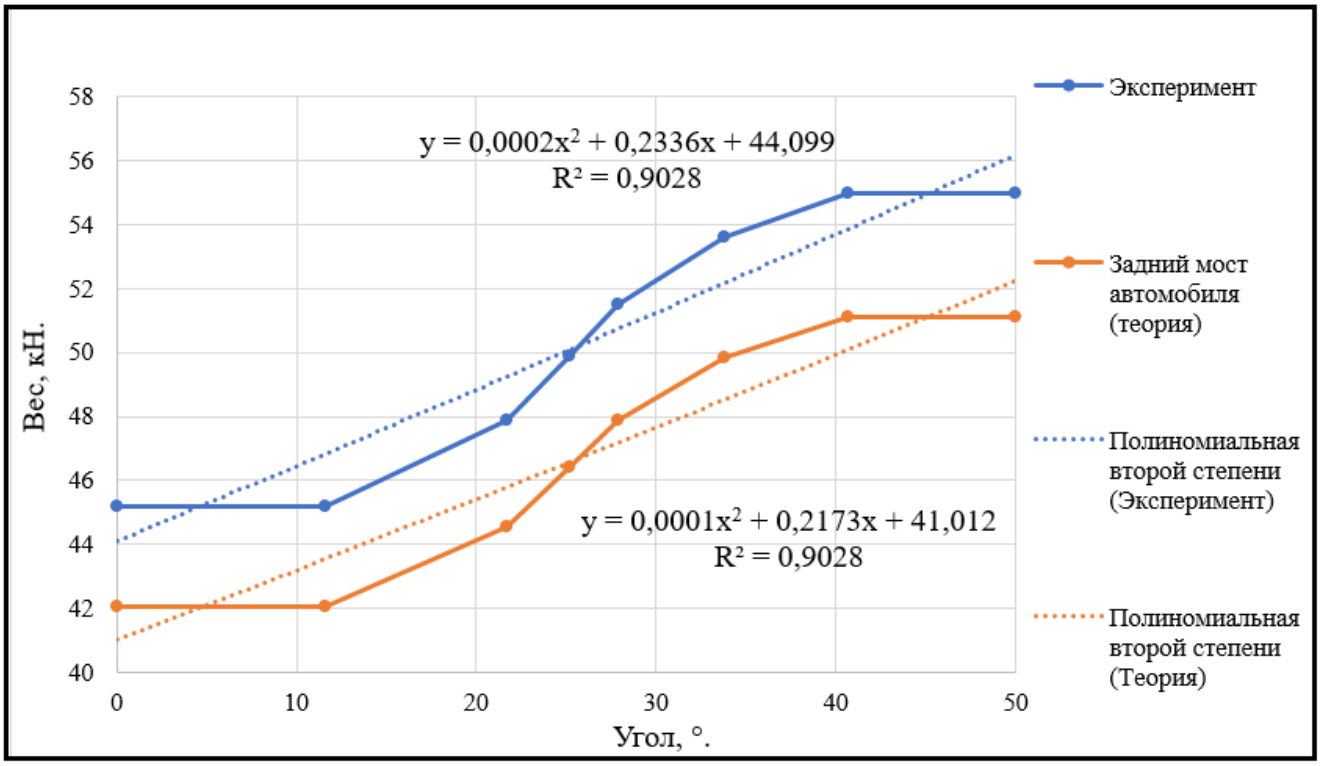


Рисунок 4.7- Зависимость сцепного веса, перераспределяемого на задние ведущие колёса автомобиля, от угла наклона чалочного крюка

Рассматриваемый процесс перераспределения для экспериментального автомобиля в зависимости от угла наклона чалочного крюка может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = 0{,}0002x^2 + 0{,}2336x + 44{,}099. \quad (4.1)$$

при коэффициенте корреляции, равном $R^2 = 0{,}9028$

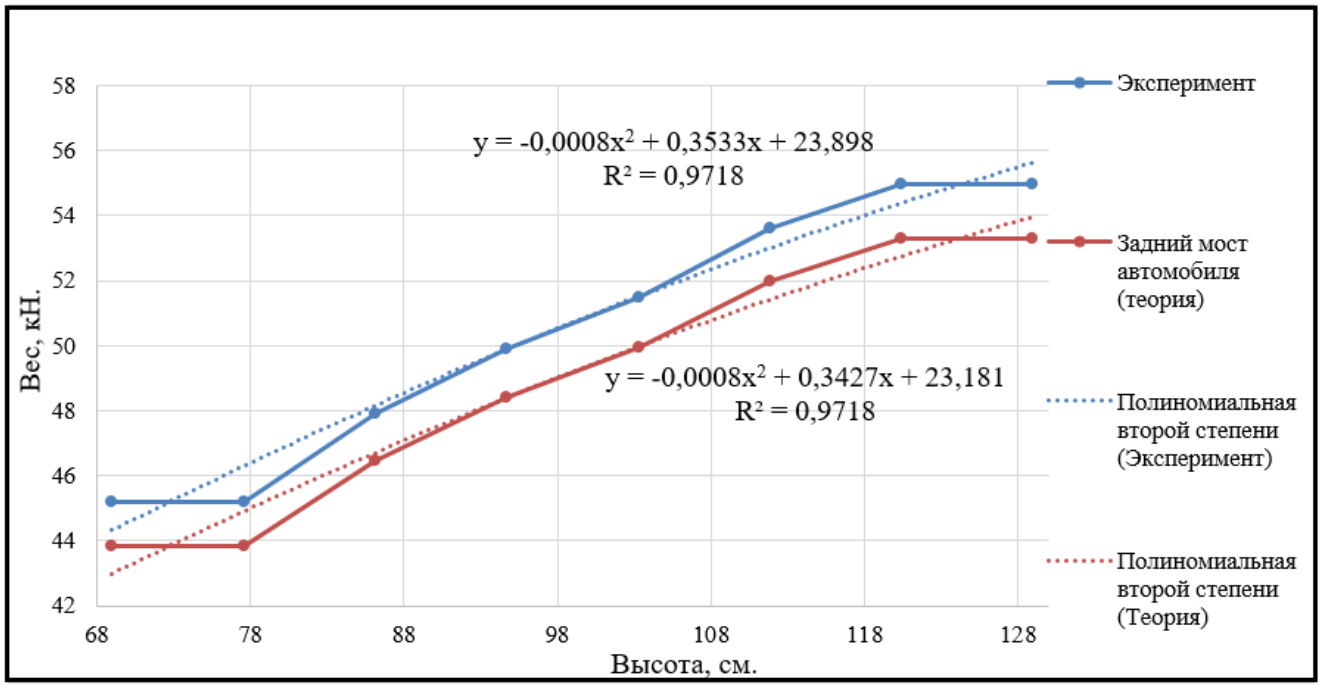


Рисунок 4.8- Зависимость сцепного веса, перераспределяемого на задние ведущие колёса автомобиля, от высоты подъёма дышла прицепа

Рассматриваемый процесс перераспределения для экспериментального автомобиля в зависимости от высоты подъёма дышла прицепа может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = -0{,}0008x^2 + 0{,}3533x + 23{,}898. \quad (4.2)$$

при коэффициенте корреляции, равным $R^2 = 0{,}9718$

Анализируя полученные данные (рисунок 4.7) необходимо отметить, что при увеличении угла подъёма чалочного крюка происходит увеличение нагрузки на задние колеса автомобиля. Так при увеличении угла наклона от 0 до 42 градусов увеличение сцепного веса приходящегося на задние колёса автомобиля составило от 45,5 кН до 55,45кН.

При увеличении высоты подъём дышла прицепа получены аналогичные данные. Так при увеличении высоты подъёма дышла прицепа (рисунок 4.8) с 0,68 м до 1,22 м возрастание сцепного веса, перераспределяемого на задние ведущие колёса автомобиля, составило от 45,5 кН до 55,45кН.

Также установлено, что после достижения максимальной высоты подъёма сцепного узла «чалочный крюк- дышло прицепа» в 1,22 метра и максимального угла поднятия дышла, равного 42 градусам, дальнейшего перераспределения веса не наблюдается, что говорит о достижении максимальных показаний при этих параметрах.

На основании полученных данных (рисунок 4.7…4.8) установлено, что использование предлагаемого устройства позволяет повысить сцепной вес, приходящейся на задние ведущие колёса автомобиля, за счёт его перераспределения в ходовой системе транспортного агрегата. В то же время необходимо отметить, что возрастание сцепного веса происходит не сразу с момента изменения угла наклона или высоты подъёма чалочного крюка или дышла, а через определенный интервал. Это объясняется тем, что в начале работы по перераспределению веса происходит выборка промежуточных натяжений в конструкции догружающего устройства.

На основании полученных экспериментальных данных в среде *Mathcad построена к*омбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости перераспределяемого на задний мост автомобиля сцепного веса от высоты подъёма дышла прицепа и угла подъёма чалочного крюка перераспределяющего устройства, представленная на рисунке 4.9.

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с полиномами 2-ой степени, при достоверности аппроксимации которых $R^2 = 1$, была получена мультипликативная модель зависимости перераспределяемого веса Z, кН от высоты подъёма дышла прицепа x, см и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства y, градус.

$$z(x;y) = -19{,}32 \cdot 10^{-5} x^2 y + 85{,}32 \cdot 10^{-3} xy + 15{,}56 \cdot x - \\ - 35{,}23 \cdot 10^{-4} x^2 + 5{,}77 \cdot y + 10{,}53 \cdot 10^2 \qquad (4.3)$$

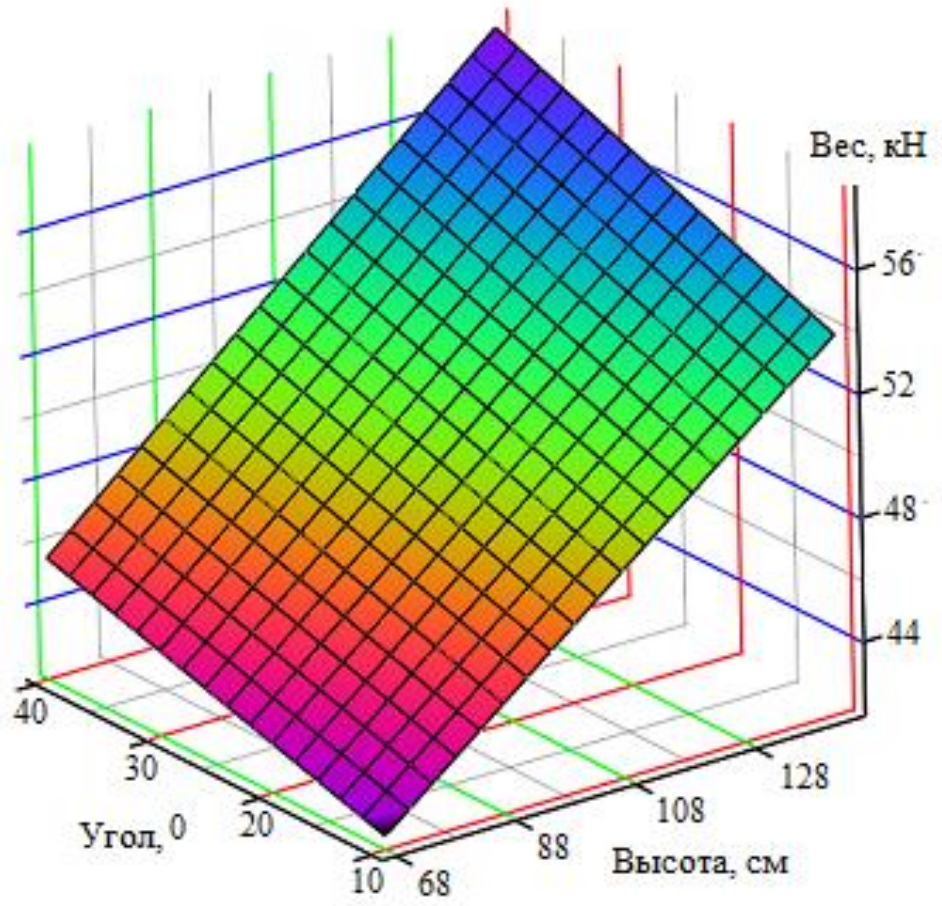


*Рисунок 4.9- К*омбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости перераспределяемого на задний мост автомобиля сцепного веса от высоты подъёма дышла прицепа и угла подъёма чалочного крюка перераспределяющего устройства

Анализируя зависимость передаваемого сцепного веса Z от таких факторов, как высота подъёма дышла прицепа X и угла наклона дышла прицепа Y необходимо отметить, что наибольшая высота подъёма дышла прицепа в сочетании с наибольшим углом наклона чалочного крюка в пределах взаимодействующих параметров предполагают наибольший передаваемый сцепной вес на задний мост автомобиля.

Учитывая, что ходовая система автомобиля является замкнутой взаимовлияющей на технологические характеристики агрегата конструкцией, практический интерес представляет рассмотрение процесса и определение силовых

характеристик влияния предложенного догружающего модуля на перераспределение сцепного веса, приходящегося как на задние ведущие колёса автомобиля, так и на передние управляемые ведущие колёса, участвующие в формировании касательной силы тяги и отвечающие за параметры управляемости агрегата.

Как известно, для стабильного управления траекторией движения любого энергетического средства необходимо, чтобы на передние управляемые колёса приходилось не менее 20% от общего веса автомобиля, что является обязательным параметром при рассмотрении эффективности и безопасности перераспределяющего устройства.

С этой целью были проведены экспериментальные исследования по влиянию догружающего модуля для грузового автомобиля на передние колёса автомобиля. Результаты исследований приведены на рисунках 4.10…4.11.

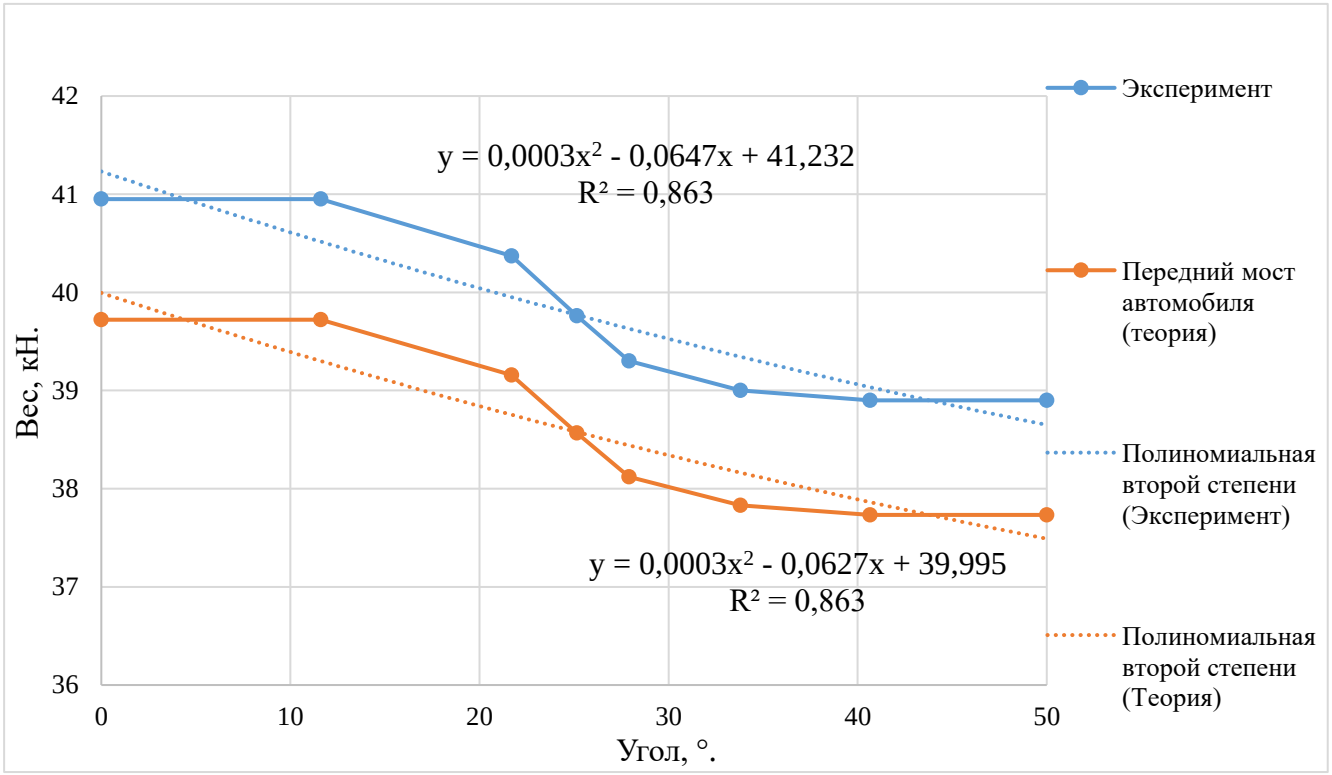


Рисунок 4.10- Зависимость сцепного веса, приходящегося на передние ведущие колёса автомобиля, от угла наклона чалочного крюка

Рассматриваемый процесс изменения веса, приходящегося на передние ведущие колёса автомобиля, от угла наклона чалочного крюка , может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = 0{,}0003x^2 - 0{,}0647x + 41{,}232. \quad (4.4)$$

при коэффициенте корреляции, равном $R^2 = 0{,}863$.

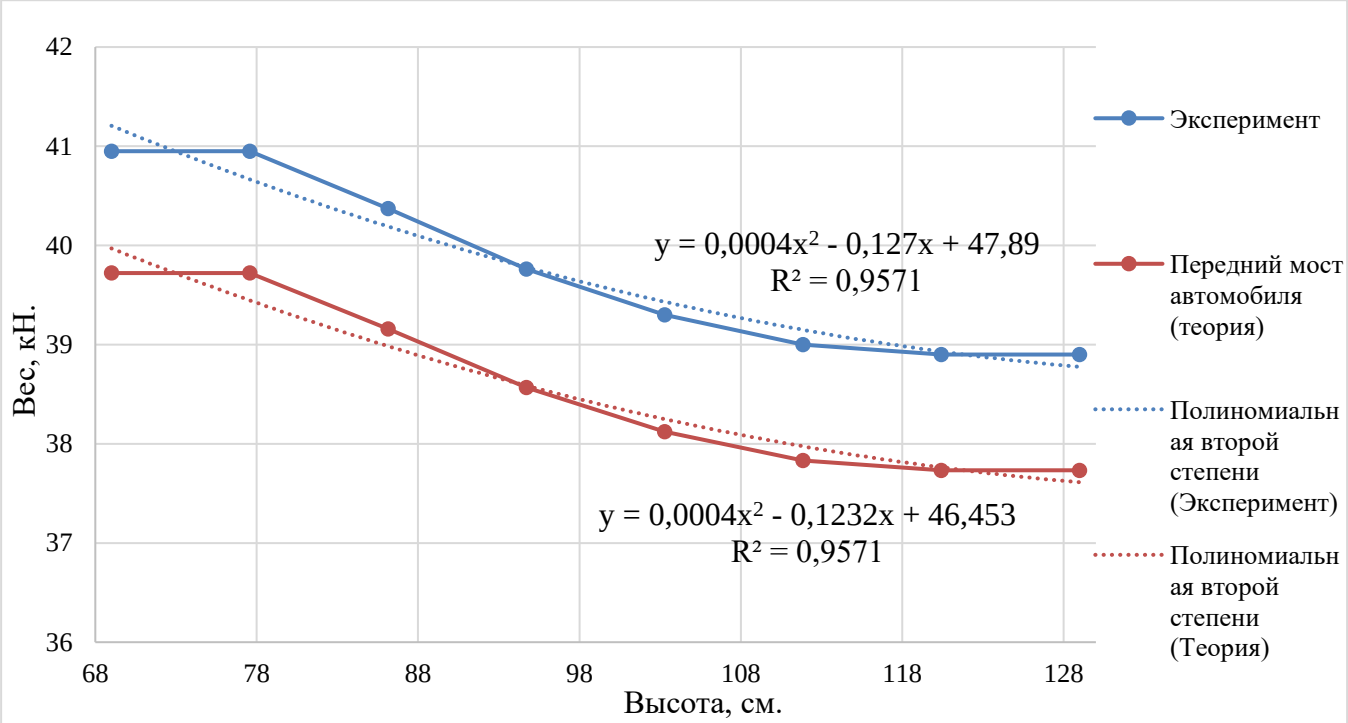


Рисунок 4.11- Зависимость сцепного веса, приходящегося на передние ведущие колёса автомобиля, от высоты подъёма дышла прицепа

Исследуемый процесс изменения веса, приходящегося на передние ведущие колёса автомобиля, от высоты подъёма дышла прицепа, может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = 0{,}0004x^2 - 0{,}127x + 47{,}89. \quad (4.5)$$

при коэффициенте корреляции, равном $R^2 = 0{,}9571$.

Как показали проведённые исследования, в результате работы предлагаемого устройства произошло частичное снижение сцепного веса, приходящегося на передний мост автомобиля. Так при изменении угла наклона чалочного крюка от 0 градусов до 42 градусов (рисунок 4.10) произошло снижение

сцепного веса с 4,095 кН до 3,895 кН. То есть произошло снижение сцепного веса на 0,190 кН или на 4,8%. В тоже время снижение сцепного веса, приходящегося на передний мост, не влечёт за собой значительного снижения сцепных свойств автомобиля в целом.

Это объясняется тем, что у полноприводного автомобиля с колёсной формулой 4К4 считается весь вес, приходящейся на колеса. Таким образом, снижение на 4,8% сцепного веса, приходящегося на передние колёса автомобиля практически не скажется на управляемости и маневренности автомобиля в целом. Аналогичные данные получены и при изменении высоты подъёма дышла прицепа (рисунок 4.11).

На основании полученных экспериментальных данных в среде *Mathcad* построена *к*омбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса переднего моста автомобиля от высоты подъёма дышла прицепа и угла подъёма чалочного крюка перераспределяющего устройства, представленная на рисунке 4.12.

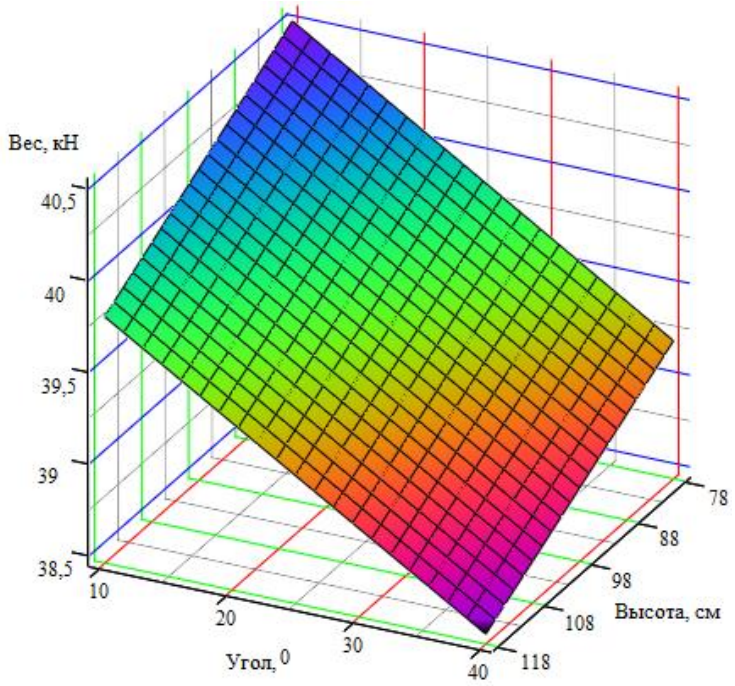


Рисунок 4.12- *К*омбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса, приходящегося на передний мост автомобиля от высоты подъёма дышла прицепа и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с полиномами 2-ой степени, при достоверности аппроксимации которых $R^2 = 1$, была получена мультипликативная модель зависимости изменения сцепного веса переднего моста автомобиля Z, кН от высоты подъёма дышла прицепа x, см и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства y, градус.

$$z(x;y) = -20{,}68 \cdot 10^{-6} x^2 y + 16{,}45 \cdot 10^{-3} x^2 + 65{,}65 \cdot 10^{-4} xy - \\ - 5{,}22 \cdot x - 2{,}48 \cdot y + 19{,}69 \cdot 10^2 \quad (4.6)$$

Анализ полученной зависимости перераспределяемого сцепного веса Z от таких факторов, как высота подъёма дышла прицепа X и угол наклона дышла прицепа Y необходимо отметить, что наибольшая высота подъёма дышла прицепа в сочетании с наибольшим углом наклона чалочного крюка в пределах взаимодействующих параметров предполагают распределение сцепного веса с переднего управляемого моста автомобиля на задний ведущий мост.

Таким образом экспериментально были удостоверены процессы перераспределения сцепного веса, возникающие в ходовой системе автомобиля под действием предлагаемого догружающего модуля, в размерах и величинах, подтверждающих теоретические исследования.

При этом представленные теоретические и экспериментальные данные находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности проведенных исследований.

4.1.2 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению сцепного веса между передним и задним мостом прицепа

Учитывая, что основным предназначением исследуемого перераспределяющего устройства является распределение сцепного веса агрегатируемого прицепа, представляет определённый практический интерес рассмотрение процессов изменения веса, приходящегося как на передний мост, так и на задний мост прицепа при работе предлагаемого устройства.

В связи с чем были проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены в виде графиков на рисунках 4.13…4.14.

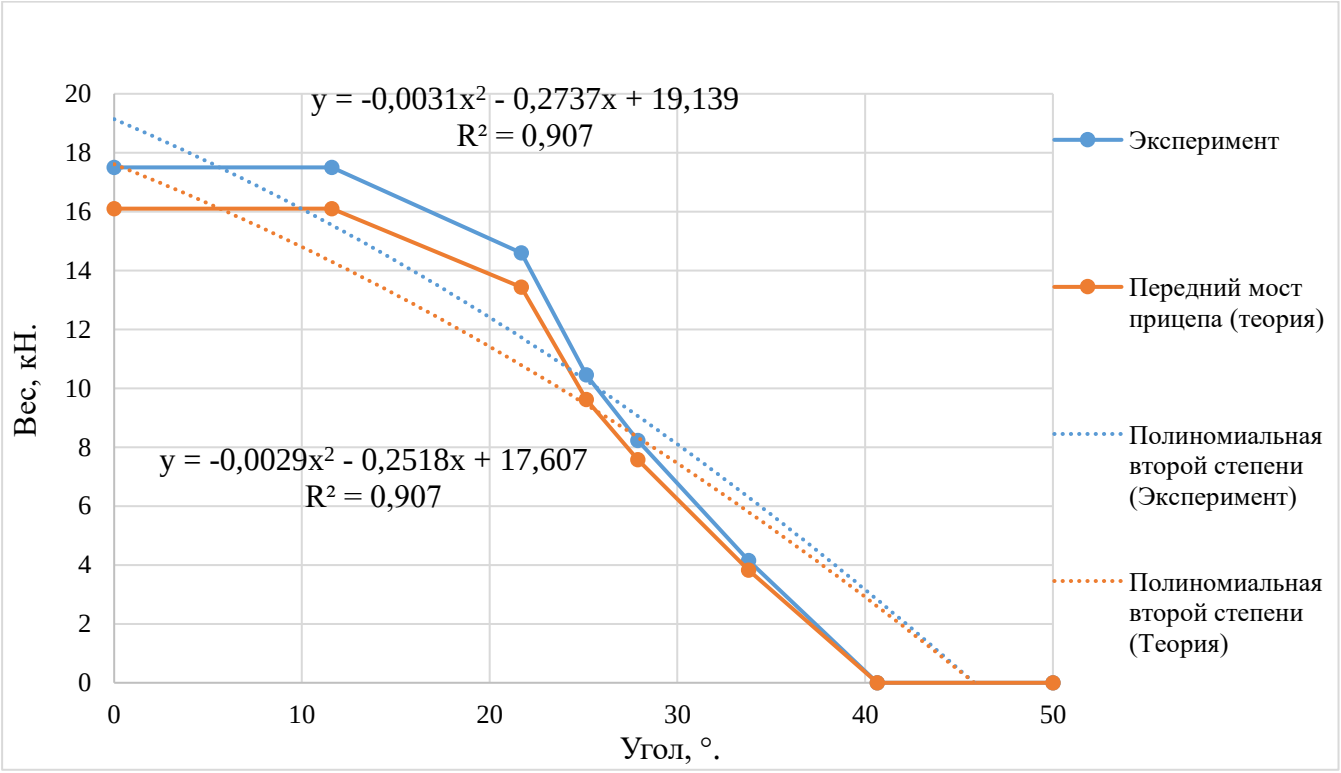


Рисунок 4.13- Зависимость изменения веса, приходящегося на передний моста прицепа, от угла наклона чалочного крюка

Рассматриваемый процесс изменения веса управляемого моста прицепа в зависимости от угла наклона чалочного крюка может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = -0{,}0031x^2 - 0{,}2737x + 19{,}139 \qquad (4.7)$$

при коэффициенте корреляции, равном $R^2 = 0,907$.

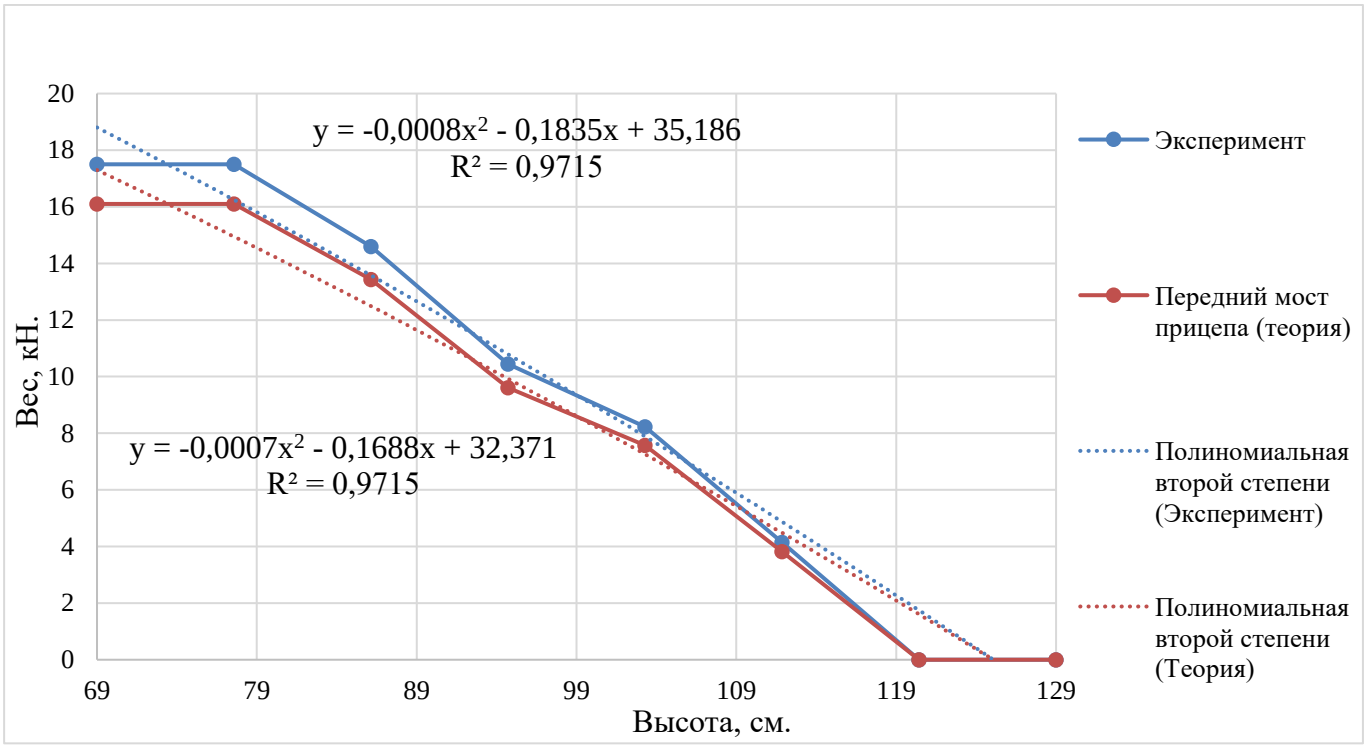


Рисунок 4.14- Зависимость изменения веса, приходящегося на передний мост прицепа, от высоты подъёма его дышла

Рассматриваемый процесс изменения веса переднего моста прицепа от высоты подъёма его дышла может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = -0,0008x^2 - 0,1835x + 35,186. \quad (4.8)$$

при коэффициенте корреляции, равном $R^2 = 0,9715$.

Анализ полученных данных (рисунок 4.13…4.14) показывает, что при работе устройства происходит снижение веса, приходящегося на передний управляемый мост прицепа. Так при изменении угла наклона чалочного крюка (рисунок 4.13) от 0 до 40 градусов произошло снижение веса, распределяемого с переднего моста прицепа с 17.50 кН при 0 градусов до 0 кН при 40 градусах. Установлено, что при 40 градусах произошёл отрыв колёс переднего моста прицепа от поверхности

движения. Аналогичные данные получены и при изменении высоты подъёма дышла прицепа (рисунок 4.14).

На основании полученных экспериментальных данных в среде *Mathcad построена к*омбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса переднего моста прицепа от высоты подъёма дышла прицепа и угла подъёма чалочного крюка перераспределяющего устройства, представленная на рисунке 4.15.

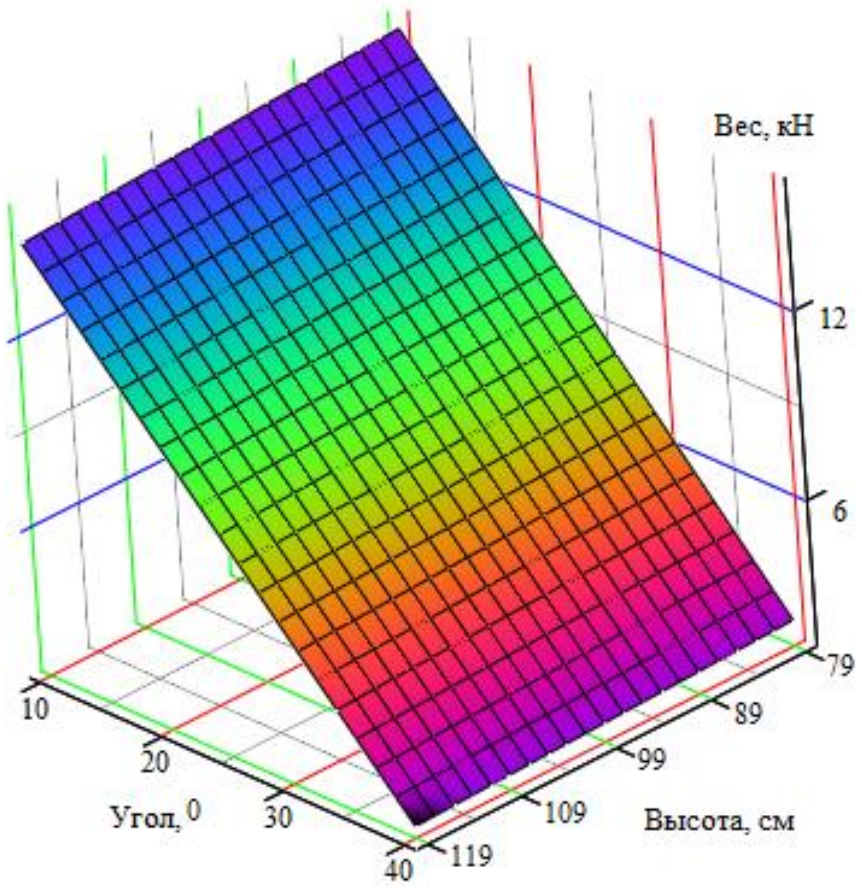


Рисунок 4.15- *К*омбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса, приходящегося на передний мост прицепа, от высоты подъёма дышла прицепа и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с полиномами 2-ой степени, при достоверности аппроксимации которых $R^2 = 1$, была получена мультипликативная модель зависимости изменения сцепного веса

переднего моста прицепа Z, кН от высоты подъёма дышла прицепа x, см и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства y, градус.

$$z(x;y)=34{,}43\cdot10^{-5}x^2y-16{,}32\cdot10^{-3}x^2+78{,}98\cdot10^{-3}\cdot x\cdot y- \\ -3{,}74\cdot x-15{,}14\cdot y+7{,}18\cdot10^{2} \quad (4.9)$$

Анализ полученной зависимости перераспределяемого сцепного веса Z от таких факторов, как высота подъёма дышла прицепа X и угол наклона дышла прицепа Y необходимо отметить, что наибольшая высота подъёма дышла прицепа в сочетании с наибольшим углом наклона чалочного крюка в пределах взаимодействующих параметров предполагают полное распределение сцепного веса с поднятого переднего моста на соответствующие опоры транспортного агрегата.

Для рассмотрения процесса перераспределения веса, приходящегося на задний мост прицепа проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены в виде графиков на рисунках 4.16…4.17

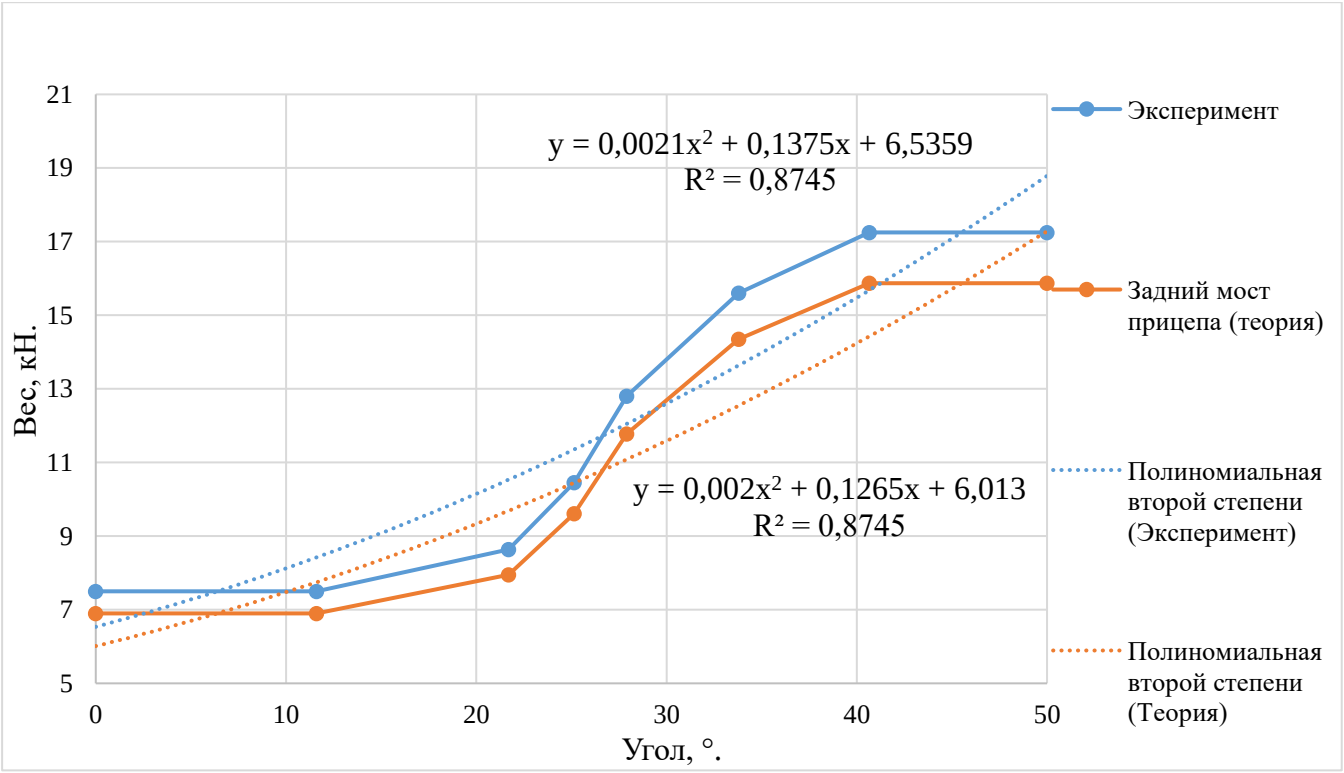


Рисунок 4.16- Зависимость изменения веса, приходящегося на задний мост прицепа, от угла наклона чалочного крюка

Рассматриваемый процесс изменения веса заднего моста прицепа в зависимости от угла наклона чалочного крюка может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = 0{,}0021x^2 + 0{,}1375x + 6{,}5359. \quad (4.10)$$

при коэффициенте корреляции, равном $R^2 = 0{,}8745$.

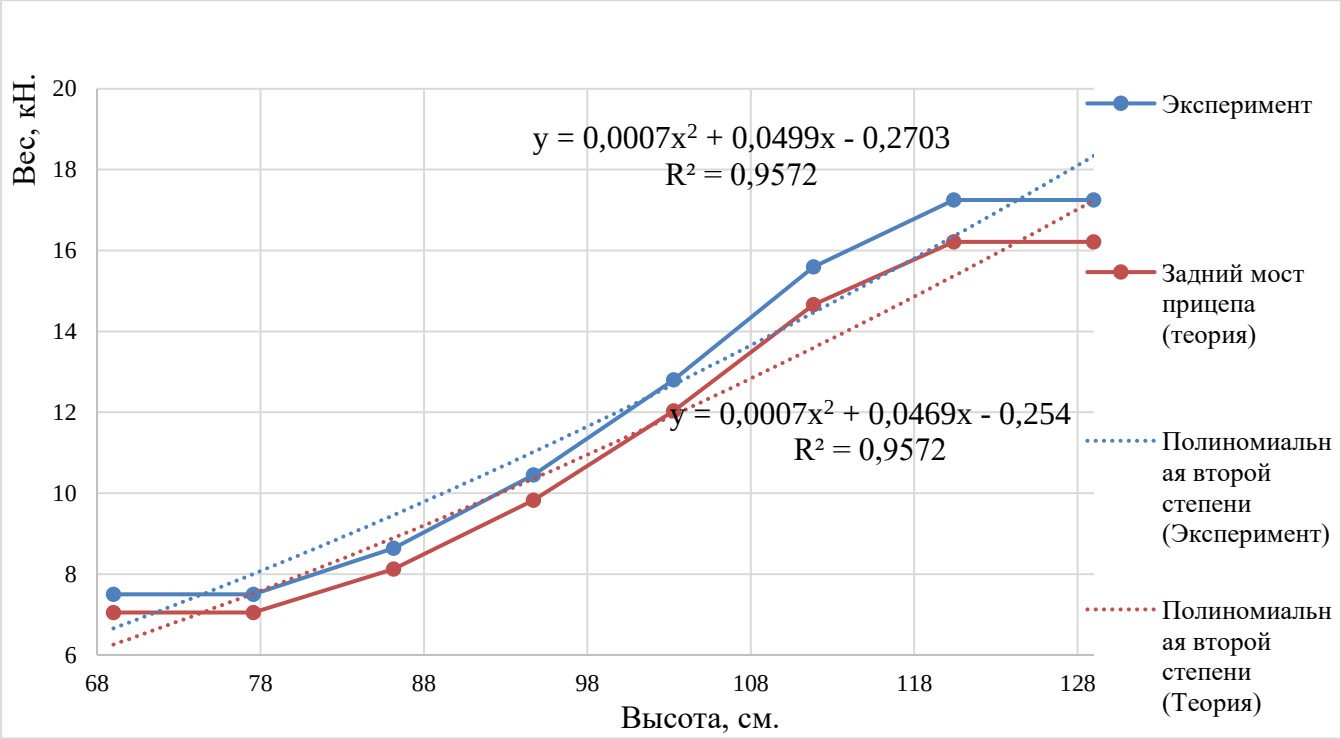


Рисунок 4.17- Зависимость изменения веса, приходящегося на задний мост прицепа, от высоты подъёма дышла

Рассматриваемый процесс изменения веса заднего моста прицепа в зависимости от высоты подъёма дышла может быть описан следующим полиноминальным уравнением второй степени

$$y = 0{,}0007x^2 + 0{,}0499x - 0{,}2703. \quad (4.11)$$

при коэффициенте корреляции, равном $R^2 = 0{,}9572$.

Анализ полученных данных (рисунок 4.16…4.17) показывает, что при работе устройства происходит увеличение веса, приходящегося на задний мост прицепа. Так при изменении угла наклона чалочного крюка (рисунок 4.16) от 0 до 40 градусов произошло увеличение веса, распределяемого на задний мост прицепа с 7.60 кН при 0 градусов до 17.2 кН при 40 градусах. Аналогичные данные получены и при изменении высоты подъёма дышла прицепа (рисунок 4.17).

На основании полученных экспериментальных данных в среде *Mathcad построена к*омбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса заднего моста прицепа от высоты подъёма дышла прицепа и угла подъёма чалочного крюка перераспределяющего устройства, представленная на рисунке 4.18.

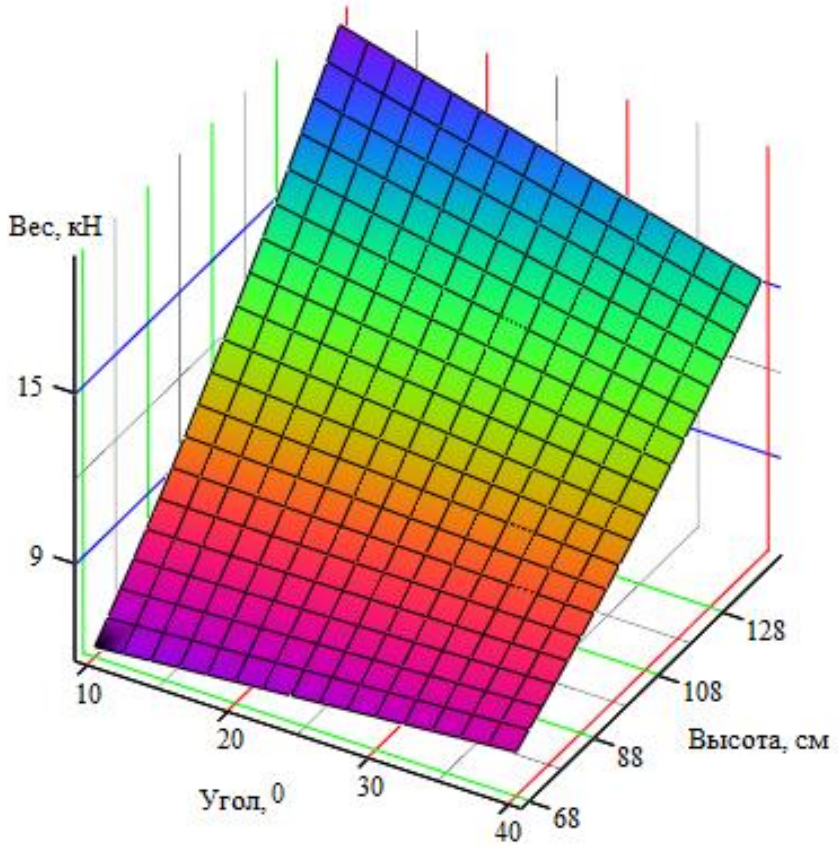


Рисунок 4.18- Комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса заднего моста прицепа от высоты подъёма дышла прицепа и угла подъёма чалочного крюка перераспределяющего устройства

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с полиномами 2-ой степени, при достоверности аппроксимации которых $R^2 = 1$, была получена мультипликативная модель зависимости изменения сцепного веса переднего моста прицепа Z, кН от высоты подъёма дышла прицепа x, см и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства y, градус.

$$z(x;y) = 17{,}12 \cdot 10^{-5} x^2 y + 39{,}74 \cdot 10^{-4} x^2 + 12{,}21 \cdot 10^{-3} \cdot x \cdot y + \\ + 28{,}33 \cdot 10^{-2} \cdot x - 66{,}11 \cdot 10^{-3} \cdot y - 1{,}53 \quad (4.12)$$

Анализ полученной зависимости перераспределяемого сцепного веса Z от таких факторов, как высота подъёма дышла прицепа X и угол наклона дышла прицепа Y необходимо отметить, что наибольшая высота подъёма дышла прицепа в сочетании с наибольшим углом наклона чалочного крюка в пределах взаимодействующих параметров предполагают распределение сцепного веса с поднятого переднего моста на соответствующие опоры транспортного агрегата-задний мост автомобиля и задний мост прицепа.

Таким образом экспериментально были удостоверены процессы перераспределения сцепного веса, возникающие в ходовой системе транспортного агрегата, а именно агрегатируемого прицепа, под действием предлагаемого догружающего модуля, в размерах и величинах, подтверждающих теоретические исследования.

На основании полученных теоретических и экспериментальных результатов, в целях формирования доверительных интервалов построен комбинированный график зависимостей изменения сцепного веса в ходовой системе агрегата при работе перераспределяющего устройства, представленный на рисунке 4.19.

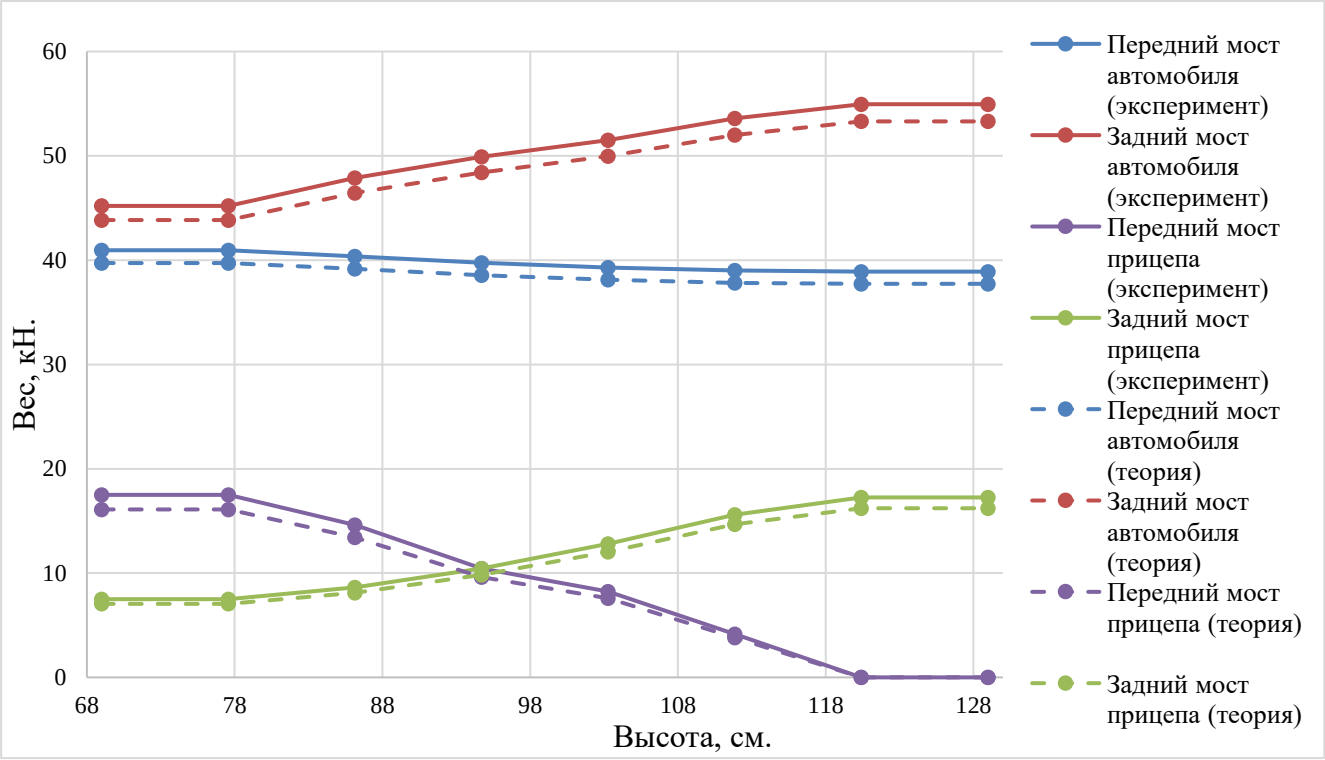


Рисунок 4.19- Комбинированный график зависимостей изменения сцепного веса в ходовой системе агрегата при работе перераспределяющего устройства

Таким образом, представленные теоретические и экспериментальные данные находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности проведенных исследований.

4.2 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния догружающего модуля для грузового автомобиля на коэффициент сцепного веса

Для определения влияния догрузочного модуля для грузового автомобиля на коэффициент использования сцепного веса были проведены экспериментальные исследования приведенные на рисунке 4.20.

В результате проведенных исследований установлено, что увеличение сцепного веса (за счет перераспределения веса между мостами прицепа и автомобиля) снизило коэффициент использования сцепного веса. Так, при

увеличении нагрузки с 2 кН до 10 кН коэффициент использования сцепного веса соответственно снизился с 0,62 до 0,48.

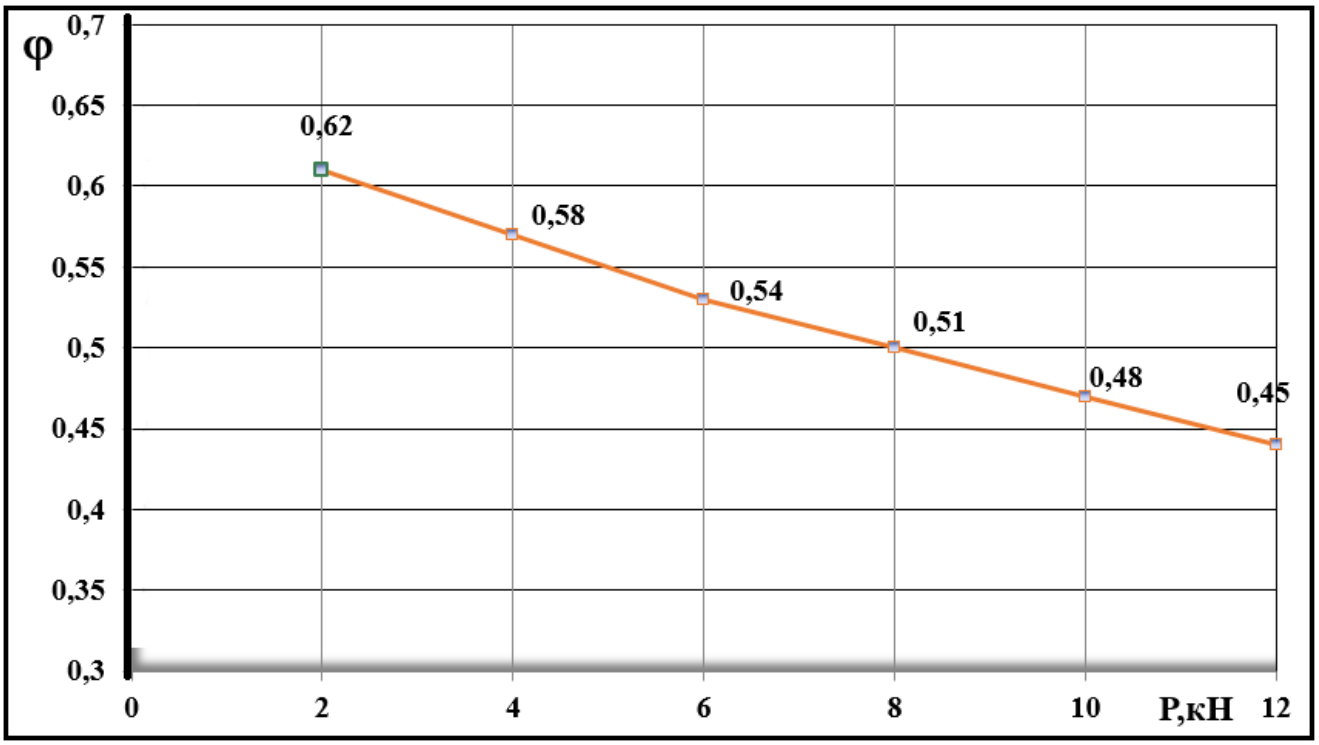


Рисунок 4.20- Зависимость коэффициента использования сцепного веса от его перераспределения в системе транспортного агрегата

Как известно величина буксования во многом зависит от коэффициента использования сцепного веса. Во второй главе было теоретически доказано, что использование догружающего модуля для грузового автомобиля позволяет повысить сцепной вес автомобиля и, как следствие, снизить величину буксования. Снижение величины буксования позволяет повысить скорость движения автомобиля, а следовательно и величину производительности. При определении влияния догружающего модуля на величину буксования были проведены экспериментальные исследования. В качестве загрузочного устройства использовался второй автомобиль, у которого была включена меньшая передача. Это позволяет менять нагрузку на крюке в зависимости от изменения частоты вращения двигателя загрузочного автомобиля или оставлять её постоянной.

Как показали эксперименты, с повышением сцепного веса с 2 кН до 12Кн (при постоянной нагрузке на крюке) величина буксования у автомобиля на арочных шинах снизилась на 30…35 %. Исследования с автомобилем в серийном варианте

не проводились так как при движении по полю он оставляет после себя глубокую колею (рисунок 4.21), а в некоторых случаях теряет способность к движению при полном буксовании.

Рисунок 4.21- Фрагмент проведения тяговых испытаний с серийным автомобилем

4.3 Результаты по определению воздействия движителей автомобиля на почву

Для определения техногенного воздействия на почву ходовой системы автомобиля КамАЗ-4350 были проведены экспериментальные исследования при вывозе урожая с полей. В качестве исследуемого параметра была взята глубина колеи. Фрагменты проведения испытаний представлены на рисунках 4.22… 4.25.

Рисунок 4.22- Фрагменты проведения испытаний

Рисунок 4.23- Фрагмент прохода по полю автомобиля на серийных шинах высокой проходимости

Рисунок 4.24- Фрагмент прохода по полю автомобиля на арочных шинах

Рисунок 4.25- Фрагмент определения глубины колеи после прохода по полю серийного автомобиля

Как показали проведённые исследования (таблица 4.1) после прохода по полю как серийного так и экспериментального автомобилей остаётся колея.

Таблица 4.1- Результаты экспериментальных исследований по определению глубины колеи

Исследуемый параметр	Серийный КамАЗ-4350 без груза	КамАЗ - 4350 без груза на арочных шинах	Серийный КамАЗ - 4350 с грузом 4 т.	КамАЗ - 4350 с грузом 4 т. на арочных шинах	КамАЗ- 4350 и прицеп 2ПН-4М на арочных шинах и грузом 4+4 т.
Глубина колеи, м	0,14…0,16	0,03…0,04	0,33…0,36	0,07…0,08	0,1…0,12

Результаты экспериментов показывают, что после прохода по полю серийного автомобиля без груза глубина колеи составляет 0,14…0,16 м, а после прохода по полю автомобиля на арочных шинах глубина колеи составила 0,03…0,04 м. При этом после прохода по полю серийного автомобиля с грузом глубина колеи составила 0,33…0,36 м, а после прохода автомобиля на арочных шинах с той же весовой нагрузкой соответственно 0,07…0,08 м. После прохода же по полю автомобиля на арочных шинах и прицепа с установленными арочными шинами глубина колеи составила 0,1…0,12 м, что позволяет не проводить заделку следа при подготовке поля под последующие посевные работы, так как техногенное проявления нейтрализуются без дополнительных операций при зимнем замораживании и весеннем оттаивании под воздействием природных факторов.

4.4 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

С целью определения эффективности использования автомобиль КамАЗ-4350 с догружающим модулем на транспортных работах при уборке сельскохозяйственных культур на почвах с низкой несущей способностью были проведены сравнительные хозяйственные испытания в реальных условиях эксплуатации. Для сравнения брался серийный автомобиль КамАЗ-4350 с колесной формулой 4К4 и экспериментальный автомобиль КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля.

Сравнение было выполнено методом сплошного хронометража за работой транспортных агрегатов на вывозке урожая с полей. Основная цель хронометражных наблюдений – определение основных параметров, которые характеризуют эффективность их работы.

В таблице 4.2 приведены сравнительные хозяйственные испытания на вывозке зерновых культур с полей.

Таблица 4.2- Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

Показатели	КамАЗ-4350		
	Серийный	Экспериментальный (на арочных шинах)	Экспериментальный (с догружающим модулем для грузового автомобиля, на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М на арочных шинах)
1	2	3	4
Длина плеча подвоза, м	6150	6150	6150
Грузоподъемность теоретическая, т	5,2	5,2	9,2
Грузоподъемность фактическая, т	3,2	4,7	9,4
Средняя скорость движения, км/ч	23,1	24,9	22,5
Расход топлива, л/км	0,29	0,26	0,30
Производительность в час времени движения, т·км	19,68	28,91	57,81
Производительность за смену, т·км	196,80	289,10	578,10
Коэффициент использования времени движения	0,92	0,99	0,90

Полученные результаты показывают (таблица 4.1), что использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 на арочных шинах на вывозе зерновых культур позволило повысить производительность в час времени движения на 46,9 %, и снизить расход топлива на 11,5% по с равнению с серийным КамАЗ-4350. Использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М позволило повысить производительность в час времени движения в 2,9 раза по с равнению с серийным КамАЗ-4350.

Аналогичные исследования были проведены и на вывозке с поле сои. Результаты сравнительных хозяйственные испытаний приведены в таблице 4.2

Таблица 4.3- Результаты сравнительных хозяйственных испытаний на перевозке сои

Показатели	КамАЗ-4350		
	Серийный	Экспериментальный (на арочных шинах)	Экспериментальный (с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М на арочных шинах)
1	2	3	4
Длина плеча подвоза, м	6420	6420	6420
Грузоподъемность теоретическая, т	5,2	5,2	9,2
Грузоподъемность фактическая, т	3,10	4,65	9,30
Средняя скорость движения, км/ч	22,8	24,1	21,9
Расход топлива, л/км	0,30	0,27	0,32
Производительность в час времени движения, т·км	19,90	29,85	59,70
Производительность за смену, т·км	199,0	298,5	597,0
Коэффициент использования времени движения	0,90	0,96	0, 87

Анализ полученных данных (таблица 4.3) позволяет сделать вывод, что использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 на арочных шинах на вывозке сои позволило повысить производительность в час времени движения на 50 %, и снизить расход топлива на 10% по с равнению с серийным КамАЗ-4350. Использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М позволило повысить производительность в час времени движения в 3 раза по с равнению с серийным КамАЗ-4350.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М позволяет

обслуживать два зерноуборочных комбайна типа «Vector-410» с объёмом бункера 6м^3, а серийным автомобилем-одного комбайна этого же типа.

4.5 Выводы по главе

Проведенные экспериментальные исследования дают возможность сделать следующие обоснованные выводы:

- в результате работы предлагаемого перераспределяющего устройства, изменении угла наклона чалочного крюка от 0 градусов до 42 градусов и увеличении высоты подъёма дышла прицепа с 0,68 м до 1,22 м произошло:

-частичное снижение сцепного веса, приходящегося на передний мост автомобиля с 4,095 кН до 3,895 кН, что составило 0,190 кН или на 4,8%.

- увеличение сцепного веса, приходящегося на задние ведущие колёса автомобиля составило от 45,5 кН до 55,45кН, т.е. на 9,95 кН.

-снижение веса, распределяемого с переднего моста прицепа с 17.50 кН до 0 кН. Установлено, что при 40 градусах произошёл отрыв колёс переднего моста прицепа от поверхности движения.

-увеличение веса, распределяемого на задний мост прицепа с 7.60 кН до 17.2 кН, т.е. на 9,6 кН.

- установлено, что увеличение сцепного веса (за счет перераспределения веса между мостами прицепа и автомобиля) снизило коэффициент использования сцепного веса. Так, при увеличении нагрузки с 2 кН до 10 кН коэффициент использования сцепного веса соответственно снизился с 0,62 до 0,48;

- с повышением сцепного веса с 2 кН до 12Кн (при постоянной нагрузке на крюке) величина буксования у автомобиля на арочных шинах снизилась на 30…35 %;

- после прохода по полю серийного автомобиля без груза глубина колеи составляет 0,14…0,16 м, а после прохода по полю автомобиля на арочных шинах глубина колеи составила 0,03…0,04 м. При этом после прохода по полю серийного автомобиля с грузом глубина колеи составила 0,33…0,36 м, а после прохода

автомобиля на арочных шинах с той же весовой нагрузкой соответственно 0,07…0,08 м. После прохода же по полю автомобиля на арочных шинах и прицепа с установленными арочными шинами глубина колеи составила 0,1…0,12 м, что позволяет не проводить заделку следа при подготовке поля под последующие посевные работы, так как техногенное проявления нейтрализуются без дополнительных операций при зимнем замораживании и весеннем оттаивании под воздействием природных факторов.

- использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 на арочных шинах на вывозе зерновых культур позволило повысить производительность в час времени движения на 46,9 %, и снизить расход топлива на 11,5% по с равнению с серийным КамАЗ-4350. Использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М позволило повысить производительность в час времени движения в 2,9 раза по с равнению с серийным КамАЗ-4350.

-использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 на арочных шинах на вывозе сои позволило повысить производительность в час времени движения на 50 %, и снизить расход топлива на 10% по сравнению с серийным КамАЗ-4350. Использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М позволило повысить производительность в час времени движения в 3 раза в сравнении с серийным КамАЗ-4350.

-применение экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М позволяет обслуживать два зерноуборочных комбайна типа «Vector-410» с объёмом бункера 6м^3, а серийным автомобилем-только одного комбайна этого же типа.

5. ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью оценки эффективности проведенных исследований предлагается множество методик и положений, которые дают возможность оценить проведенную работу [68-71]. Использование различных подходов к оценке проведённых исследований имеет свои как положительные так и отрицательные стороны. При этом в качестве аргумента может выступать как денежный эквивалент (рублёвый) материальных средств, так и энергетический, непосредственно связанный с количеством затраченной энергии на единицу сделанной работы. Данный показатель наиболее независим от рыночных механизмов экономики.

Таким образом оценку проведённых исследований проведём в соответствии с методикой топливно-энергетической оценки, предложенной Федеральным научным агроинженерным центром ВИМ [68-71].

5.1 Топливно-энергетическая оценка проведенных исследований

При проведении топливно-энергетической оценки в качестве сравнения брались полные энергозатраты, в которых вошли следующие показатели:

-прямые затраты энергии;-энергозатраты живого труда;-удельная энергоёмкость.

Согласно предлагаемой методики [68-71] при проведении транспортных работ энергетическим средством изначально проведём определение вышеназванных показателей.

Прямые затраты энергии

$$E_n = H_m(a_m+f_m)\ , \qquad (5.1)$$

где H_m– расход топлива, $кг/т\cdot км$;

a_m–теплосодержание топлива,$МДж/кг$;

f_m – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты энергии

на производство топлива *МДж/кг*;

Энергозатраты живого труда определятся по формуле

$$E_{ж} = \frac{n_{ч} \cdot a_{ж}}{w_{см}} \quad , \tag{5.2}$$

где $n_{ч}$ – число основных работников, *чел;*

$a_{ж}$– энергетический эквивалент живого труда, *МДж/кг*;

$W_{см}$ – производительность , $т \cdot км/ч$

Удельная энергоёмкость в расчёте на один час работы энергетического средства

$$E_{т} = \frac{A_{тр} \cdot M_{т}(a_{т} + a_{тк} + a_{тт})}{100 Тн}, \tag{5.3}$$

где $M_{т}$ – масса энергетического средства, *кг;*

$A_{тр}$ – энергетический эквивалент энергетического средства, *МДж/кг;*

$a_{т}$, $a_{тк}$, $a_{тт}$ – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонты энергетического средства, %.

Тн – годовая загрузка энергетического средства, *ч.*

Удельная энергоёмкость прицепа

$$E_{м} = \frac{A_{м} \cdot M_{м}(a_{м} + a_{мт})}{100 \cdot Тнм} \quad , \tag{5.4}$$

где $A_{м}$ – энергетический эквивалент прицепа, МДж/кг;

$M_{м}$– масса прицепа, кг;

$a_{м}$, $a_{мт}$– отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонты прицепа, %;

Тнм – годовая загрузка прицепа, *ч.*

Суммарная энергоёмкость энергетического средства и прицепа в расчете на один га.

$$E_{тм} = \frac{E_{т} + E_{м}}{W_{см}}. \tag{5.5}$$

Совокупность или полные энергозатраты

$$E_{тп} = E_{п} + E_{ж} + E_{тм}. \tag{5.6}$$

Экономия полных энергозатрат

$$\Delta E_{тп} = E_{тнп} - E_{тнб} \quad , \qquad (5.7)$$

где $E_{тнп}$– совокупные энергозатраты новой машины, *МДж/га;*

$E_{тнб}$ -совокупные энергозатраты базовой машины, *МДж/га.*

Произведём расчёты эффективности использования автомобиля КамАЗ-4350 с перераспределяющим устройством и серийного автомобиля КамАЗ-4350.

Составляющие топливно-энергетической оценки использования автомобиля КамАЗ-4350 на перевозке зерновых культур равны:

Для серийного варианта:

1.$E_{пс}$ =0,29· (42,7 +10) = 15,283 МДж/ т.км;

2.$E_{жс}$ =1. 1,26/196 =0,006 МДж/т.км

3.$E_{ав}$ =0,406 МДж/т.км

4.$E_{тпс}$ = 15,283 +0,006 +0,406 =15,695 МДж/ т.км

Для экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 на арочных шинах

1.$E_{пс}$ =0,26· (42,7 +10) = 13,702 МДж/ т.км;

2.$E_{жс}$ =1. 1,26/289 =0,004 МДж/т.км

3. $E_{т}$ = 0,275 МДЖ/т.км

4. $E_{тпс}$ = 13,702 +0,004 +0,275=13,981 МДж/ т.км

Полученные данные занесены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 -Энергетическая оценка использования автомобиля КамАЗ -4350 на вывозе зерновых культур

Показатели, МДж/ т.км	Серийный КамАЗ-4350	Экспериментальный КамАЗ-4350
Прямые затраты труда, $E_{п}$	15,283	13,702
Затраты живого труда, $E_{ж}$	0,006	0,004
Удельная энергоемкость, $E_{у}$	0,406	0,275
Полные энергозатраты, $E_{п}$	15,695	13,981
Экономия полных энергозатрат, $\Delta E_{тп}$	-	1,714
Экономия полных энергозатрат, за один рабочий день, $\Delta E_{тп}/д$		495,346

Как показали исследования на уборке зерновых культур серийный КамАЗ-4350 может обслужить один комбайн объёмом бункера 4 $м^3$ на вывозе урожая с длиной плеча подвоза 7…8 км. Экспериментальный КамАЗ-4350 может обеспечить вывозку урожая с поля при тех же условиях без простоя комбайна с объёмом бункера 6$м^3$. Как правило на уборке урожая используется максимально большее количество уборочной техники так как сроки уборки в регионе ограничены резко изменяющимися погодными условиями. Чаще всего в небольших КФХ на уборке используют как минимум два комбайна, учитывая нагрузку на один комбайн в пределах 750 га посевной площади.

Таким образом при использовании большего количества комбайнов для устранения простоя необходимо увеличить количество автомобилей. Одним из способов снижения количества автомобилей на вывозе урожая с полей является возможность использования для этих целей прицепов, выполняющих задачу «транспортного компенсатора».

В тоже время серийные автомобили не в состоянии транспортировать их с территории поля из-за недостаточности тягово-сцепных свойств и отрицательного техногенного воздействия на почву. Для устранения перечисленных выше обстоятельств предлагается использовать на вывозе урожая с полей модернизированный автомобил КамАЗ-4350 (с догружающим модулем для грузового автомобиля) на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М, также на арочных шинах. Это позволит вместо автомобиля использовать прицеп, что даст значительное снижение энергозатрат на одну ездку. Энергозатраты на один прицеп в таком случае составят $Е_{пр}$ =0,171МДж/ткм.

Аналогичные результаты получены и на вывозке урожая сои с полей (таблица 5.2)

Таблица 5.2 -Энергетическая оценка использования автомобиля КамАЗ-4350 на вывозе сои

Показатели, МДж/ т.км	Серийный КамАЗ-4350	Экспериментальный КамАЗ-4350
Прямые затраты труда, $E_п$	15,142	13,623
Затраты живого труда, $E_ж$	0,006	0,004
Удельная энергоемкость, $E_у$	0,407	0,281
Полные энергозатраты, $E_п$	15,555	13,908
Экономия полных энергозатрат, ΔE_{mn}	-	1,642
Экономия полных энергозатрат, за один рабочий день, $\Delta E_{mn}/д$		489,316

Таким образом, использование автомобиля КамАЗ-4350 (с догружающим модулем для грузового автомобиля) на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М, также на арочных шинах позволяет получить экономию:

- на вывозе зерновых культур 495,346 МДж/ т.км за один рабочий день, что позволит получить экономию в энергетическом эквиваленте дизельного топлива в количестве 11,48 литров, в денежном эквиваленте стоимости ДТ на период осень 2021 года-52,99 рубля, общая экономия денежных средств составит 608,33 руб.
- на вывозе сои 489,316 МДж/ т.км за один рабочий день, при этом общая экономия денежных средств составит 11,34 литра ДТ- 600,1 руб.

ВЫВОДЫ

1. На основании проведённых исследований выявлено, что на транспортно-технологическое обеспечение уборочного процесса в Амурской области существенное влияние оказывают климатические условия. Выпадение большого количества осадков значительно снижает несущую способность почвы, что затрудняет использование многоцелевых неполноприводных автомобилей.

2. Определено, что повысить эффективность использования ВСА в транспортно-технологическом обеспечении уборочного процесса возможно способом снижения нормального давления движителей на почву (установка арочных шин) и повышения тягово-сцепных свойств за счёт регулирования сцепного веса. Повысить сцепной вес, приходящейся на ведущие колёса автомобиля возможно за счёт его перераспределения в схеме транспортного агрегата.

3. Теоретически обосновано и экспериментально проверено, что постановка догружающего модуля позволяет повысить сцепной вес, приходящейся на задние колёса автомобиля от 45,5 кН до 55,45кН за счёт его перераспределения с переднего моста прицепа, при этом произошло снижение сцепного веса, приходящегося на передние колёса автомобиля на 4,8%, что не повлияет на управляемость автомобиля. Как показали исследования, с повышением сцепного веса с 2 кН до 12кН величина буксования у автомобиля на арочных шинах с догружающим модулем снизилась на 30…35 %.

4. В результате проведенных исследований установлено, что после прохода по полю серийного автомобиля без груза глубина колеи составляет 0,14…0,16 м, а после прохода по полю автомобиля на арочных шинах глубина колеи составила 0,03…0,04 м. При этом после прохода по полю серийного автомобиля с грузом глубина колеи составила 0,33…0,36 м, а после прохода автомобиля на арочных шинах с той же весовой нагрузкой соответственно 0,07…0,08 м. После прохода же по полю автомобиля на арочных шинах и прицепа с установленными арочными шинами глубина колеи составила 0,1…0,12 м, что позволяет не проводить заделку следа при подготовке поля под последующие посевные работы, так как

техногенные проявления нейтрализуются без дополнительных операций при зимнем замораживании и весеннем оттаивании под воздействием природных факторов.

5. Проведенные сравнительные хозяйственные испытания показали, что использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 на арочных шинах на вывозе зерновых культур позволило повысить производительность в час времени движения на 46,9 %, и снизить расход топлива на 11,5% по сравнению с серийным КамАЗ-4350. Использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля на арочных шинах и прицепом 2ПН-4М позволило повысить производительность в час времени движения в 2,9 раза по сравнению с серийным КамАЗ-4350.

6. Использование экспериментального автомобиля КамАЗ-4350 и прицепа на арочных шинах с догружающим модулем позволило получить экономию энергозатрат на вывозе зерновых культур в размере 495,346 МДж/ т.км за один рабочий день, или в денежном эквиваленте-608,33 руб, а на вывозе сои соответственно 489,316 МДж/ т. или 600,1 руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автодиспетчер. Ру, официальный сайт//[Электронный ресурс] URL www.avtodispetcher.ru

2. Агейкин, А.С. Проходимость автомобилей / А.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 25-27.

3. Алдошин, Н.В. Анализ составляющих эксплуатационного времени при помощи дискретных математических моделей / Н.В. Алдошин // Эксплуатационная обеспеченность интенсивных технологических процессов в растениеводстве : сб. науч. тр. / Моск. ин-т инженеров с.-х. пр-ва им. В. П. Горячкина. – М., МИИСП, 1988. – С. 98-104.

4. Алдошин, Н.В. Оптимизация транспортных процессов. Учебное пособие/ Н.В. Алдошин, Р.В.Егоров//М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2011.- 40с.

5. Алдошин, Н.В. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов / Н.В. Алдошин, Пехутов А.С.// Механизация и электрификация сельского хозяйства. –2012.- №4.- С. 26-27

6. Амурстат. Официальная статистика// [Электронный ресурс] URL: http://amurstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/amurstat/ru/statistics/prices/

7. Антонов, Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. − Москва : Машиностроение, 1978. − 216 с.

8. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин: учебник для ВТУЗов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1988. – 639 с.

9. Асманкин, Е.М. Обоснование способа теоретического исследования траекториальной устойчивости мобильных энергетических средств в условиях склонного земледелия / Е.М. Асманкин, С.В. Тарасова, В.А. Шахов // Известия ОГАУ. − 2013. − №5. − С. 8- 13.

10. Барахтанов, Л.В. Расчет сопротивления движения машин по снегу / Л.В. Барахтанов, С.Е. Манянин // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 72. – С.24-27.

11. Бахмутов, С.В. Научные основы параметрической оптимизации автомобиля по критериям управляемости и устойчивости. – Дис. докт. техн. наук. – М., 2001. – 350 с.

12. Бирюков, А. Л. Методика проведения научных исследований : учебно-методическое пособие / А. Л. Бирюков. — Вологда : ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2015. — 41 с. // ЭБС Лань : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/130811

13. 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.

14. Бочаров, А.В. Повышение тягово-сцепных свойств прицепного транспортного агрегата за счет автоматической гидродогрузки задних колес трактора: автореф. дис. … канд. тех. наук : 05.20.01 / Бочаров Алексей Валентинович. – Воронеж, 2000. – 21 с.

15. Бумбар, И.В. Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2011 - 2015 гг. / И.В. Бумбар, А.Н. Панасюк, В.А. Тильба и др.; под общ. ред. И.В. Бумбара. – Благовещенск: ДальГАУ, 2011. – 263 с.

16. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных / Г.В. Веденяпин. − Москва : Колос, 1967. − 168 с.

17. Вторников, А.С. Результаты исследований по повышению эффективности использования колёсных энергетических средств на почвах с низкой несущей способностью/ А.С. Вторников, С.В. Щитов, В.Г. Евдокимов// АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №6 (48).- 0,52 п.л. (0,6 Мб.) Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_609.pdf.

18. Гамаюнов А.М. Повышение эффективности использования тракторного поезда с использованием параметрической оптимизации универсального тягово-сцепного устройства / Алексеев С.А. / Научное обозрение, М.2013. №5 – С. 33-35.

19. 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.

20. Гоберман, В.А. Автомобильный транспорт в сельскохозяйственном производстве. Эффективность и качество работы, оценка и разработка организационно-технических решений / В.А. Гоберман. – М.: Транспорт, 1986. – 287с.

21. Горшков, Ю.Г. Повышение тягово-сцепных свойств колёсных машин в тяжёлых дорожных условиях [Электронный ресурс] / Ю.Г. Горшков, [и др.] //Научная библиотека ОГАУ. – 2014. –№3(47). Режим доступа:http://libr.orensau.ru/2013-10-09-13-21-46/2013-10-09-12-36-32/2014-02-26-15-47-28/2014-02-19-07-51-06/462--4-48

22. Горшков, Ю.Г.Обоснование безопасной скорости движения колесных машин/Ю.Г.Горшков [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства.-2002.- № 12, С. 27-30.

23. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 3-х томах / В.П. Горячкин – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 455 с.

24. ГОСТ 20306 – 90 «Автотранспортные средства. Топливная экономичность» [Электронный ресурс].– База нормативных документации – Режим доступа: www.complexdoc.ru

25. ГОСТ 20915 – 2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 23 с.

26. ГОСТ Р 52302-2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2005. – 28 с.

27. 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_z

cVP2CbEdFAK-AfEg!/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/ (дата обращения: 12.10.2017).

28. Гребнев, В.П. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колеса тракторного транспортного агрегата/ Гребнев, В.П., Бочаров А.В. //Тракторы и сельскохозяйственные машины.- 2001.- № 7.- С. 5-7.

29. Григоренко Л.В., Колесников В.С. Динамика автотранспортных средств. Теория, расчет передающих систем и эксплуатационно-технических качеств. — Волгоград: Комитет по печати и информации, 1998. — 544 с.

30. Гуськов, Ю.А. Проектирование транспортно-технологических процессов в земледелии Сибири: монография// Ю.А.Гуськов [и др.]// Новосибирск, 2013.-152 с.

31. Гуськов, Ю.А. Рациональные технологические схемы и технические средства для сбора и транспортировки грубых кормов: монография / Ю.А. Гуськов. – Новосибирск, 2006. – 150 с.

32. ГОСТ 12.2.002-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.- 93 с.

33. ГОСТ Р 52051–2003 Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения. Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 мая 2003 г. № 139-ст. – Режим доступа: www.vsegost.ru.

34. ГОСТ Р 52302-2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2005. – 28 с.

35. ГОСТ Р 54784-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров».

36. ГОСТ Р 54784-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров.- М.: Стандартинформ, 2012.- 35 с.

37. Демин, Е.Е. Транспорт в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / Е.Е. Демин, Г.В. Левченко, Р.Р. Хакимзянов. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2005 – 135 с.

38. Донато, И.О. Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения проходимости колесных машин по снегу: дис. …д-ра техн. наук: 05.05.03 / Донато Игорь Олегович. – Нижний Новгород, 2007. – 306 с.

39. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

40. Единая база ГОСТов Российской Федерации «ГостЭксперт», http://gostexpert.ru/oks/23/80.

41. 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.

42. Загородний, Н.А. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей обеспечением рациональных значений эксплуатационных параметров их шин: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 : защищена 21.05.10 / Загородний Николай Александрович. − Белгород, 2010.

43. Закин Я.Х. и др. Автомобильный поезд и безопасность движения. Под. Общ. Ред. Я.Х. Закина. — М.:Транспорт, 1991. – 126 с.

44. Зангиев, А.А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. − Москва : Колос, 1996. − 320 с.

45. Иванов, А.Л. Актуальные задачи научно-технологического сопровождения современного земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства в Российской Федерации /А.Л. Иванов // Модели и технологии оптимизации земледелия. – Курск, 2003. – С. 3-25.

46. Измайлов, А.Ю. Развитие транспорта в сельском хозяйстве/ А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтушенков // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. - №1. –С.3-4.

47. Иофинов, С.А. Эксплуатация тракторов и автомобилей на транспортных работах в сельском хозяйстве / С.А. Иофинов, А.А. Цырин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос, 1975. – 228 с.

48. Кривуца, З.Ф. Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения АПК Амурской области : дис. д-ра техн. наук: 05.20.01. Благовещенск, 2015.- 362 с.

49. Ксеневич, И.П. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия в 3-х томах.Том 1.Введение в теорию и методологию исследования наземных тягово-транспортных систем/И.П.Ксеневич, В.А.Гоберман, Л.А.Гоберман//М.:ВИМ,Машиностроение, 2003.-743 с.

50. Ксеневич, И.П. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия в 3-х томах. Том 2. Аспекты технико-эргономического и экологического проектирования и конструирования наземных тягово-транспортных систем/ И.П.Ксеневич,В.А.Гоберман,Л.А.Гоберман//М.:ВИМ,Машиностроение, 2003.-872 с.

51. Кутьков, Г.М. Теория трактора и автомобиля / Г.М. Кутьков. − Москва: Колос, 1996. − 287 с.

52. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Монография. ДальГАУ-Благовещенск, 2017.- 272 с.

53. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Поликутина Е.С. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колесных мобильный энергетических средств: монография. – Благовещенск: ДальГАУ, 2020. – 148 с.

54. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов [Текст] / по ред. Е.С. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

55. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей [Текст] / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

56. Курасов, В.С. Тракторы и автомобили, применяемые в сельском хозяйстве [Текст]: учебное пособие / В.С. Курасов, Е.И. Трубилин, А.И. Тлишев. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2011. – 132 с.

57. Кушнир, В.Г. Пути повышения тягово-сцепных свойств картофелеуборочных агрегатов [Текст] / В.Г. Кушнир, Н.В. Гаврилов, С.С. Макулова // 3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация. – 2017. – № 2. – С. 289-294.

58. Лаптаев, В.Н. Определение оптимальной высоты грунтозацепов шин ведущих колес сельскохозяйственных тракторов / В.Н. Лаптаев, В.Н. Антонов // Производство шин, резинотехнических и асбестотехнических изделий.− 1983. − №12.

59. Ларин, В.В. Зависимости вертикальной деформации пневматических шин. [Электронный ресурс] / В.В. Ларин // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – вып.12 (24). – Электрон. текстовые дан. – URL: http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/1032.html 55.

60. Лейбович, М.В. Устойчивость легкого колесного вездехода при движении по наклонной поверхности [Текст] / М.В. Лейбович, Н.А. Иванов // Вестник ТОГУ. – 2013. – № 1(28) – С. 93-100.

61. Мамаев, А.Н. Определение размеров площадки контакта и прогиба колеса с резиновой шиной при статическом прижатии колеса к жесткому основанию [Текст] / А. Н. Мамаев, Е. А. Алепин // Сб.научных трудов «Машиноведение». – Челябинск, 1980. – № 251. – С.82-85.

62. Мамити, Г.И. Устойчивость автомобиля и низкоклиренсного колесного трактора [Текст] / Г.И. Мамити, С.Х. Плиев, В.Б. Тедеев // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 12. – С. 20-23.

63. Мамити, Г.И. Устойчивость колесного трактора и автомобиля [Текст]: монография / Г.И. Мамити, С.Х. Плиев. – Владикавказ: ООО НПКП «Мавр», 2013. – 152 с.

64. Марков, С.Н. Повышение проходимости колёсных энергетических средств при недостаточных тягово-сцепных свойствах / С.Н. Марков,

А.И.Гончарук, С.В.Щитов , Е.Е.Кузнецов// Известия Оренбургского государственного аграрного университета.- 2021.- № 4 (90).- С. 160–164.

65. Марков, С.Н. Результаты исследований влияния колёсного движителя на параметры высокопроходимого автомобиля в зимних условиях / С.Н. Марков, С.С. Ус, С.В.Щитов, Е.Е.Кузнецов// Известия Оренбургского государственного аграрного университета.- 2021.- № 6 (92).- С. 173–178.

66. Марков, С. Н. Программа расчёта поперечной устойчивости и условий догружения энергетического средства на склоновых поверхностях (Программа для ЭВМ) / С.В. Щитов, О.А. Кузнецова, С.Н. Марков, А.С. Вторников // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615824 Заявка № 2020613127 от 19.03.2020, Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.06.2020.

67. Методика определения глубины колеи под колѐсами многоосной машины с учѐтом физико-механического состояния грунта [Текст] / Н.С Вольская, Я.С. Агейкин, И.В. Чичекин [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 2 (79). – С. 22-25.

68. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 1. – М., 1998. – 217 с.

69. Методика топливно – энергетической оценки производства продукции растениеводства. – М.: ВИМ, 2012. – 84 с.

70. Методические рекомендации по определению показателей энергоёмкости производства сельскохозяйственной продукции – М.: ВИЭСХ, 1990. – 93 с.

71. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве. – М.: ВИМ, 1989. – 71 с.

72. Министерство сельского хозяйства Амурской области, официальный сайт //[Электронный ресурс] URL http://www.agroamur.ru/

73. Министерство сельского хозяйства РФ, официальный сайт//[Электронный ресурс] URL http://government.ru/department/59/events/

74. Мирошниченко, А.Н. Основы теории автомобиля и трактора [Текст]: учебное пособие / А. Н. Мирошниченко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 490 с.

75. Напольский, Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: Учебник для вузов [Текст] / Г.М. Напольский. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.

76. Низкий, С.Е. Залежные земли Амурской области: сукцессии и ресурсы: монография/ С.Е.Низкий, А.А.Муратов// – Благовещенск: ДальГАУ, 2016. – 266 с.

77. 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.гос.с.-х. акад.-Нижний Новгород,2011.-378 с.

78. Овечкин, С.Л. Перспективы повышения поперечной устойчивости автомобильной техники [Текст] / С. Л. Овечкин, Е.В. Свиридов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Т.1: мат.-лы Международ. науч.-практич. конф. – Пермь, 2014. – С. 188–191.

79. ОНТП-01-91. РД 3107938-0176-91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта [Текст]. М.: Росавтотранс, 1991. – 76 с

80. Осепчугов, В.В. О вилянии двухосных прицепов. Конструктивные исследования, испытания автомобилей [Текст] / В.В. Осепчугов. - 1956. - сб. № 2.- 211 с.

81. Оценка устойчивости против опрокидывания колесной машины с учетом влияния подрессоренных масс [Текст] / М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.М. Клец и др. // Механіка та машинобудування. – 2012. – № 1. – С. 65-70

82. Певзнер, Я.М. Теория устойчивости [Текст] / Я.М. Певзнер. - М.: Машгиз, 1947. -156 с.

83. Перечень неисправностей и условий, при которых запрещается эксплуатация транспортных средств, утверждённый приложением к Основным положениям по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанностям

должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения(в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 21 февраля 2002 г.№ 127 //[Электронный ресурс] URL http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_35626/f7b2114f4e982f074aea9264d8bd9b744b3497df/

84. Петрушов, В. А. Сопротивление качения автомобилей и автопоездов / В. А. Петрушов. - М. : Физматлит, 2003 - 304 с.

85. Поддубный, В.И. Повышение эффективности использования колесных мобильных машин в АПК на основе улучшения их устойчивости и управляемости: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01: защищена 23.06.11 / Поддубный Владимир Иванович. − Барнаул, 2011. − 34 с.

86. Поливаев, О.И. Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства [Текст]: учебник / О.И. Поливаев, В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. – 319 с.

87. Постановление Правительства Российской Федерации от 02.02.2015 года № 151-р « Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации до 2030 года»– Режим доступа: http://government.ru/docs/16757/

88. Посыпанов, Г.С. Энергетическая оценка экологии возделывания полевых культур: Монография / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов. – М.: изд-во МСХ, 1995. – 327 с.

89. Поликутина, Е.С. Повышение эффективности использования и снижение техногенного воздействия на почву средств механизации на полевых и транспортных работах: дис….канд. техн.наук: 05.20.01/ Поликутина Е.С.; Дальневосточный ГАУ.-Благовещенск, 2018.-133 с.

90. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта [Текст] / Минавтотранс РСФСР. – М.: Транспорт, 1986. – 73 с.

91. Прочность, устойчивость, колебания: справочник / под ред. И. А.Биргерта, Я. Г. Пановко. — М. : Машиностроение ,1986. – 438 с.

92. Пчелинин, И.К. Применение уравнений кинематических связей для исследования устойчивости движения и управляемости автомобиля с помощью аналоговых математических машин / И.К. Пчелинин, А.А. Хачатуров // Автомобильная промышленность. −1966. − №5. − С.19 – 25.

93. Росреестр. Государственный мониторинг земель // [Электронный ресурс]Режим доступа: https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/

94. «Распоряжение Минтранса РФ от 21.02.2004 № АК-9-р «Об утверждении и введении в действие документа «Правила эксплуатации автомобильных шин» ГОСТ Р 51709-2001 "Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки". //[Электронный ресурс] URL http://base.garant.ru/6149003/

95. Селиванов, Н.И. Адаптация колесных тракторов к технологиям почвообработки / Н.И. Селиванов, Ю.Н. Макеева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 344–346.

96. Система земледелия Амурской области / под ред. В.А. Тильба. – Благовещенск: ИПК «Приамурье», 2003. – 302 с.

97. Скотников В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников, А.А. Мащенский, А.С. Солонский. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.

98. Скурятин, Н.Ф. Исследование кинематики движения тракторного транспортного прицепного агрегата по пересеченной местности с тягово–догрузочным устройством/ Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2014. – № 3(3). – С. 23–28.

99. Сметнев, С.Д. Транспортное обслуживание агропромышленного комплекса/ С.Д. Сметнев, Н.Е. Евтушенков// Автомобильный транспорт.- 1989. - №8. – С.14-18.

100. Смильский, В.В. Эффективность различных типоразмеров шин сельскохозяйственного назначения [Текст] / В.В. Смильский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы

Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 16–17 окт. 2013 г.): в 3 т. Т. 3. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – С.97-102.

101. Соловьев, Е.В. Тягово-догрузочное устройство к прицепу / Е.В. Соловьев, Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев // Сельский механизатор. – 2013. – № 3 (49). С. 38 – 39.

102. Сюмак, А.В. Результаты освоения ресурсосберегающей технологии и технических средств в хозяйствах Амурской области/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов // Техника в сельском хозяйстве. - 2010. - №6. - С. 11-13.

103. Тарасова, С.В. Методика исследования результатов взаимодействия протектора с наклонной опорной поверхностью в режиме варьирования углами увода пневматических шин [Текст] / С.В. Тарасова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – №2(52). – С.84-87.

104. Тенденции развития малотоннажных автопоездов, пути повышения активной безопасности, траекторной устойчивости и плавности хода, Л.А. Михолап, Ю.Я. Комаров, В.С. Андрев, В.А. Короляш, Г.П. Барабанов// Известия Военной академии Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого. — 2012. – № 250. С. 217–222

105. Трепененков, И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов/ И.И.Трепенков. – М.:Машгиз, 1963.-224 с.

106. Ушачев, И.Г. Научное обеспечение Государственной программы развития сельского хозяйства /И.Г. Ушачев //АПК: экономика, управление. – 2008. – №3. – С. 7.

107. Фаробин Я.Е., Овчаров В.А., Кравцова В.А. Теория движения специализированного подвижного состава: Учебное пособие. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. – 160 с

108. Шишлов, С.А. Качественная предпосевная обработка почвы и посев - залог высокого урожая сои / С.А. Шишлов, А.А. Редкокашин, М.С. Шапарь // Научное обозрение. – 2015. - №15. – С. 23-27.

109. Федеральная служба государственной статистики, официальный сайт//[Электронный ресурс] URL http://www.gks.ru/

110. Фактографическая БД «Машины и оборудование для сельскохозяйственного производства», https://rosinformagrotech.ru/db/faktograficheskaya-bd-mashiny-i-oborudovanie-dlya-s-kh-proizvodstva

111. Щитов, С.В. Влияние перераспределения сцепного веса между мостами трактора на ширину захвата, буксование и производительность машинно-тракторного агрегата/ С.В.Щитов [и др.]// Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо».-2017.-№1(27).

112. 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.

113. Электронный журнал "Сделано у нас"//[Электронный ресурс] URL https://sdelanounas.ru/blogs/(дата обращения: 14.01.2018).

114. Яблонский, А.А. Сборник задач для курсовых работ по теоретической механике.М.: Высшая школа, 1982.-382 с.

115. Ateheme, Pierre. AGRIP destracteurs 4×4 pour exploitationforestiere. Pt.2/ Pierre Ateheme// Foret privee, 2001. — № 262. — p.230–231

116. Heavy Truck Rollover Characterization (Phase-A) Final Report [Электронный ресурс] / D. Pape, M. Arant, D. Hall [et al.] – Электрон. текстовые дан. – URL: https://ntl.bts.gov/lib/31000/31700/31702/U02Heavy_Truck_Rollover_Characterization_Phase_A_.pdf

117. KrombholzK. Fahrmechanische BetrachtungenzumFeldhacksl ereinsatz amHang. / K. Krombholz − Dtsch, Agrartechn, MBd 14, 1964. − №7, − s.310–314.

118. Miller, M.P. Spatialvariability ofwheatyield andsoil properties on complexhills / M.P. Miller, M.J. Singer, D.R. Nielsen //soilSci. Soc. America J. – 1988. – Vol.52. – №4. – P. 1133-1141.

119. MacmillanR.H. The Mechanics ofTractor. / R.H. Macmillan − University ofMelboure: Implement Performance, 2002.

120. Pyndak, V.I.; Fomin, S.D., Dyashkin, A.V. Complex indicators of efficiency in improvements of agricultural machinery. Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk Issue: 2 Pages: 81-83 Published: 2013.

121. Research Of The Influence Of The Hook Load Of The Unstable Character On The Operating In dicators Of The Energy Means / Shchitov S. V., Bumbar I. V., Sennikov V.A., Sennikova N. N., Prisyazhnaya S. P., Kuznetsov E.E.// Journal of Mechanical Engineering Research and Developments ISSN: 1024-1752. 41(3) (2018)p.p. 47-50 https://jmerd.org.my/jmerd-03-2018-14-17/.

122. Schertz, D.L. Conservation tillage: An analysis of acreage projections in the United States / D.L.Schertz //J. Soil Water Conserv. – 1988. – Vol.43. – №3. – P. 256-258.

123. Shekhovtsov, V.V. Decreasing of the Dynamic Loading of Tractor Transmission by means of Change of the Reactive Element Torsional Stiffness/V.V. Shekhovtsov, N.S. Sokolov-Dobrev, P.V. Potapov //International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016 *Procedia Engineering* 150 (2016) 1239 – 1244.

124. Tajanowskij, G. Distribution of loadings in transmission of traction power means with all driving wheels and with system of pumping of tyres at work with mounted instruments [Текст] / G. Tajanowskij, W. Tanaś, T. Pawłowski // Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. – 2007. – Vol. 52(2) – P. 30-34.

125. Wanki Cho, Jaewoong Choi, Chongkap Kim, Seibum Choi, and Kyongsu Yi. Unified Chassis Control for the Improvement of Agility, Maneuverability, and Lateral Stability. // IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 61, NO. 3, MARCH 2012. — p. 1008–1029.

126. Wilkins, D.E. Management of grain stubble for conservation-tillage systems /D.E. Wilkins, B.L. Klepper, P.E. Rasmussen //Soil. TillageRes. – 1988. – Vol.12. – №1. – P. 25-35. (с\Х производство)

127. Winkler, C.B., Rollover of Heavy Commercial Vehicles [Электронный ресурс] / C. B. Winkler, R. D. Ervin, 1999 – URL: https://deepblue.lib.umich.edu/ bitstream/handle/2027.42/1290/93802.0001.001.pdf (дата обращения 08.11.21).

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

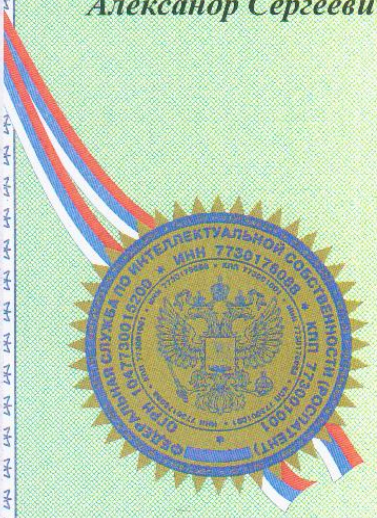
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2763005

Догружающий модуль для грузового автомобиля

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), Гончарук Алексей Иванович (RU), Ус Семен Сергеевич (RU), Щитков Артем Николаевич (RU), Пономарев Николай Владимирович (RU), Вторников Александр Сергеевич (RU), Марков Сергей Николаевич (RU)***



Заявка № **2021100266**
Приоритет изобретения **11 января 2021 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **24 декабря 2021 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **11 января 2041 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 205034

Устройство догружения ходовой системы автомобиля

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), Пономарев Николай Вениаминович (RU), Ус Семен Сергеевич (RU), Вторников Александр Сергеевич (RU), Марков Сергей Николаевич (RU)***

Заявка № **2020133555**
Приоритет полезной модели **12 октября 2020 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **24 июня 2021 г.**
Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает **12 октября 2030 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2727445

Догрузочное устройство колёсного 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), Пономарев Николай Вениаминович (RU), Вторников Александр Сергеевич (RU), Марков Сергей Николаевич (RU), Кучер Александр Викторович (RU)***

Заявка № **2018131064**
Приоритет изобретения **28 августа 2018 г.**
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **21 июля 2020 г.**
Срок действия исключительного права на изобретение истекает **28 августа 2038 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020615824

Программа расчёта поперечной устойчивости и условий догружения энергетического средства на склоновых поверхностях

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

Авторы: ***Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей Васильевич (RU), Вторников Александр Сергеевич (RU), Кузнецова Ольга Александровна (RU), Марков Сергей Николаевич (RU)***

Заявка № **2020613127**

Дата поступления **19 марта 2020 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***03 июня 2020 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
_____ Т.Б. Тихончук
«28» декабря 2021 г.
М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации
Аношкин А.Б.
_____
«27» декабря 2021 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ начальник НИЧ Муратов А.А., профессор кафедры Кузнецов Е.Е. аспирант Марков С.Н.

и представители ООО „АгроСевер-3" в лице директора Аношкина А.Б. главного бухгалтера Смирновой А.А., рабочего Лесного А.В.

составили настоящий акт о том, что в период 2020-2021 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочных работ

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: связанные с обеспечением уборочных мероприятий

экономический эффект составил на полевых транспортных работах 18.464 рублей

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: использование предложенного решения на ООО „АгроСевер 3"

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
Начальник НИЧ Муратов А.А
профессор Кузнецов Е.Е.
аспирант Марков С.Н.

Представители предприятия
Аношкин А.Б.
Смирнова А.А.
Лесной А.В.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ»

_____

«19» декабря 2021 г.
М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

_____ Рудаков А.М.

«19» декабря 2021 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточного государственного аграрного университета начальник НИИ Муратов А.А., профессор кафедры Кузнецов Е.Е., аспирант Марков С.Н.

и представители директор общества с ограниченной ответственностью „Союз" Кузина А.А.

составили настоящий акт о том, что в период 2020-2021 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочных работ

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: были выполнены работы по повышению уборочных работ.

экономический эффект составил при уборочных работах 15216 рублей

Предложения по дальнейшему внедрению результатов:

Рекомендовать и использовать в ООО „Союз" при уборочных работах

Представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ

Начальник НИИ Муратов А.А.
Профессор Кузнецов Е.Е.
аспирант Марков

Представители предприятия

Кузина А.А.
Бондарев Р.С.
Стрельников Д.С.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ»

«12» января 2022 г.
М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

«11» января 2022 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточного государственного аграрного университета начальник НИЧ Муратов А.А. профессор Кузнечов Е.Е., аспирант Марков С.Н.

и представители ЗАО «Димское» гл. инженер Иванов Н.Г. агроном Соловьев Ю.Г. гл. бухгалтер Черноусова Ю.В.

составили настоящий акт о том, что в период 2019-2020 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: Повышение эффективности транспортно-тракторного технологического обеспечения уборочных работ

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: были выполнены работы по уборке с/х культур

экономический эффект составил 16457 рублей при выполнении уборочных работ

Предложения по дальнейшему внедрению результатов:
Рекомендовать при уборочных работах ЗАО «Димское»

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
Начальник НИЧ Муратов А.А.
профессор Кузнечов Е.Е.
аспирант Марков С.Н.

Представители предприятия
Иванов Н.Г.
Черноусова Ю.В.
Соловьев Ю.Г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
_____ П.В. Тихончук
«30» _____ 2021 г.
М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель организации
_____
_____
«__» _____ 2021 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ начальник НИЧ Муратов А.А., профессор кафедры Кузнецов С.С. аспирант Марков С.Н.

и представители глава крестьянско-фермерского хозяйства в лице Бондаренко Н.А., главный бухгалтер Макарова Н.С., рабочий Крупник Д.М.

составили настоящий акт о том, что в период 2019 - 2020 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочных работ

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: выполнены работы по повышению эффективности уборочных работ

экономический эффект составил на работах связанных с уборкой экономия составила 21932 рубля

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: использовать на КФХ при обеспечении транспортных работ

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
Начальник НИЧ Муратов А.А.
профессор Кузнецов С.С.
аспирант Марков С.Н.

Представители предприятия
Бондаренко Н.А.
Макарова Н.С.
Крупник Д.М.