

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный
аграрный университет»

**С. Н. Марков, Е. Е. Кузнецов,
С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца**

***МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ УБОРОЧНЫХ РАБОТ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ***

Монография

Благовещенск
Дальневосточный ГАУ
2024

УДК 631.372:629.114.2

ББК 40.7

М54

Рецензенты:

*Виктор Вацлавович Самуйло, доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта
транспортно-технологических машин и комплексов*

*Дальневосточного государственного аграрного университета
Вячеслав Ганнуэльевич Евдокимов, доктор технических наук, профессор
Дальневосточного высшего общевоинского командного училища
имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского*

*Рекомендовано к печати научно-техническим советом
Дальневосточного государственного аграрного университета*

Методы совершенствования транспортно-технологического

М54 **обеспечения уборочных работ в сельском хозяйстве : мо-**
нография / С. Н. Марков, Е. Е. Кузнецов, С. В. Щитов, З. Ф. Кри-
вуща ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальнево-
сточный ГАУ, 2024. – 144 с.

ISBN 978-5-9642-0596-8

В монографии изложены результаты исследований и научных разработок методов совершенствования транспортно-технологического обеспечения уборочных работ в сельском хозяйстве на почвах с низкой несущей способностью. Представлены перспективные конструкции, предназначенные для повышения тягово-сцепных свойств колесных энергетических средств, а также предложены технические решения по снижению нормального давления движителей на почву. Приведен анализ эффективности предложенных способов, показаны результаты производственной проверки опытных образцов разработанных устройств.

Материалы монографии могут представлять интерес для работников научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, специалистов агропромышленного комплекса, преподавателей, аспирантов, магистров, занимающихся вопросами использования и модернизации мобильных колесных энергетических средств.

УДК 631.372:629.114.2

ББК 40.7

ISBN 978-5-9642-0596-8

© Марков С. Н., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В.,
Кривуща З. Ф., 2024

© ФГБОУ ВО Дальневосточный
государственный аграрный университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Современное состояние вопроса. Актуальность и направленность исследований	6
1.1 Особенности природно-климатических условий Амурской области и направления повышения эффективности агропромышленного комплекса	6
1.2 Обзор современного состояния средств механизации и перспектив применения грузового транспорта в сельском хозяйстве Амурской области	11
1.3 Анализ способов повышения эффективности использования колесных грузовых автомобилей на транспортных работах	18
1.4 Анализ технических решений и способов повышения сцепного веса энергетического средства	25
Выводы по разделу.....	54
2 Теоретическое обоснование проводимых исследований.....	56
2.1 Методологическое обоснование транспортно-технологического обеспечения уборочного процесса	56
2.1.1 Коэффициент эффективности уборочного процесса при повышении тягово-сцепных свойств автомобиля	58
2.1.2 Коэффициент эффективности уборочного процесса при использовании прицепов-перегрузателей.....	62
2.1.3 Коэффициент эффективности уборочного процесса при использовании прицепов, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов»	63
2.2 Разработка и исследование способа повышения тягово-сцепных свойств автомобиля	65
2.3 Обоснование способов снижения нормального давления на почву ходовой системы автопоезда	73

2.3.1 Увеличение площади контакта движителя с почвой	73
2.3.2 Определение объема почвенных масс, заключенных между грунтозацепами колесного движителя.....	76
2.4 Исследования по определению эффективности транспортно- технологического обеспечения уборочных работ	79
Выводы по разделу.....	82
3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно- технологическом обеспечении уборочных работ	84
3.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению веса в ходовой системе автопоезда	84
3.1.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению сцепного веса между мостами автомобиля.....	84
3.1.2 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению сцепного веса между передним и задним мостом прицепа.....	102
3.2 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния догружающего модуля для грузового автомобиля на коэффициент сцепного веса	112
3.3 Результаты определения воздействия движителей автомобиля на почву	114
3.4 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний.....	117
Выводы по разделу.....	121
4 Топливо-энергетическая и экономическая оценка проведенных исследований	124
Заключение.....	129
Список использованной литературы.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Проблема соблюдения сроков уборки и транспортировки урожая особенно актуальна в 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, под которыми понимаются автомобили, участвующие в транспортно-технологическом обеспечении агропромышленного комплекса.

Используемые в настоящее время многоцелевые автомобили высокой грузоподъемности семейства КамАЗ, обладая рядом преимуществ, имеют один существенных недостаток – 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 транспортно-энергетических средств в составе автопоезда с одновременным применением корректирующих сцепной вес устройств в его конструкции.

Улучшение процесса транспортного обеспечения и гарантирование своевременного вывоза полученного урожая с полей при помощи высокопроходимых среднетоннажных автомобилей семейства Камского автомобильного завода является актуальной проблемой, которая обоснована необходимостью совершенствования процесса вывоза урожая 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 условиях.

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 2022 года заняла первое место по объему сельскохозяйственной продукции среди всех субъектов Дальнего Востока [7]. В январе – ноябре 2022 г. в хозяйствах всех категорий производство продукции сельского хозяйства в текущих ценах составило 23,7 млрд. рублей, что в сопоставимых ценах соответствует 95,6 % к уровню января – ноября 2021 г. При этом сельскохозяйственными организациями произведено продукции на 19,8 млрд. рублей, или в сопоставимых ценах 96,6 % к уровню соответствующего периода предыдущего года [104].

Сегодня в Амурской области значительная часть плодородных земель используется под выращивание сои (рис. 1.1) [7]. Посевные площади сои, по данным Росстата, в 2022 году в России составили 3 071 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 [7].

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, удаленность территории от моря, влияние подстилающей поверхности в виде рельефа, растительности, наличие водных объектов большого объема.

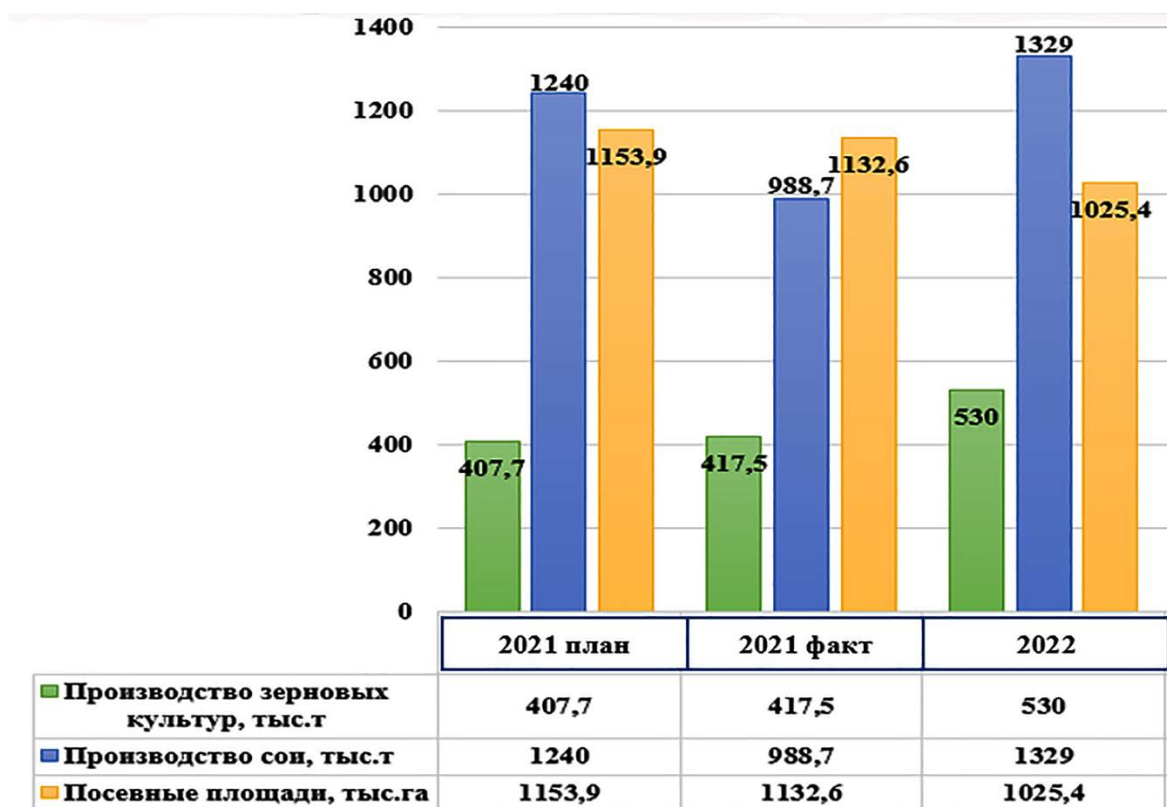


Рисунок 1.1 – Посевные площади и производство зерновых и сои в агропромышленном комплексе Амурской области в 2021–2022 гг.

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

Обычно устойчивый снежный покров появляется на протяжении октября, надвигаясь с севера и северо-востока. Продолжительность его изменяется 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 – характерен для Амурской области. Часто он блокирует уборочные мероприятия, увеличивая потери урожая. Вынужденный простой восполняют круглосуточной работой в последующий период.

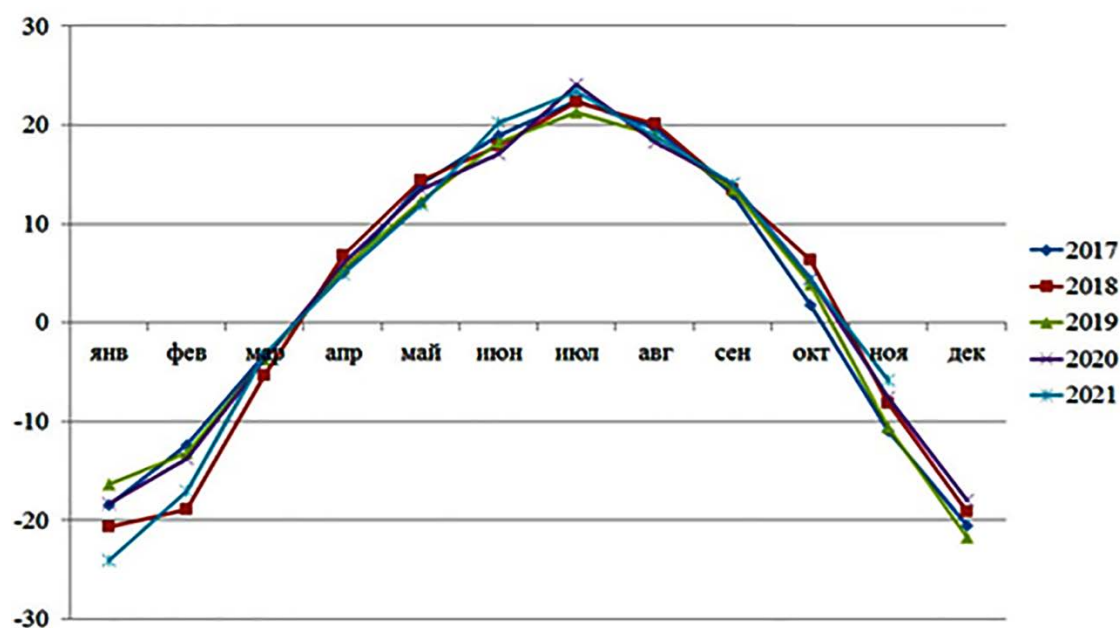


Рисунок 1.2 – Средние месячные температуры по южной сельскохозяйственной зоне Амурской области

Лето на юге области очень теплое с достаточным или избыточным увлажнением. Здесь проходят июльские изотермы от 20 °С до 24 °С. Теплым 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 доходить до отметки 38 °С, а на юге – до 42 °С [71].

Годовое количество осадков в области велико: в северо-восточных горных и восточных районах их величина составляет от 900 до 1 000 мм. В районах, близких Амуру и нижнему течению реки Зеи, осадков выпадает меньше. В районе Благовещенска количество осадков достигает до 300 мм, при этом достаточно нередки продолжительные паводки (рис. 1.3).

Для всей области характерен летний максимум осадков, что обусловлено муссономностью 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 подъем уровня воды в реках.

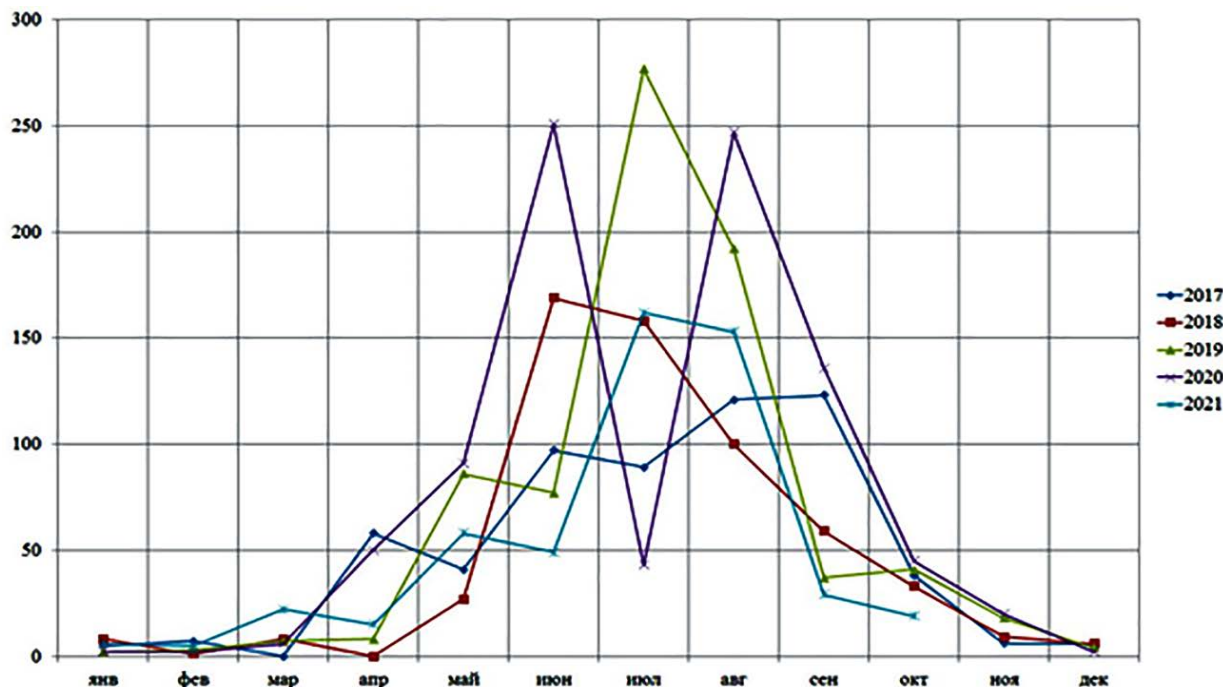


Рисунок 1.3 – Средние месячные суммы осадков по южной сельскохозяйственной зоне Амурской области

Уборка урожая является завершающим этапом полевых работ, связанных с возделыванием сельскохозяйственных культур. От своевременного и качественного ее проведения во многом зависит объем 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 [84, 90].

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 колесных энергетических средств, задействованных на перевозке урожая с полей.

При этом необходимо отметить, что в настоящее время в хозяйствах ощущается острая нехватка колесных энергетических средств высокой проходимости, способных выполнять возложенные на них задачи по транспортировке сельскохозяйственных грузов с использованием прицепов [91].

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, включая экспорт сельскохозяйственной продукции, нами приведены данные, полученные на сайте Федеральной таможенной службы России (рис. 1.4).

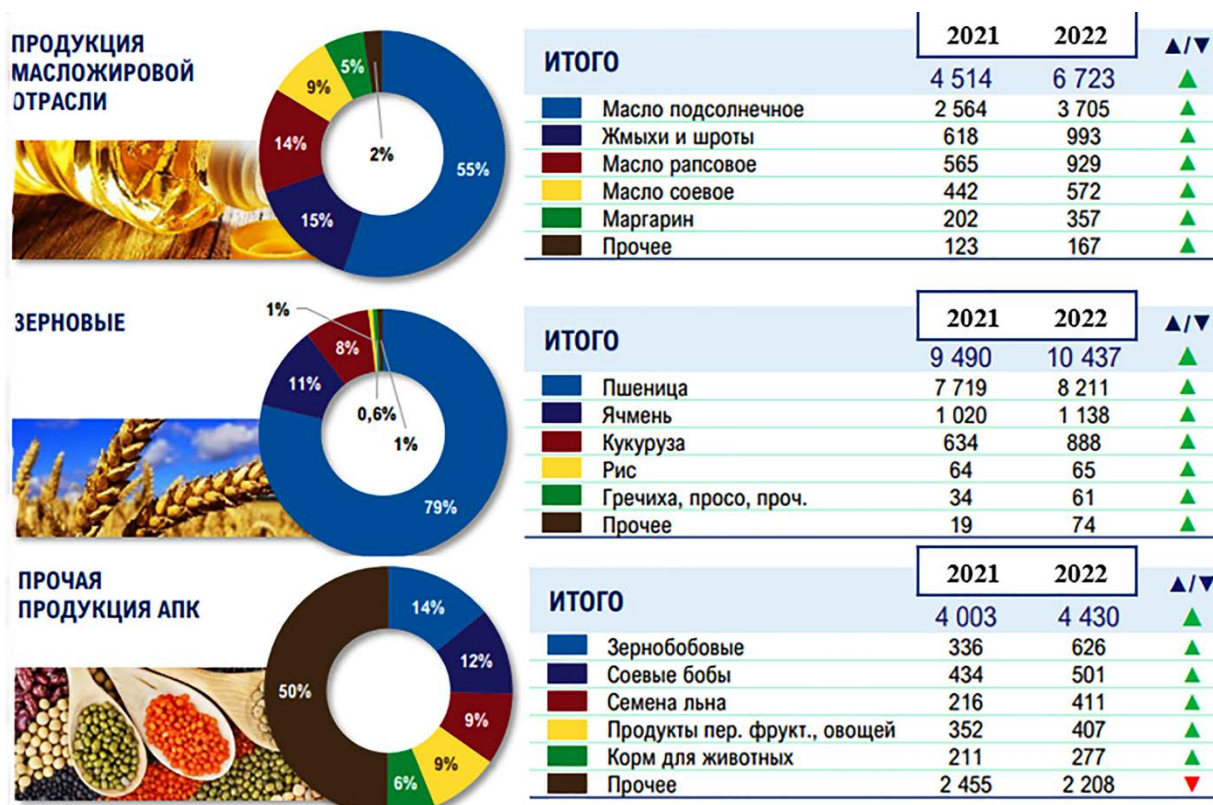


**Рисунок 1.4 – Структура экспорта продукции АПК
Российской Федерации за период 2021–2022 гг., млн. долл.**

Таким образом, экспорт продукции АПК страны неуклонно растет, что накладывает дополнительные обязательства на региональных производителей

по достижению максимальной эффективности производства [66, 67]. Вместе с тем, учитывая земельные запасы пашни [26] (рис. 1.5) в сравнении с обрабатываемыми землями (рис. 1.1), можно сделать вывод, что Амурская область имеет достаточный ресурс (в пределах до 480 тыс. га без учета пастбищных земель и залежи) по расширению сельскохозяйственного производства и достижению более значимых показателей валовой продукции [71].

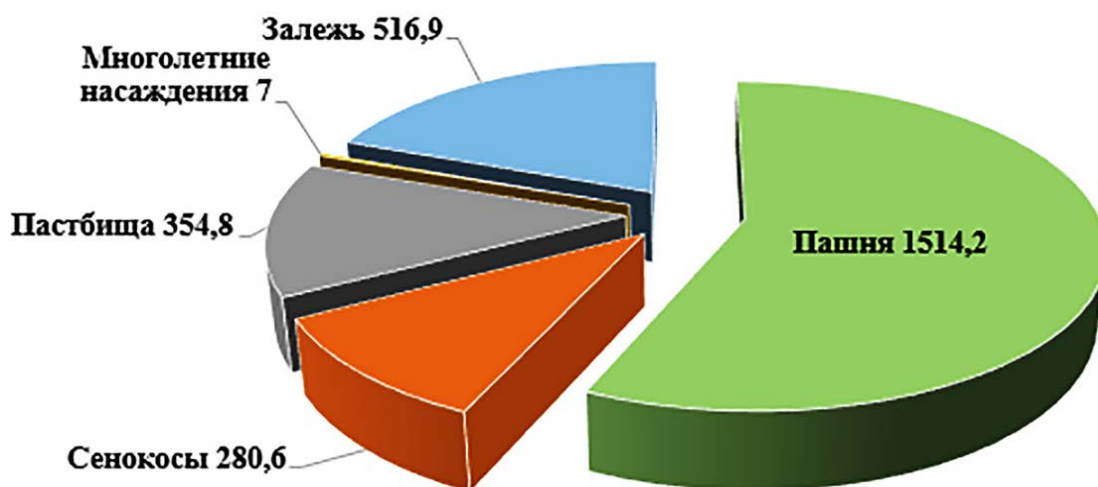


Рисунок 1.5 – Распределение сельскохозяйственных угодий Амурской области во видам на 2022 год, тыс. га

Данного резерва возможно достичь при своевременном обновлении парка сельскохозяйственной техники современными моделями и максимально эффективным транспортном обеспечении агропромышленного производства.

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

В современных экономических условиях технологии, энергетические средства и машины, применяемые и рекомендуемые сельскохозяйственному производству, весьма энергоемкие, металлоемкие и многооперационные, а

также направлены на обработку больших посевных площадей с высокой длиной гона, адаптированы для почв с низкой влажностью 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.

В исследуемом регионе для решения транспортных задач, связанных с доставкой сельскохозяйственных грузов, используются 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 для перевозки грузов, существенно отличаются от средств транспорта, используемых в других отраслях, что вызвано рядом специфических особенностей – разнообразием перевозимых грузов, сезонностью работ, срочностью, габаритами грузов и прочими факторами.

Производственными наблюдениями установлено, что основной объем грузоперевозок в Амурской области выполняется в весенне-осенний период (рис. 1.6) и для его выполнения необходимо использовать весь имеющийся потенциал наличных транспортных средств и прицепных мощностей [18].

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 птицы, 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.

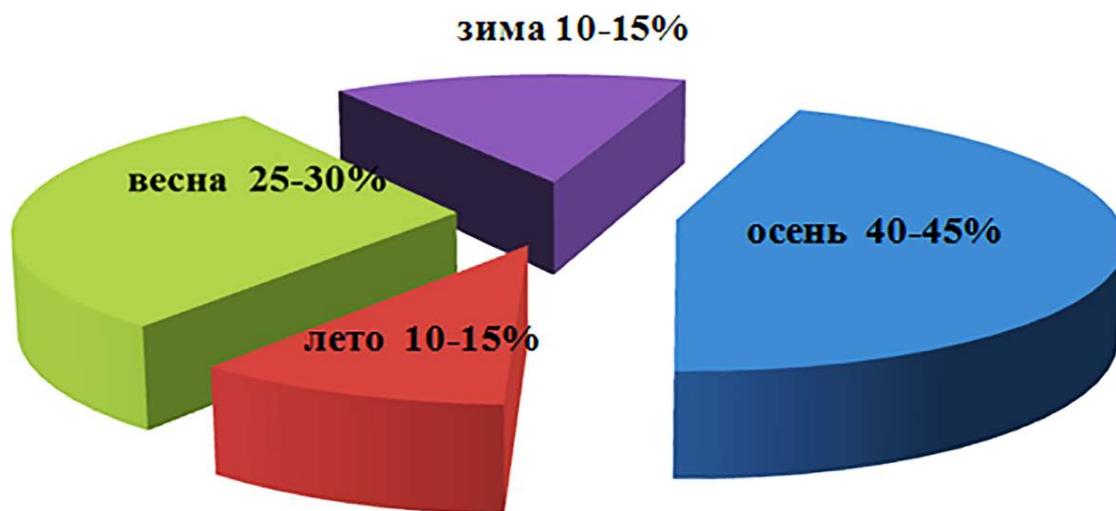


Рисунок 1.6 – Распределение объема грузоперевозок в Амурской области в зависимости от сезона года

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 объемом 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 [2, 104].

В последнее время работе автомобиля с прицепом в составе автопоезда уделяется все большее значение, так как 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 аналогичного периода прошедшего года. При этом рынок новой прицепной техники показал рост на 34,3 % также относительно января – мая 2019 г. [2].

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 наблюдался рост продаж новой прицепной техники на 47,9 % относительно мая 2019 г.

На рынке прицепов и полуприцепов России лидером продаж прицепов является концерн SCHMITZ. В мае продажи прицепов SCHMITZ выросли на 157,7 % и составили 0,40 тыс. ед. Далее следуют прицепы ТОНАР, продажи которых в мае 2021 г. увеличились на 3,7 % до 0,37 тыс. ед. Третье место занял концерн KRONE, который реализовал 0,34 тыс. ед. прицепной техники, что в 5,1 раза выше уровня прошлого года (рис. 1.7).

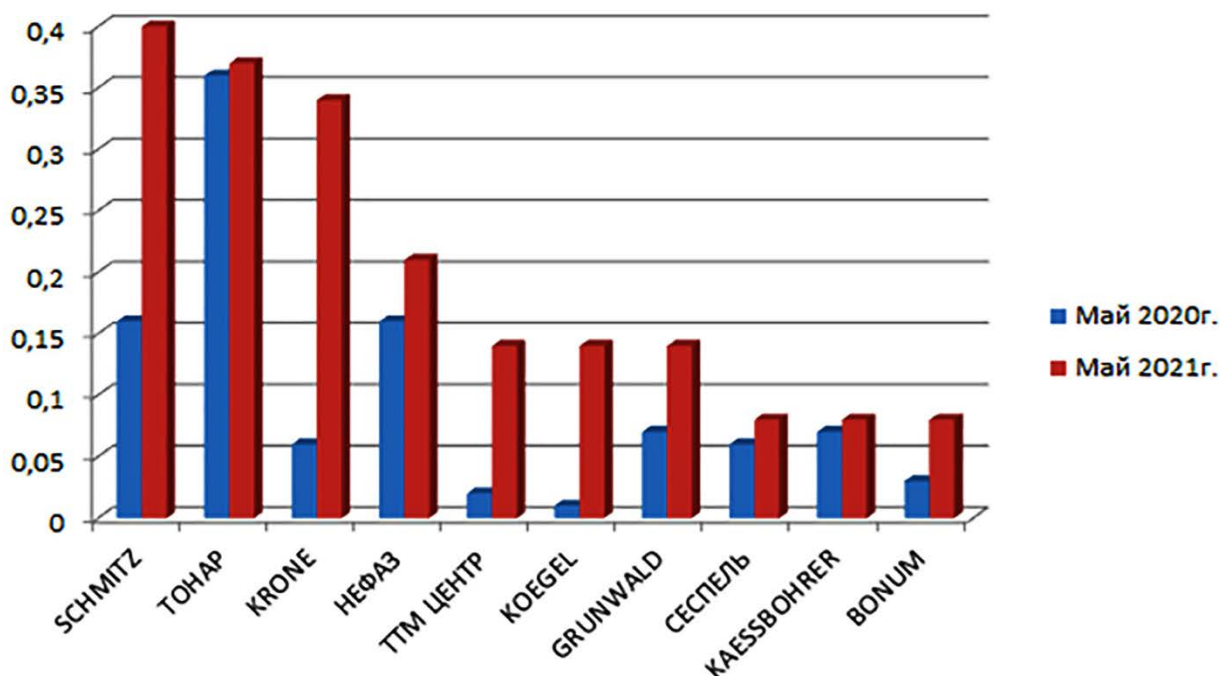


Рисунок 1.7 – Сравнительные результаты продаж новых прицепов в мае 2020–2021 гг.

По приведенным данным анализа рынка техники видна значительная динамика роста количества продаж прицепов по сравнению с предыдущим годом. В этой связи вопрос повышения эффективности использования прицепных систем и автопоездов является перспективным и актуальным на современном этапе развития АПК Российской Федерации [102].

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 колесных движителей в почвах с низкой несущей способностью и невозможности передвижения многоцелевых автомобилей без оказания буксирной помощи тракторами. Таким образом, хозяйства вынуждены для перевозки прицепов с урожаем использовать тракторы, что является малоэффективным из-за их низкой рабочей скорости [107].

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, имеющих, как правило, небольшое количество автомобильной техники.

В связи с принятыми программами по реновации и развитию сельскохозяйственного производства Российской Федерации, в определенной степени финансируемыми или субсидируемыми правительством страны [97], 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, что на 14 % больше, чем за 3 месяца прошлого года. Рост показали восемь брендов из десятки лидеров российского рынка.

Так, немного потерял в объемах лидер рынка – марка ГАЗ, однако результат на уровне 10 542 машин (минус 1,2 %) является достаточно успешным. Вместе с тем необходимо отметить, что основной продукцией здесь является производство малотоннажных грузовых автомобилей (до двух тонн грузоподъемности) и пассажирских автобусов на базе ГАЗель, востребованных в сельском хозяйстве [2].

В ходе анализа продаж грузовых автомобилей за I квартал 2021 года наблюдается положительная динамика. Объем продаж составил 19 400 штук, что на 11,6 % больше, чем за тот же период минувшего года: КамАЗ (7 257 шт.; рост на 24 %), ГАЗ (1 862 шт.; рост на 11,1 %), шведская Scania (1 257 шт.; рост на 36,6 %), белорусский МАЗ (1 255 шт.; рост на 67,8 %).

Данные открытых источников [2, 7, 66, 67] показывают, что доля выпускаемых крупнотоннажных автомобилей увеличивается (рис. 1.8), следовательно, повышается и их количество в хозяйствах автотранспортного и агропромышленного комплексов страны (рис. 1.9). Данное обстоятельство еще более актуализирует рассматриваемое направление исследований для регионов с рискованным земледелием.

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 грузоподъемности этого автомобиля часто не превышает 0,6.

Таким образом, учитывая, что грузоподъемность рассматриваемого транспортного средства составляет 10 тонн, наиболее востребованным при

внутрихозяйственных перевозках может служить полноприводный автомобиль грузоподъемностью до 6 тонн, наиболее стандартизованный с основными моделями, получившими наибольшее распространение в агропромышленном комплексе страны.

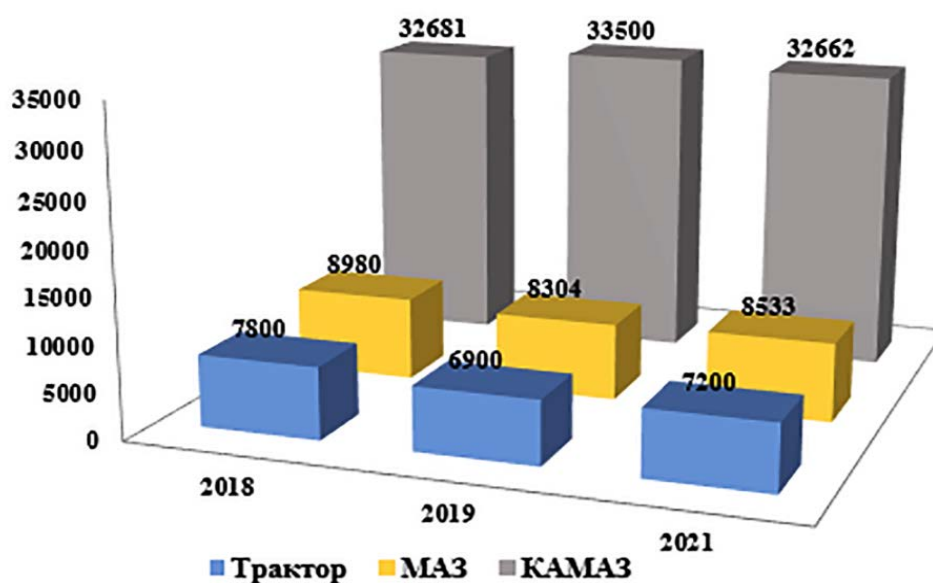


Рисунок 1.8 – Количество произведенных разномарочных тракторов и автомобилей марок КамАЗ, МАЗ в Российской Федерации за период 2018–2021 гг.

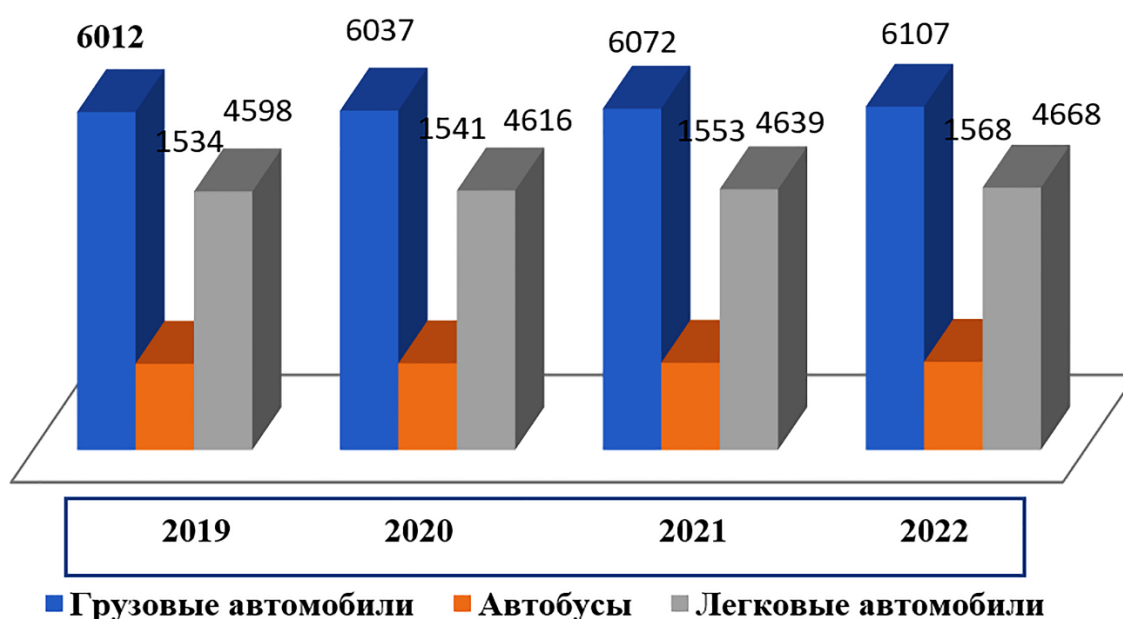


Рисунок 1.9 – Динамика и структура автомобильного парка Амурской области

Ранее наиболее востребованными 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 надежности 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 надежность характеристики во всех климатических зонах Российской Федерации и производственных условиях.

1.3 Анализ способов повышения эффективности использования колесных 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. В тоже время перевозки тракторным транспортом увеличились в 1,7 раза [61].

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

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 [5, 6, 69].

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 65–70 %. При этом затраты энергии достигают около 50 %, а объем грузоперевозок – от 20 до 60 т·км на 1 га обрабатываемой пашни [96, 98].

Одними из основных исследовательских работ, посвященных вопросам управляемости мобильных машин, являются работы Ю. А. Гуськова [33, 34], Я. М. Певзнера [76], И. П. Ксеновича [45, 46], Г. И. Мамити [57, 58], И. К. Пчелинина [87].

Управляемость, теория поворота колесных агрегатов с учетом динамических факторов разрабатывались А. С. Агейкиным [3], Е. М. Асманкиным [10], Д. А. Антоновым [8], С. В. Бахмутовым [12], Я. Е. Фаробинным [103], Я. М. Певзнером [76], А. Н. Мирошниченко [68], И. О. Донато [36].

Вопросу использования колесных грузовых автомобилей на транспортных работах в различных дорожных условиях посвящены работы Н. В. Алдошина [6], А. М. Гамаюнова [19], А. К. Бирули [13], А. Ю. Измайлова [42], С. А. Иофинова [43], З. Ф. Кривуцы [44], С. Д. Сметнева [94], Е. Е. Кузнецова [48, 49], Е. С. Кузнецова [50] и многих других ученых [69, 96, 98, 99].

Вопросы управляемости и устойчивости автомобилей, их торможении на платформе пространственных расчетных схем обсуждались, Г. М. Кутьковым [47], В. С. Курасовым [51], Л. В. Барахтановым [11], А. В. Бочаровым [15] и многими другими авторами [52, 77, 80, 95, 98].

Вопросами надежности движения мобильных машин занимались как отечественные, так и зарубежные исследователи. Значимые труды в данной сфере принадлежат российским ученым: В. П. Горячкину [24], Д. С. Гапичу [20], Я. М. Певзнеру [76], В. А. Гоберману [21], Н. А. Загороднему [39], А. А. Зангиеву [40], А. Л. Иванову [41], С. А. Шишлову [105], С. В. Щитову [107], а также

зарубежным авторам: С. В. Winkler [120], G. B. Tajanowskij [117], М. Р. Miller [112], R. Н. Macmillan [111] и прочим исследователям [109, 110, 113–117, 118, 119].

Также существенный вклад в формирование концепции перемещения автопоездов внесли Я. Е. Фаробин [103], Ю. Г. Горшков [22, 23], В. В. Осепчугов [75].

Проблемы стабилизации, а также управляемости автопоездов нашли отражение в работах С. Л. Овечкина [73], В. А. Петрушова [78], В. И. Поддубного [79], О. И. Поливаева [81] и других исследователей [38, 53–56].

Большая часть работ Д. А. Антонова [8], Е. М. Асманкина [10], В. А. Скотникова [92], Н. И. Селиванова [89] 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 исследованиях Л. В. Барахтанова [11], С. В. Бахмутова [12], Л. В. Григоренко [32], Н. Ф. Скурятин [93], С. Д. Сметнева [94].

Единым мнением ученых считается потребность учета 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 Е. Е. Демина [35], И. О. Донато [36], Н. И. Селиванова [89] подтверждают, что природно-производственные особенности региона применения энергетического средства формируют значительное количество факторов, также оказывающих влияние на его эффективность и работоспособность [18, 31, 38].

Производственными наблюдениями за проведением работ транспортно-технологического обеспечения сельскохозяйственного производства отме-

чено, что в процессе выполнения транспортной операции 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 и значительным снижением покупательской способности внутренней валюты, существенно снизился объем пополнения и обновления существующей техники, что напрямую повлияло на экономическую эффективность транспортных работ и снизило эксплуатационные показатели автотранспорта [33, 40, 66, 79].

Эффективность использования колесных 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 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 З. Ф. Кривуцей [44], рекомендуется применять пробеговые критерии оптимальности, которые имеют относительную простоту и точность измерения, что позволяет получить наибольший экономический результат.

Авторы многочисленных исследований пришли к выводу, что повысить эффективность функционирования транспортно-технологического обеспе-

ния 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.

Одним из наиболее сложных и напряженных является завершающий этап полевых работ – уборка урожая. В исследованиях [44, 52, 106, 107] критериями оптимальности предлагается принимать минимум приведенных затрат на уборку и доставку зерна в требуемом объеме. В рассматриваемом случае целевая функция (Π) представляет собой сумму приведенных затрат в объеме годовой потребности района (1.1):

$$\Pi = \sum_{ijl} C_{ijl} X_{ijl} + \sum_{ikl} C_{ikl} X_{ikl} + \sum_{jkl} C_{jkl} X_{jkl} \rightarrow \min \quad (1.1)$$

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

C_{ikl} – приведенные затраты на перевозку 1 т зерна с i -го поля k -му потребителю l -м способом, руб./т;

C_{jkl} – приведенные затраты на перевозку 1 т зерна с j -го 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 -го тока k -му потребителю l -м способом, т.

Оценку правильности выбора соотношения грузоподъемности и скорости движения с грузом в работе [40] предлагает оценивать при помощи показателя удельного расхода топлива (1.2):

$$g = f \cdot L \cdot 0,72(1 + \text{Am}) \cdot \left[\left(1 + \frac{V_r}{V_x} \right) + \left(\frac{t_{\text{пр}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot V_r}{L} \right) \right] \quad (1.2)$$

где f – коэффициент сопротивления перекачиванию;

L – средняя длина пробега с грузом, км;

A_m – коэффициент материалоемкости;
 V_r – скорость движения с грузом, м/с;
 V_x – скорость движения без груза, м/с;
 $t_{пр}$ – время простоя тракторного поезда на погрузочно-разгрузочных операциях, ч;
 $G_{пр}$ – грузоподъемность прицепа, т.

Для снижения удельного расхода топлива, как видно из уравнения (1.1), необходимо уменьшать коэффициент материалоемкости, повышать скорость движения, снижать 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 [42]. В качестве критерия оптимальности автор предлагает принимать величину себестоимости тонны перевозимого зерна (1.3):

$$\Delta C = \frac{LK\Gamma}{\Delta P} + \frac{Z_y + A_{mc} + Z_m + Z_{пр}}{P} \quad (1.3)$$

где L – путь, проходимый транспортным средством (ТС) при перевозке зерна за цикл «комбайн – ток – комбайн», км;

K – стоимость 1 кг горюче-смазочных материалов, руб.;

Γ – расход горюче-смазочных материалов на 100 км пути, кг;

ΔP – масса зерна, перевозимая ТС за цикл, т;

A_{mc} – амортизация ТС за уборочный период, руб.;

Z_m – затраты на техническое обслуживание ТС за уборочный период, руб.;

$Z_{пр}$ – прочие затраты на ТС, руб.;

P – масса груза, перевозимая ТС за сезон, т.

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:

- 1) детерминированные экономико-математических модели, позволяющих провести оптимизацию параметров транспортной системы [14, 37, 107];
- 2) теория массового обслуживания для построения вероятностных моделей [4, 44, 86];
- 3) имитационное моделирование транспортной системы [16, 70, 74, 83].

В работе [44] тягово-сцепные свойства предлагается оценивать по запасу проходимости с использованием формулы (1.4):

$$\Pi = \frac{\varphi_{\text{доп}} K_z \lambda_k}{K_m \left[\Psi \pm \left(\frac{\delta_{\text{вр}}}{g} \right) \frac{d_v}{d_t} \right]} \quad (1.4)$$

где $\varphi_{\text{доп}}$ – коэффициент использования сцепления, соответствующий допустимому буксованию ведущих колес;

K_z – коэффициент запаса сцепления;

λ_k – коэффициент вертикальной нагрузки ведущих колес;

Ψ – коэффициент сопротивления;

$\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\frac{d_v}{d_t}$ – линейное ускорение агрегата.

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

Проведенный анализ литературных источников показывает, что для повышения эффективности использования колесных грузовых автомобилей на транспортных работах, необходимо повышение их тягово-сцепных свойств.

Указанное возможно при дополнительном распределении сцепного веса по мостам автомобиля за счет перераспределения веса агрегатируемого прицепа и

увеличения опорной поверхности движителей установкой арочных шин [15, 20, 85, 89, 92, 95] согласно предлагаемой блок-схемы, показанной на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Блок-схема формирования комбинированного способа повышения тягово-сцепных свойств автомобиля

1.4 Анализ технических решений и способов повышения сцепного веса энергетического средства

Одной из основных проблем при повышении эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочных работ в условиях повышенной влажности почвы выступает соблюдение необходимого условия увеличения тягово-сцепных свойств энергетических средств с одновременным снижением нормального давления движителей на почву. Используемые в настоящее

время в качестве энергетического средства автомобиля семейства КамАЗ имеют высокое давление движителей на почву, что в условиях повышенной влажности почвы ограничивает их применение в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ вследствие проявления повышенного технологического эффекта при прохождении ходовых систем.

С целью решения обозначенной проблемы предлагается ряд технических решений, защищенных охранными документами Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности (патентообладатель Дальневосточный государственный аграрный университет), которые позволяют провести дооснащение энергетических средств к использованию в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ на почвах с низкой несущей способностью:

1. *Корректор сцепного веса автопоезда (патент РФ № 2658738)* предназначен для увеличения проходимости и повышения производительности прицепных автопоездов в условиях необходимости их передвижения по скользкой дороге, бездорожью, при малой несущей способности почв.

2. *Догружающее устройство автопоезда (патент РФ № 2658716)* предназначено для передачи части собственной нагрузки агрегируемого прицепа через работу силового пневмоцилиндра на ходовую систему тягача.

3. *Догружающий модуль для грузового автомобиля (патент РФ № 2763005)* предназначен для передачи части собственной нагрузки агрегируемого прицепа через гибкую тросовую силовую связь на ходовую систему тягача.

4. *Догрузочное устройство автомобиля (патент РФ № 2658710)* предназначено для передачи части собственной нагрузки агрегируемого прицепа через гибкую тросовую силовую связь и лебедочное устройство на ходовую часть автомобиля.

5. *Устройство догрузки ходовой системы автомобиля (патент РФ № 205034)* предназначено для передачи части собственной нагрузки агрегируемого прицепа через тросовую силовую связь и лебедочное устройство на ходовую систему, ведущие колеса, раму и сцепное устройство буксирующего транспортного средства в целях увеличения его проходимости, снижения буксования, повышения производительности при выполнении работ.

6. *Догрузочное устройство колесного транспортного средства (патент РФ № 164616)* предназначено для увеличения проходимости и повышения производительности колесных транспортных средств.

7. *Корректор центра масс колесного транспортного средства (патент РФ № 166833)* предназначен для увеличения проходимости, устойчивости к опрокидыванию, снижения буксования, повышения безопасности эксплуатации и производительности колесных транспортных средств при передвижении по скользкой или заснеженной дороге.

8. *Корректор-догрузатель ходовой системы транспортного агрегата (патент РФ № 187086)* предназначен для перераспределения части сцепного веса между осями прицепа и сцепным устройством энергетического средства в зависимости от условий буксования, в целях увеличения общей проходимости транспортного агрегата.

9. *Догружающее устройство энергетического средства (патент РФ № 167513)* предназначено для перераспределения части собственной нагрузки между осями прицепа и сцепным устройством энергетического средства в зависимости от условий буксования или зарывания движителей.

10. *Автоматический корректор сцепного веса агротехнического агрегата (патент РФ № 163315)* предназначен для автоматической коррекции сцепного веса агротехнического агрегата и передачи части собственной

нагрузки агрегируемого прицепа через прижимное устройство на агрегируемый трактор в целях увеличения его проходимости, рабочей скорости и производительности при выполнении работ.

11. *Корректор межосевой нагрузки автомобильного прицепа (патент РФ № 164095)* предназначен для увеличения проходимости и повышения производительности колесных транспортных средств при их агрегатировании с прицепами, оборудованными активным ведущим мостом.

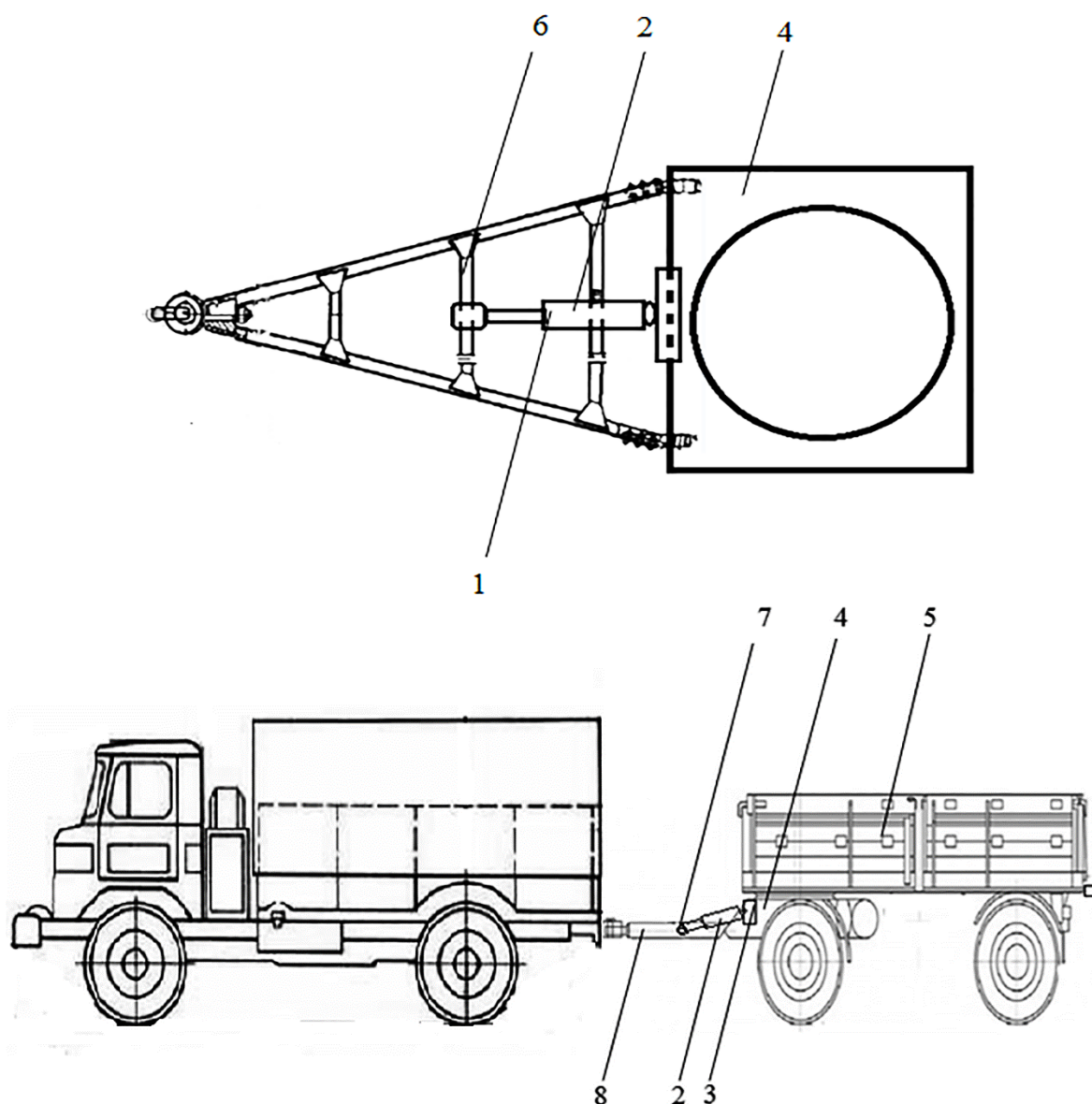
Основная задача предлагаемых технических решений состоит в том, чтобы *повысить тягово-сцепные свойства агрегируемых энергетических средств (автомобилей, тракторов), используемых в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ.*

Рассмотрим более подробно принципиальные схемы и технологические характеристики предлагаемых технических решений в условиях их использования на почвах с низкой несущей способностью.

Корректор сцепного веса автопоезда представлен в виде принципиальной схемы на рисунке 1.11. Корректор сцепного веса автопоезда выполнен в виде конструкции 1, состоящей из силового пневмоцилиндра 2, установленного в кронштейне 3 на фронтальной части поворотной рамы 4 прицепа 5 и торсионной оси 6, проходящей через вилочную рабочую часть 7 силового пневмоцилиндра 2 и встроенной между поперечинами дышла 8 прицепа 5.

Принцип работы устройства. При трогании с места или движении автопоезда по грунтам со слабой несущей способностью, увеличении буксования тягача, водитель включает электромагнитный клапан управления подачей воздуха из рабочей тормозной системы прицепа в силовой пневмоцилиндр 2, шток которого при выходе давит на торсионную ось 6, прижимая дышло 8 прицепа 5, и перераспределяя сцепной вес с передней части и оси прицепа 5 на сцепное устройство и задний ведущий мост тягача; повышая вертикальную нагрузку на движители, что увеличивает тягово-сцепные свойства автопоезда.

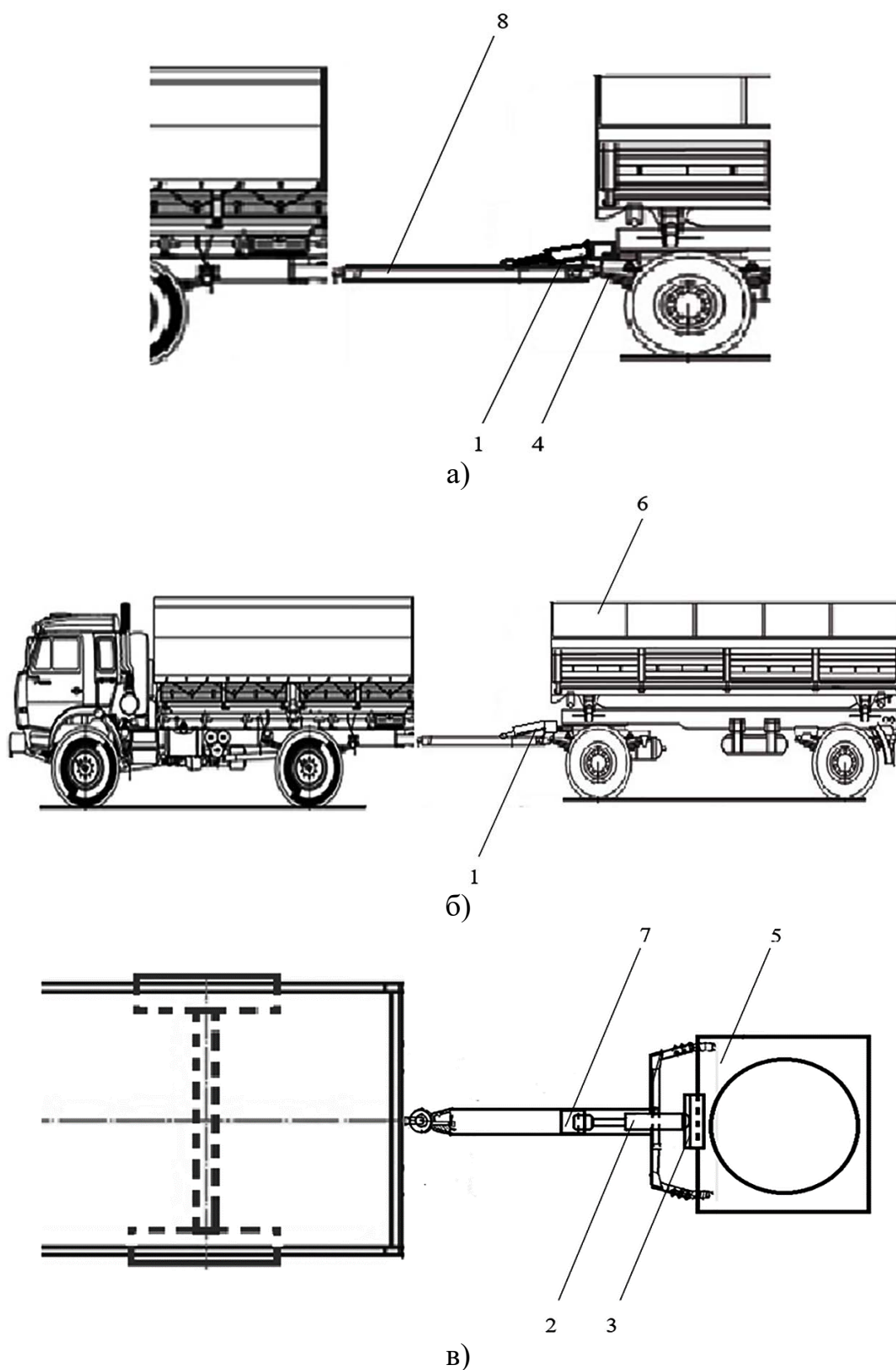
При отсутствии необходимости передвижения с подключенным корректором сцепного веса автопоезда, водитель-оператор электромагнитный клапан управления подачей воздуха не активирует и устройство не подключает.



сверху – принципиальная схема корректора сцепного веса автопоезда;
снизу – схема автопоезда с установленным корректором сцепного веса

Рисунок 1.11 – Корректор сцепного веса автопоезда

Догружающее устройство автопоезда представлено в виде принципиальной схемы на рисунке 1.12.



- а) принципиальная схема догружающего устройства автопоезда;
б) схема автопоезда с установленным догружающим устройством;
в) вид сверху автопоезда с установленным догружающим устройством

Рисунок 1.12 – Допружающее устройство автопоезда

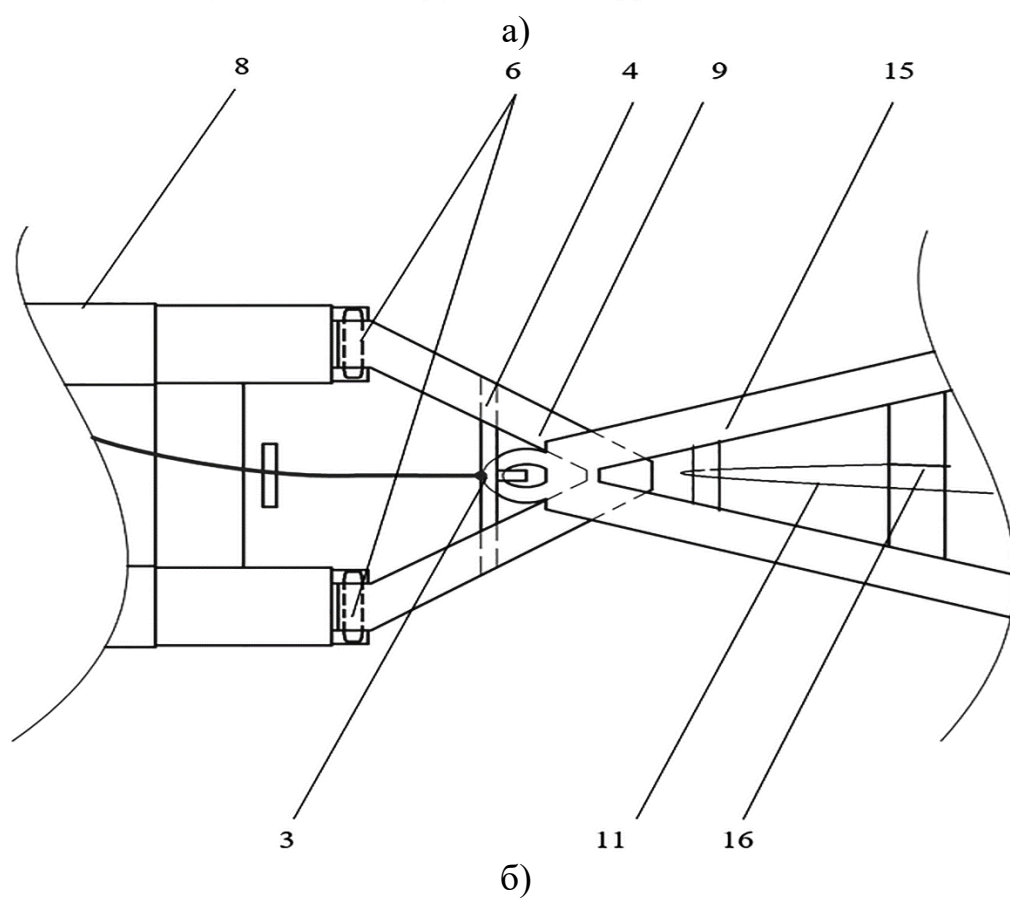
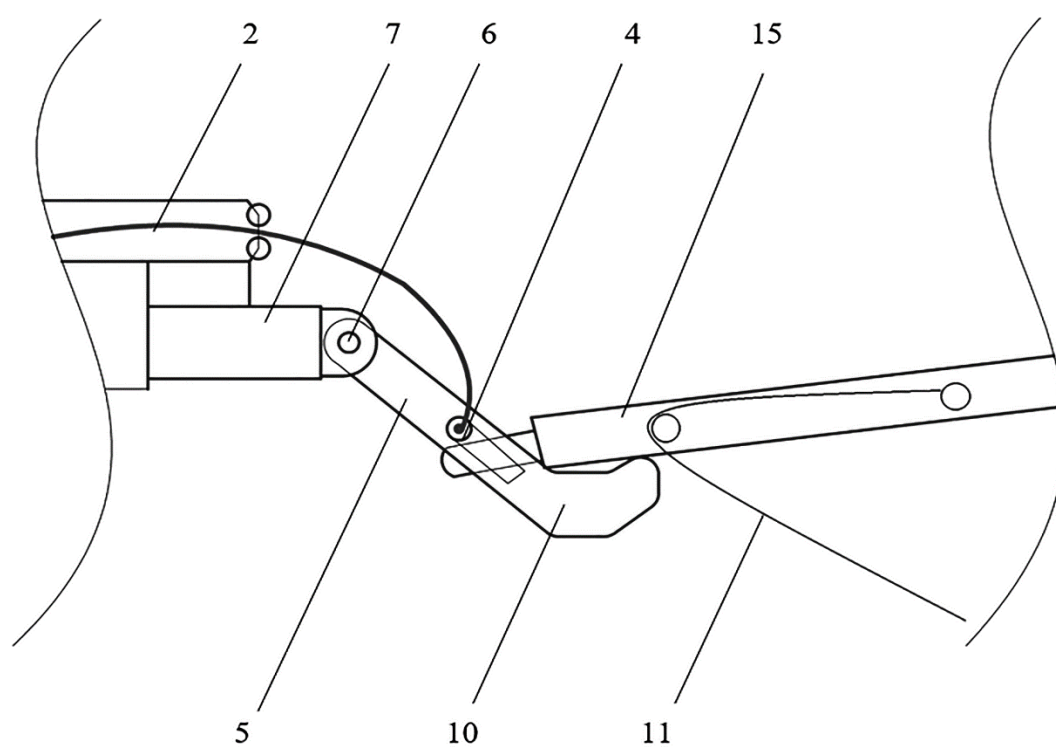
Догружающее устройство автопоезда выполнено в виде конструкции 1, состоящей из силового пневмоцилиндра 2, установленного между установочным кронштейном 3, закрепленном на фронтальной части 4 поворотной рамы 5 прицепа 6, и нажимным кронштейном 7, приваренным при помощи сварки на верхней части дышла 8 прицепа 6.

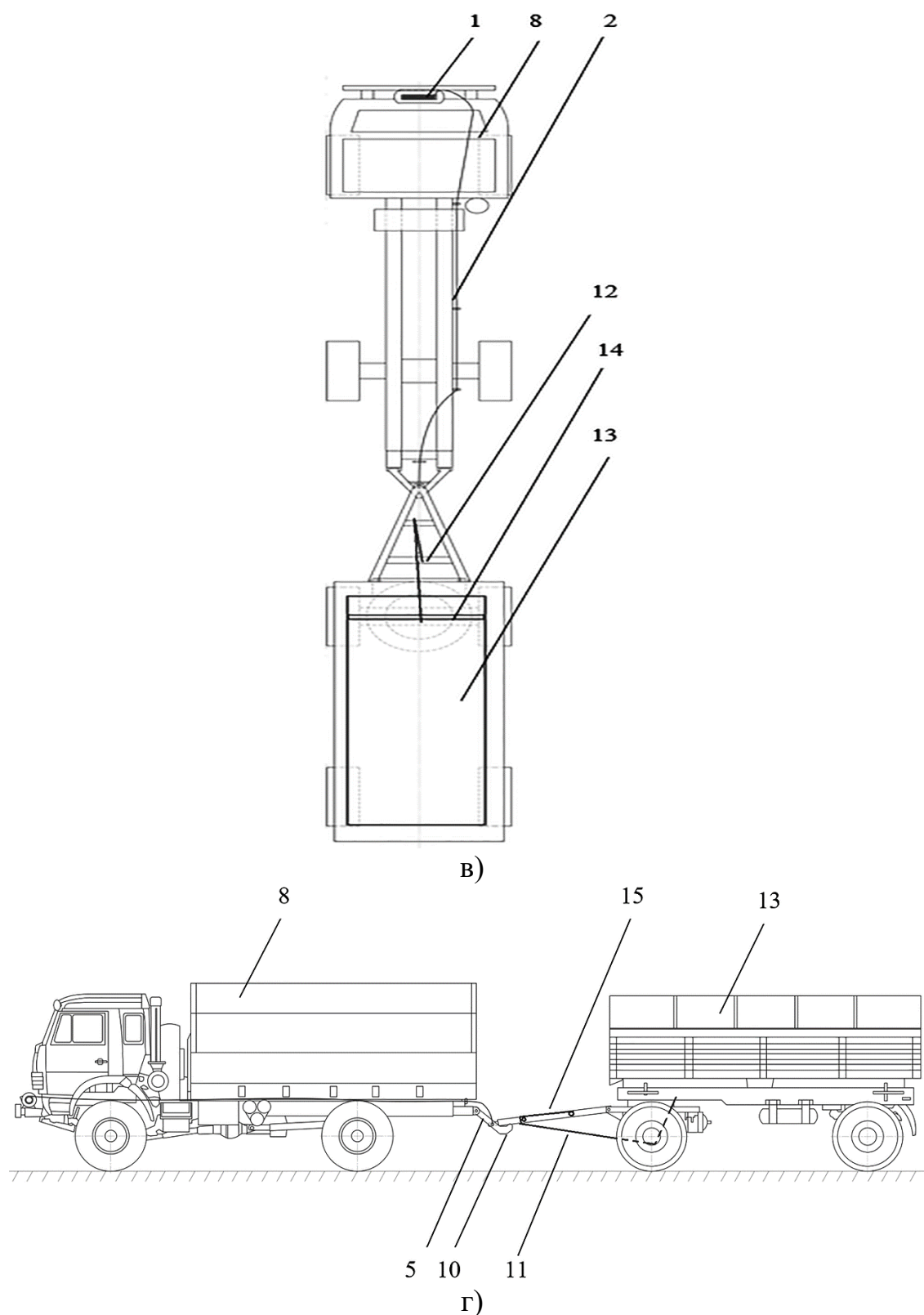
Принцип работы устройства. При трогании с места или движении автопоезда по грунтам со слабой несущей способностью, увеличении буксования тягача, водитель включает электромагнитный клапан управления подачей воздуха из рабочей тормозной системы прицепа в силовой пневмоцилиндр 2, шток которого при выходе, через кронштейн 7 давит на дышло 8 прицепа 6, перераспределяя сцепной вес с передней части и оси прицепа 6 на сцепное устройство и задний ведущий мост тягача, повышая вертикальную нагрузку на движители, что увеличивает тягово-сцепные свойства автопоезда.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догружающим устройством автопоезда, водитель тягача электромагнитный клапан управления подачей воздуха не активизирует и устройство не подключает.

Догружающий модуль для грузового автомобиля представлен в виде принципиальной схемы на рисунке 1.13.

Он выполнен в виде конструкции, состоящей из лебедочного устройства 1 с вытяжной гибкой тросовой силовой связью 2 и чалочным крюком 3, который зафиксирован в поперечной траверсе 4 тягово-сцепного устройства 5, установленного на шарнирах 6 в задней фронтальной части рамы 7 автомобиля 8 и сконструированного в виде опорного кронштейна 9 с поперечной траверсой 4 и крюковым захватом 10, а также тросовой силовой связи 11, закрепленной одним окончанием в поперечной траверсе 12 рамы прицепа 13, проходящей снизу балки переднего моста 14 прицепа 13, нижней части дышла 15 и зафиксированной с верхней части на поперечной силовой траверсе 16 дышла 15 прицепа 13, фиксирующей дышло 15.





- а) принципиальная схема догружающего модуля для грузового автомобиля;
 б) принципиальная схема догружающего модуля для грузового автомобиля (вид сверху);
 в) схема автопоезда с установленным устройством (вид сверху);
 г) профильный вид автопоезда с установленным устройством

Рисунок 1.13 – Догружающий модуль для грузового автомобиля

Принцип работы устройства. При передвижении колесного автопоезда, агрегатированного прицепом по грунтам с низкой несущей способностью и увеличении величины буксования или зарывании движителей, оператором транспортного средства включается лебедочное устройство, которое натягивает вытяжную гибкую тросовую силовую связь 2, приподнимая чалочным крюком 3 тягово-сцепное устройства 5 на шарнирах 6. При этом приподнимается дышло 15, ранее фиксированное в транспортировочном положении тросовой силовой связью 11, вместе с передней частью прицепа, позволяя перераспределить вес прицепа 13 на ходовую систему, ведущие колеса, раму 7 и тягово-сцепное устройство 5 автомобиля 8. Это позволяет увеличивать тягово-сцепные свойства агрегатируемого транспортного средства (автомобиля) и его проходимость по слабонесущим грунтам, делая возможным передвигаться без пробуксовки, производя транспортные перевозки.

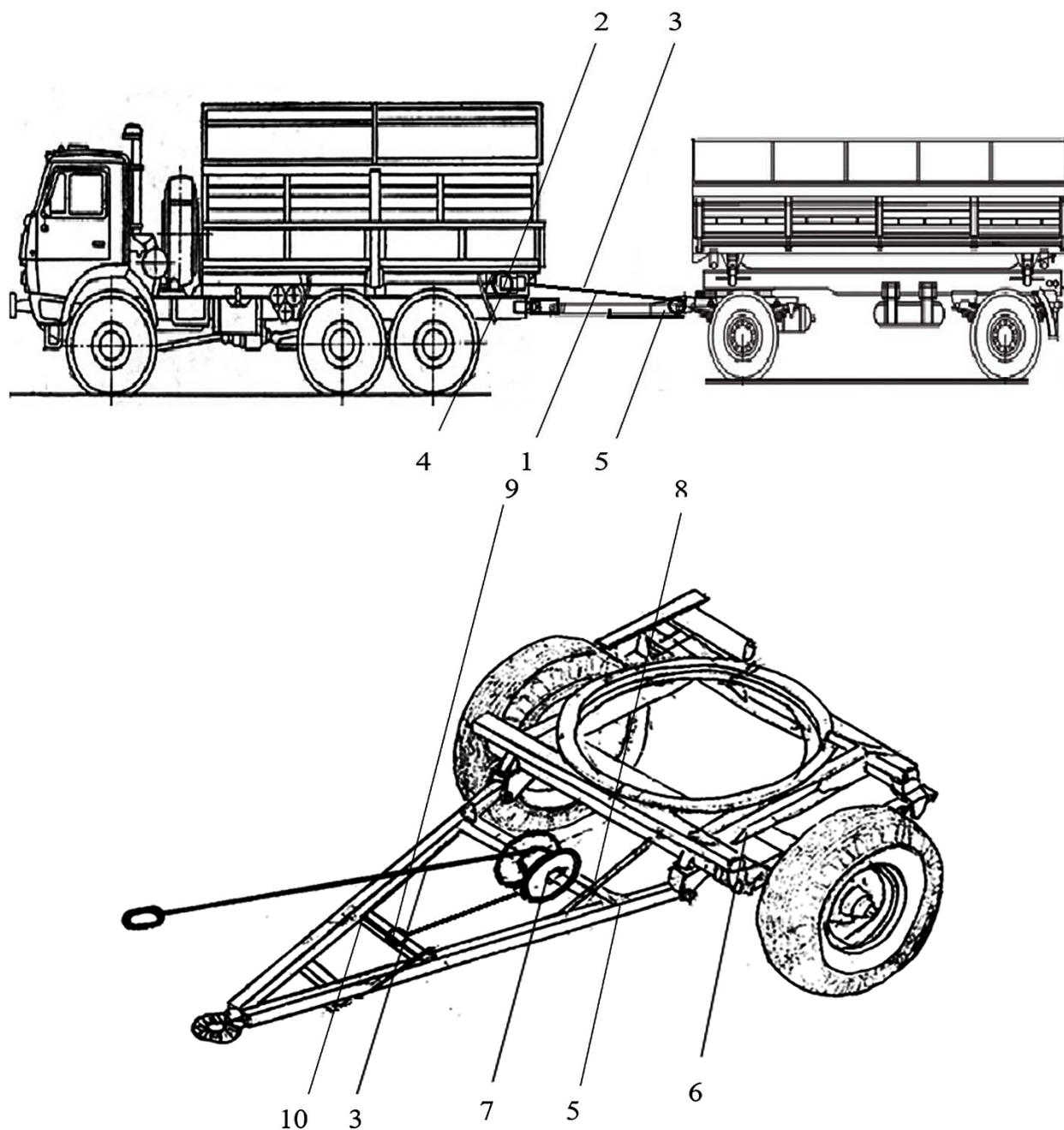
При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догружающим модулем для грузового автомобиля водителем транспортного средства (автомобиля) лебедочное устройство не включается и перераспределение нагрузки не производится.

В транспортировочном положении тягово-сцепное устройство 5 поднимается на шарнирах 6 в вертикальное положение и фиксируется зацепом на фронтальной части кузова автомобиля (на рисунке 1.13 не показано), что позволяет использовать только штатное буксирное устройство автомобиля.

Догрузочное устройство автомобиля представлено в виде принципиальной схемы на рисунке 1.14.

Догрузочное устройство автомобиля выполнено в виде конструкции 1, состоящей из лебедочного устройства 2 с гибкой тросовой силовой связью 3, одно окончание которой зафиксировано в барабане 4 лебедочного устройства 2, а другое проходит с верхней части дышла 5 прицепа 6 через роликовую

направляющую 7, встроенную в силовую траверсу 8 вблизи крепежных шарниров, и крепится крюковым окончанием 9 за среднюю поперечину дышла 10.



сверху – профильный вид автопоезда с догрузочным устройством автомобиля;
снизу – профильный вид передней оси и дышла прицепа

Рисунок 1.14 – Догрузочное устройство автомобиля

Принцип работы устройства. При передвижении колесного автопоезда, агрегатированного прицепом 6, по грунтам с низкой несущей способностью и увеличении величины буксования или зарывании, оператор транспортного

средства включается лебедочное устройство, которое натягивает гибкую тросовую силовую связь 3, вывешивая переднюю часть прицепа 6 на дышло 5, нагружая крепежные шарниры и буксирное устройство автомобиля. Таким образом, перераспределяется нагрузка прицепа 6 на ходовую часть, ведущие колеса, раму и буксирное устройство автомобиля, что увеличивает тягово-сцепные свойства агрегируемого транспортного средства и его проходимость по слабонесущим грунтам, позволяя без пробуксовки передвигаться, производя транспортные перевозки.

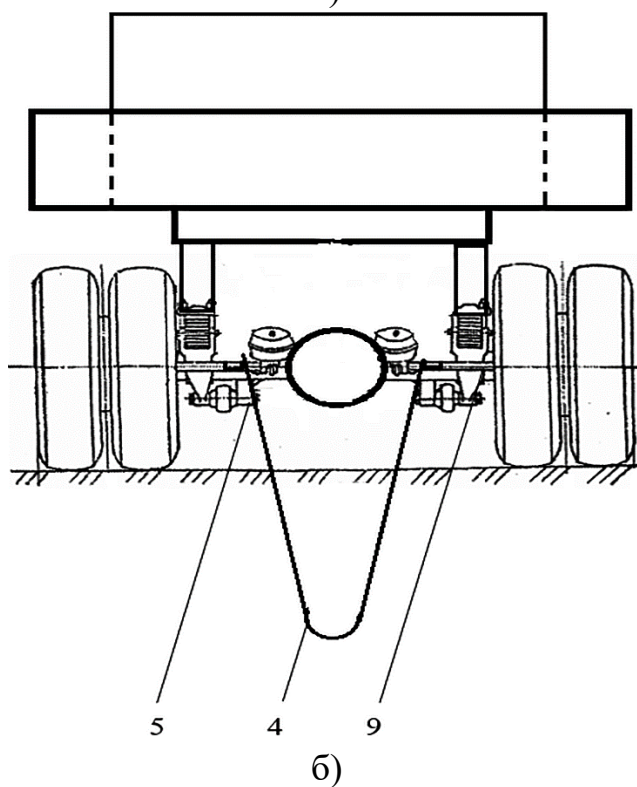
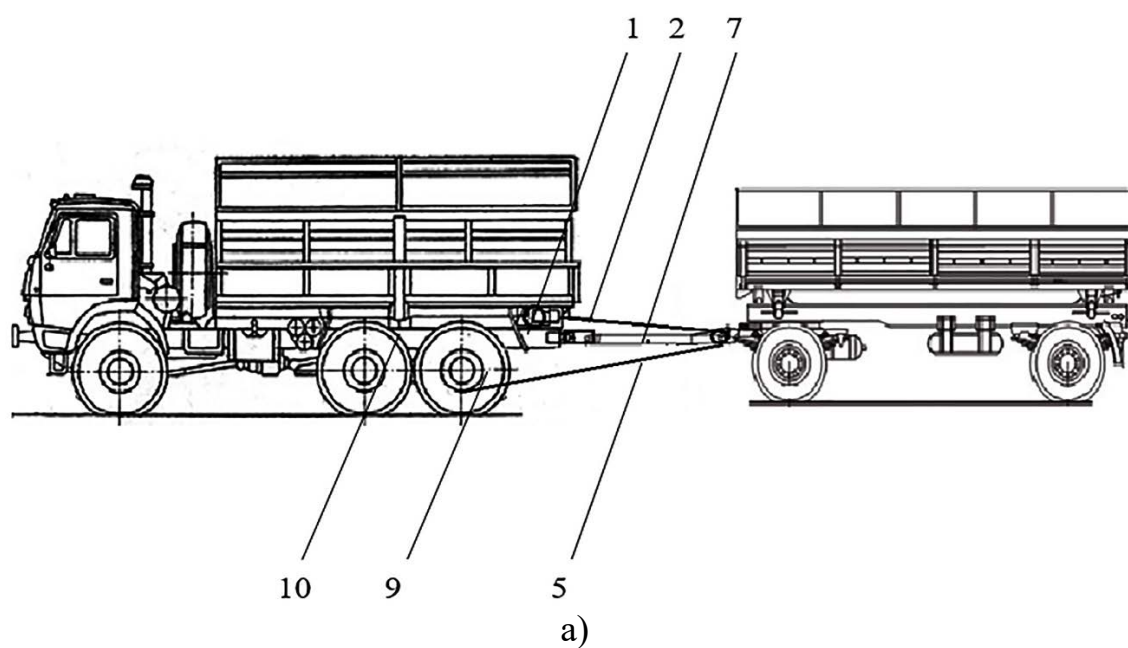
При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догрузочным устройством оператором транспортного средства лебедочное устройство не включается и перераспределение нагрузки не производится.

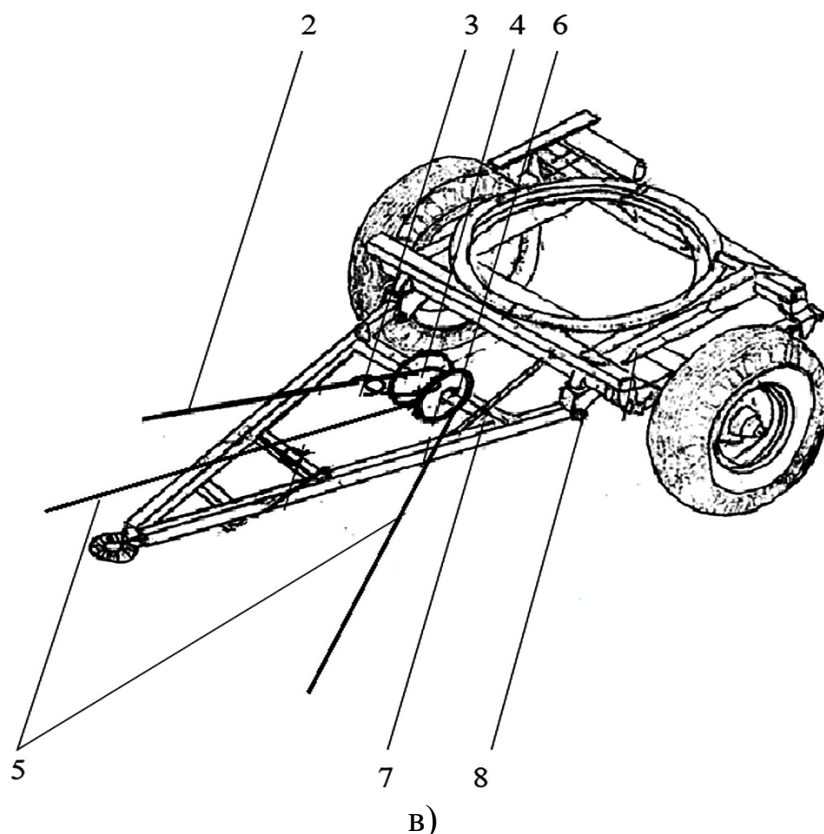
Устройство догружения ходовой системы автомобиля представлено в виде принципиальной схемы на рисунке 1.15.

Данное устройство выполнено в виде конструкции, состоящей из лебедочного устройства 1 с вытяжной гибкой тросовой силовой связью 2 и чалочным крюком 3, который зафиксирован в срединной петле 4 следующей гибкой тросовой связи 5, проходящей через ролик направляющую 6, встроенную в силовую траверсу дышла 7 прицепа вблизи крепежных шарниров 8; при этом петля 4 образована при оборачивании окончаний гибкой тросовой связи 5 вокруг чулка заднего ведущего моста 9 автомобиля 10.

Принцип работы устройства. При передвижении колесного автопоезда, агрегированного прицепом, по грунтам с низкой несущей способностью и увеличении величины буксования или зарывании движителей, оператором транспортного средства включается лебедочное устройство, которое натягивает гибкую тросовую силовую связь 2. При этом вывешивается передняя часть прицепа на гибкой тросовой связи 5, что позволяет нагрузить крепежные шарниры 8 дышла 7 и буксирное устройство автомобиля. Таким образом, перераспределение нагрузки прицепа на ходовую систему, ведущие колеса, раму

и буксирное устройство автомобиля, обеспечивает увеличение тягово-сцепных свойств агрегатируемого транспортного средства и его проходимости по слабонесущим грунтам, позволяя без пробуксовки передвигаться, производя транспортные перевозки.





- а) профильный вид автопоезда с установленным устройством;
- б) фронтальный вид заднего ведущего моста автомобиля с установленным устройством;
- в) профильный вид передней оси и дышла прицепа с встроенной роликовой направляющей устройства догружения ходовой системы автомобиля

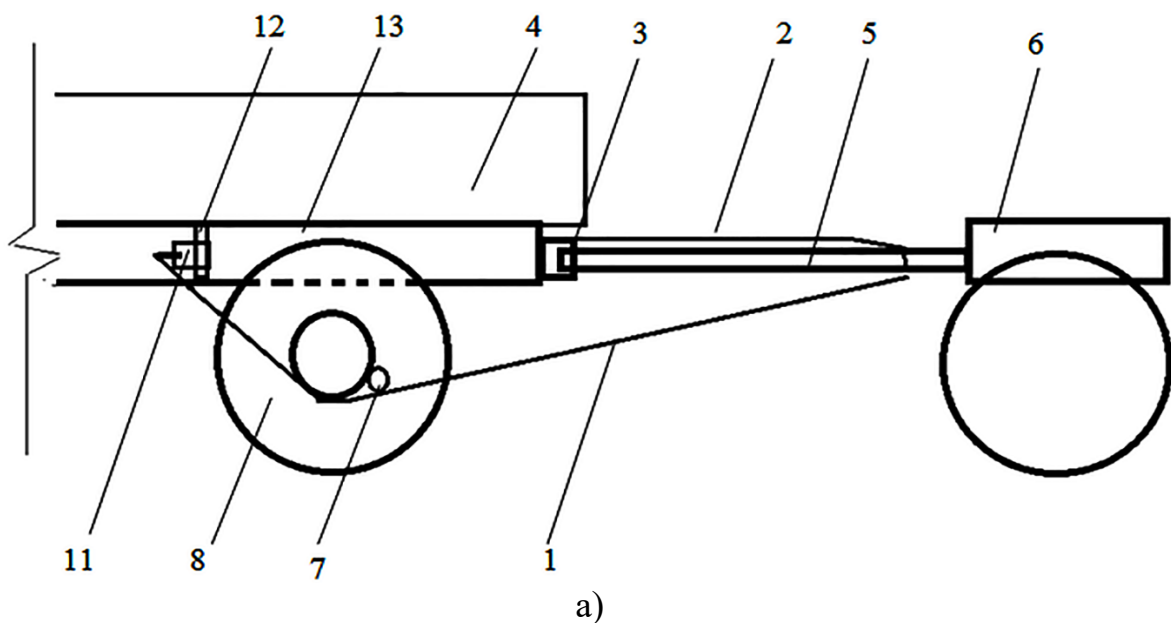
Рисунок 1.15 – Устройство догружения ходовой системы автомобиля

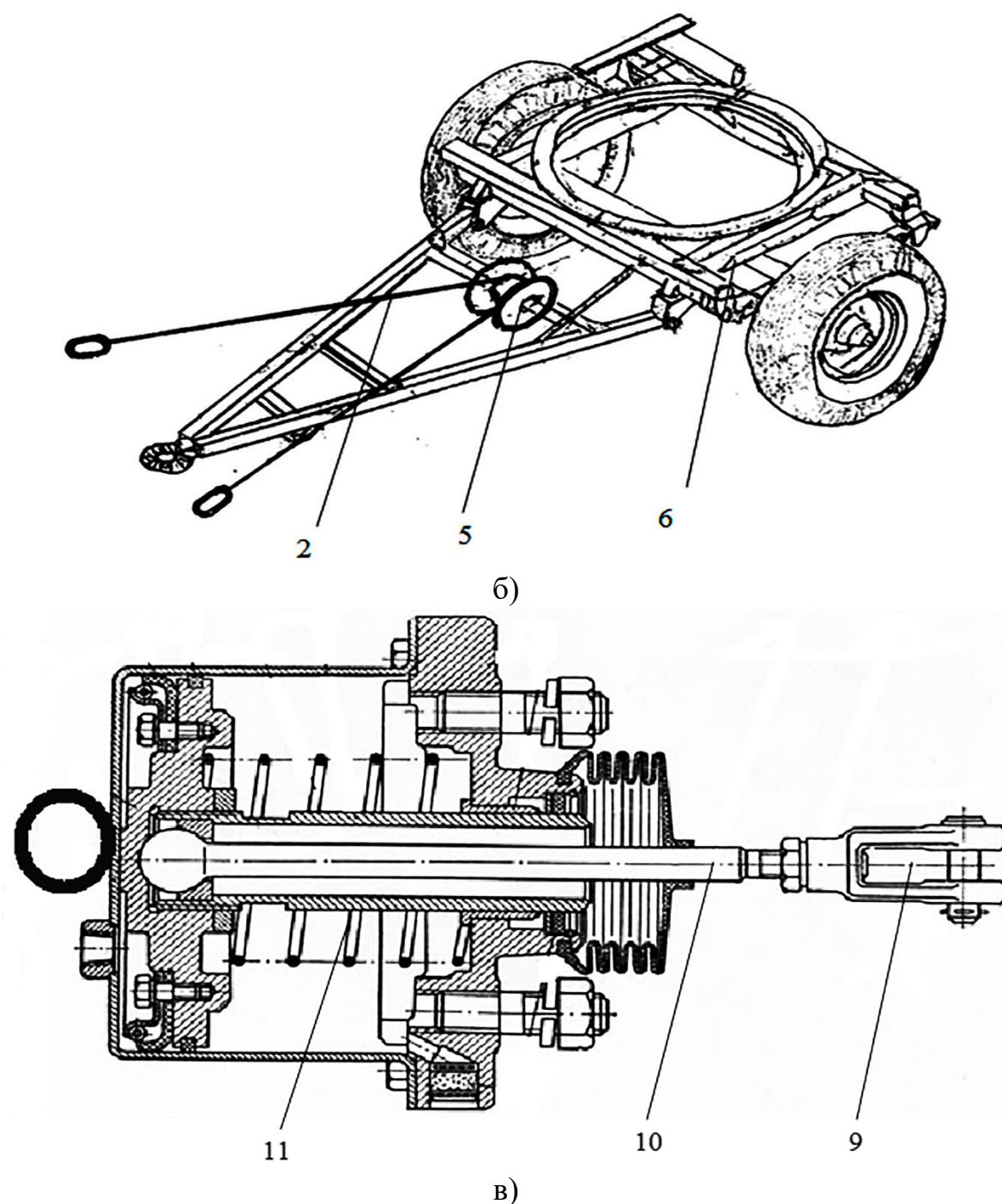
При отсутствии необходимости передвижения с подключенным устройством догружения ходовой системы автомобиля оператор транспортного средства (автомобиля) лебедочное устройство не включается и перераспределение нагрузки не производится.

Догрузочное устройство колесного транспортного средства представлено в виде принципиальной схемы на рисунке 1.16. Оно выполнено в виде конструкции 1, содержащей гибкую тросовую силовую связь 2 (стандартный буксировочный трос), одно окончание которой зафиксировано в сцепном устройстве 3 буксирующего колесного транспортного средства 4, проходящую через поперечину дышла 5 прицепа 6, роликовую направляющую 7, установленную в нижней части заднего ведущего моста 8 колесного транспортного

средства 4; причем последующее окончание силовой связи 2 фиксировано в проушине 9 штока 10 силового пневморегулятора 11, закрепленного на поперечной траверсе 12 рамы 13 колесного транспортного средства 4.

Принцип работы устройства. При передвижении колесного транспортного средства 4, агрегатированного прицепом 6, по грунтам с низкой несущей способностью и увеличении величины буксования или зарывании, оператор транспортного средства включает забор воздуха из пневмосистемы в силовой пневморегулятор 11, шток 10, в проушине 9 которого фиксировано окончание силовой связи 2. При выходе натягивается тросовая силовая связь 2, нагружая узел сцепного устройства 3 транспортного средства 4, дышло 5 и перераспределяя собственную нагрузку прицепа 6 на ходовую часть, ведущие колеса, раму 13 и сцепное устройство 3 буксирующего транспортного средства 4, что увеличивает тягово-сцепные свойства буксирующего транспортного средства и проходимость по слабонесущим грунтам, позволяя без пробуксовки передвигаться, производя транспортные перевозки.



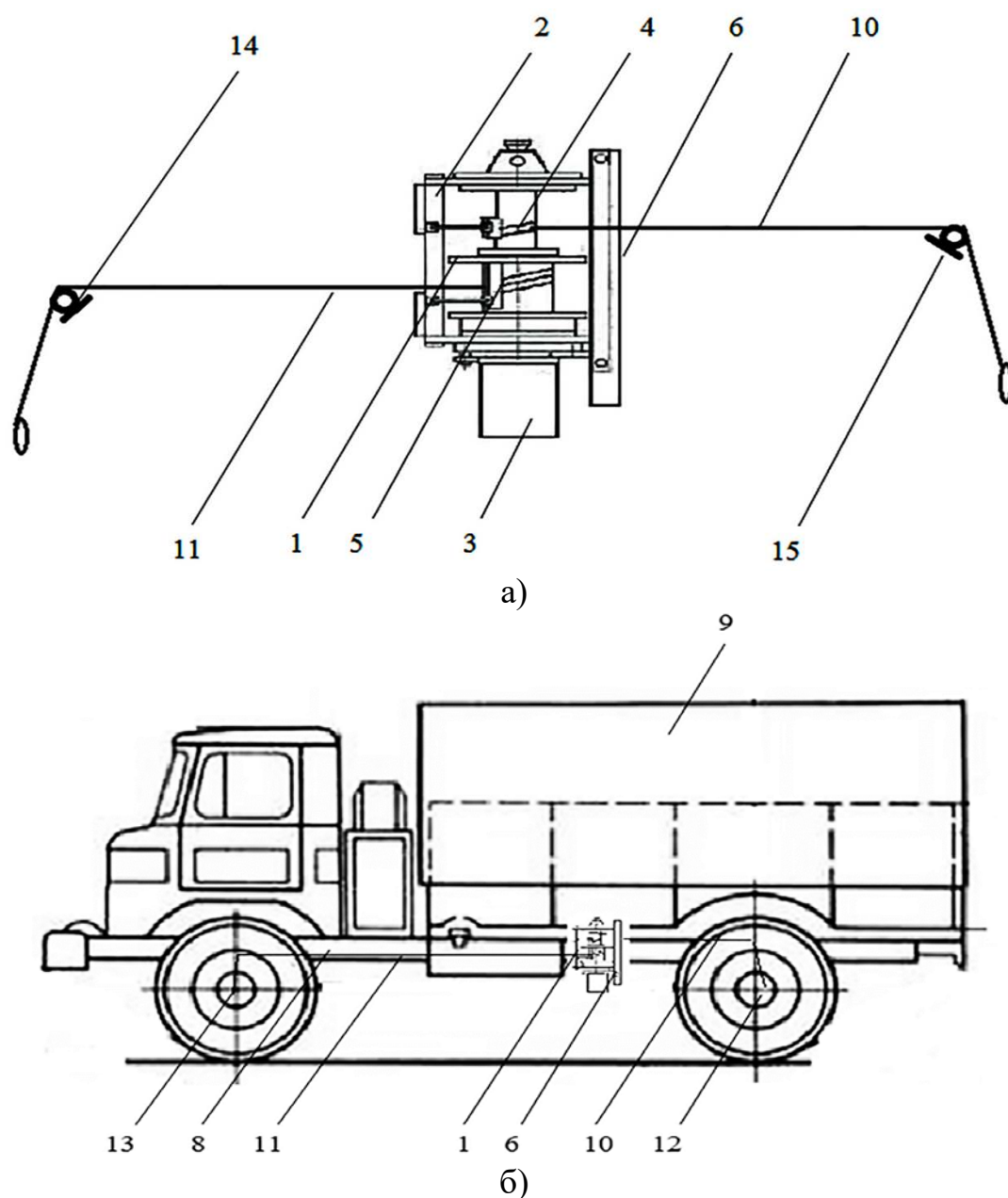


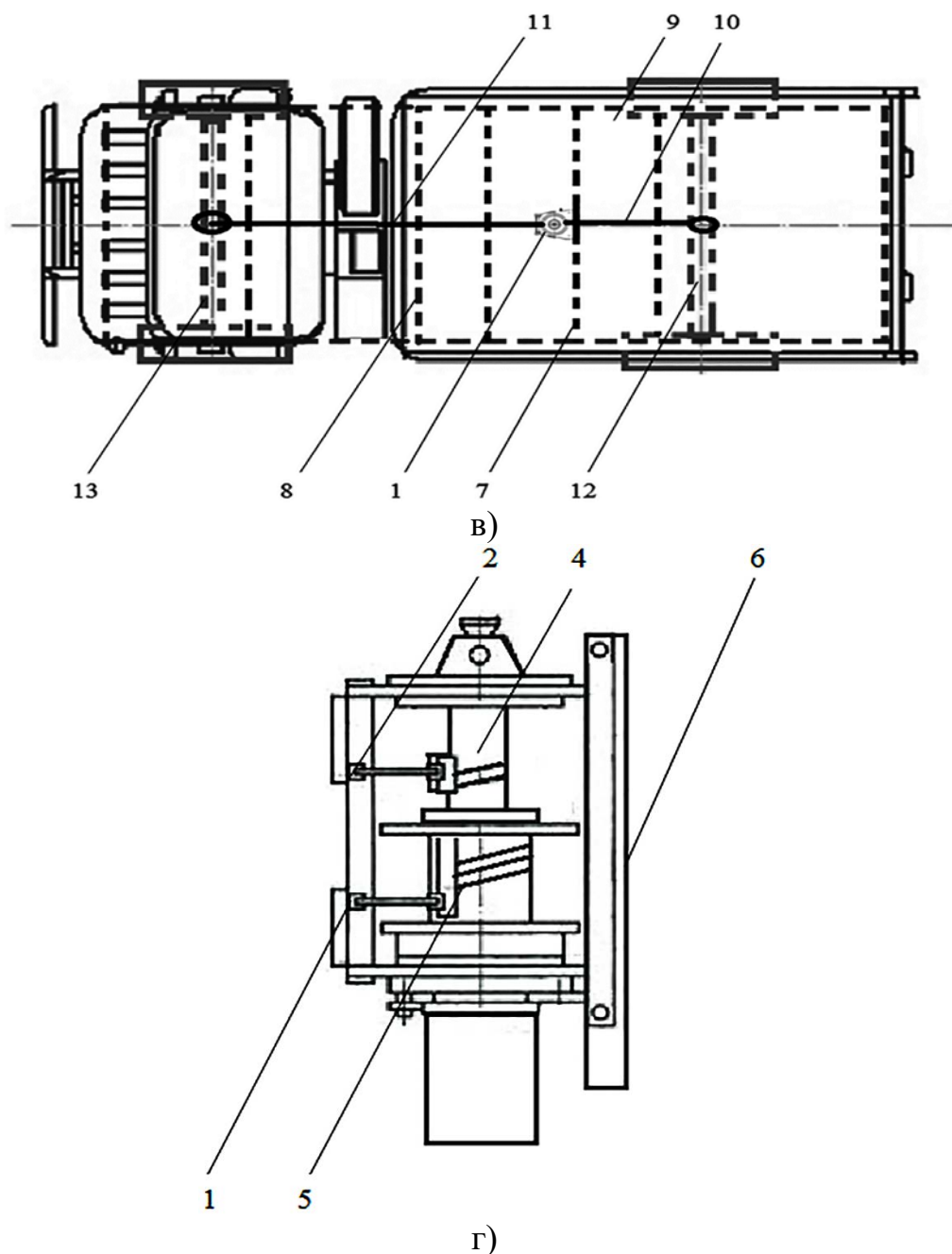
- а) профильный вид автопоезда с установленным догрузочным устройством;
б) профильный вид прицепа с догрузочным устройством транспортного средства;
в) схема силового пневморегулятора догрузочного устройства транспортного средства

**Рисунок 1.16 – Допгрузочное устройство
колесного транспортного средства**

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догрузочным устройством колесного транспортного средства оператор транспортного средства 4 забор воздуха в силовой пневморегулятор 11 отключается и перераспределение собственной нагрузки прицепа 6 на ходовую часть, ведущие колеса, раму 13 и сцепное устройство 3 буксирующего транспортного средства 4 не производится.

Корректор центра масс колесного транспортного средства представлен в виде принципиальной схемы на рисунке 1.17.





а) принципиальная схема корректора центра масс колесного транспортного средства;
б) профильный вид автомобиля с установленным корректором центра масс;
в) вид сверху автомобиля с установленным корректором центра масс;
г) профильный вид натяжного механизма корректора центра масс транспортного средства

Рисунок 1.17 – Корректор центра масс колесного транспортного средства

Он содержит натяжной механизм 1, выполненный в виде лебедки 2 с электрическим приводом 3 и разнодиаметральными барабанными блоками 4 и 5, установленный вертикально в силовом кронштейне 6 на траверсе 7 рамы 8 колесного транспортного средства 9 в месте оптимального размещения центра

масс, и двух гибких тросовых силовых связей 10 и 11, которые обвиты вокруг срединной части мостов 12 и 13 колесного транспортного средства 9, проходят через технологические отверстия в траверсах рамы 8, роликовые направляющие 14 и 15 и закреплены в разнодиаметральных барабанных блоках 4 и 5 натяжного механизма 1.

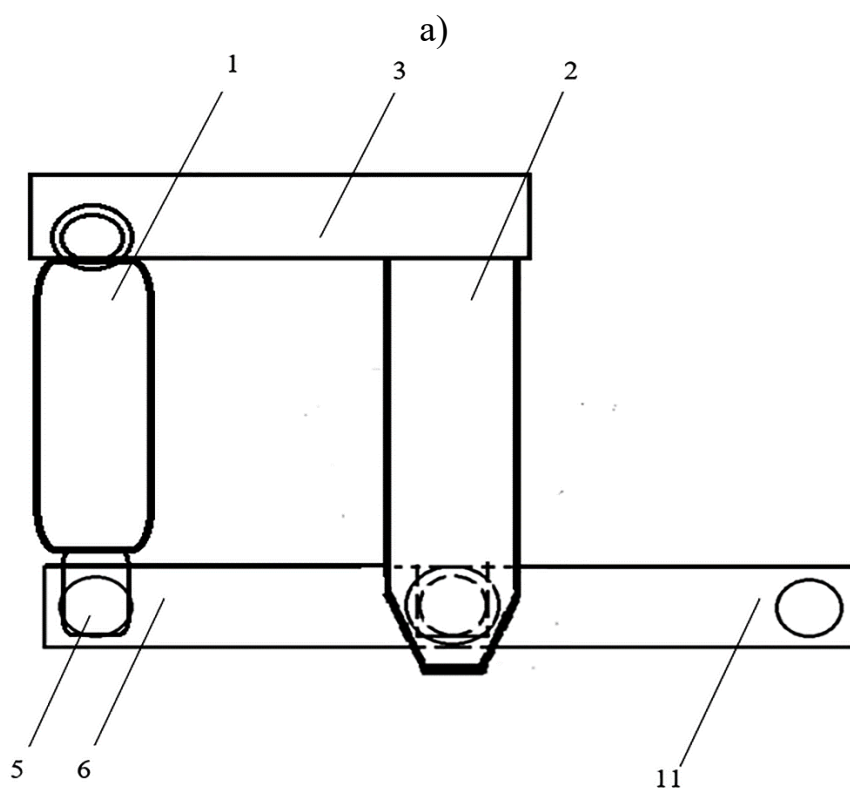
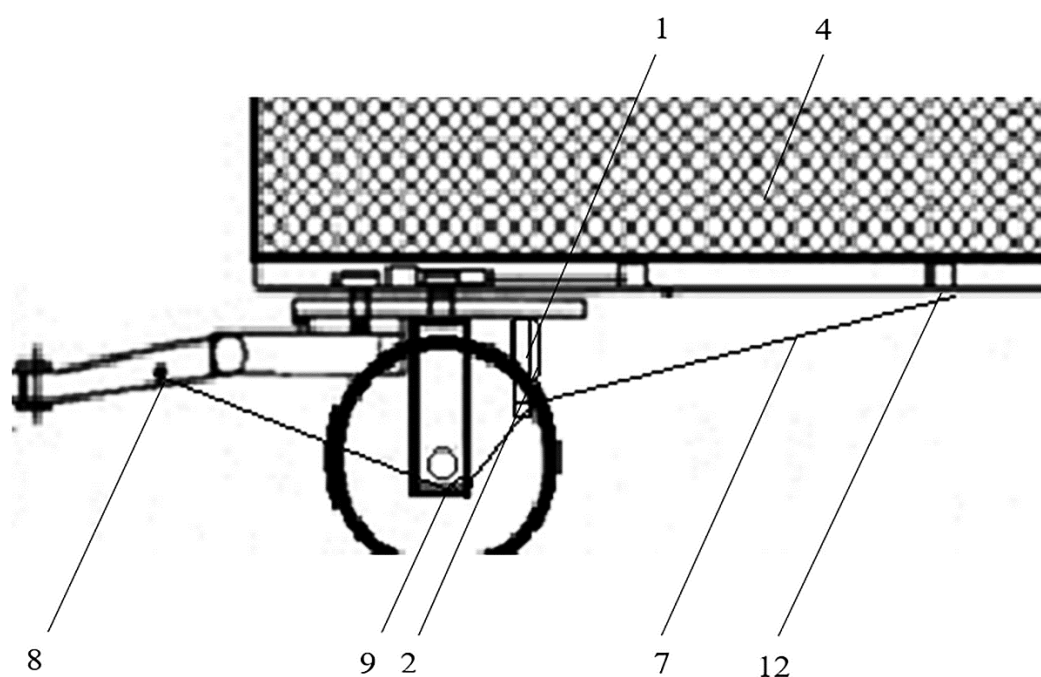
Принцип работы устройства. При передвижении колесного транспортного средства 9 по грунтам с низкой несущей способностью, увеличении буксования или проваливании, водитель подает электрический ток, подключая электрический привод 3 лебедки 2 натяжного механизма 1, производя натяжение гибких тросовых связей 10 и 11, прижимая мосты 12 и 13 к раме, и перераспределяя вертикальную нагрузку с мостов транспортного средства 9, выравнивая ее распределение по осям и смещая центр масс на натяжной механизм. Это увеличивает устойчивость к опрокидыванию, тягово-сцепные свойства, проходимость колесного транспортного средства по слабонесущим грунтам; позволяет без пробуксовки передвигаться, производя сельскохозяйственные работы; повышает безопасность эксплуатации и производительность автомобилей.

При отсутствии необходимости передвижения с корректором центра масс транспортного средства водитель не подключает натяжной механизм.

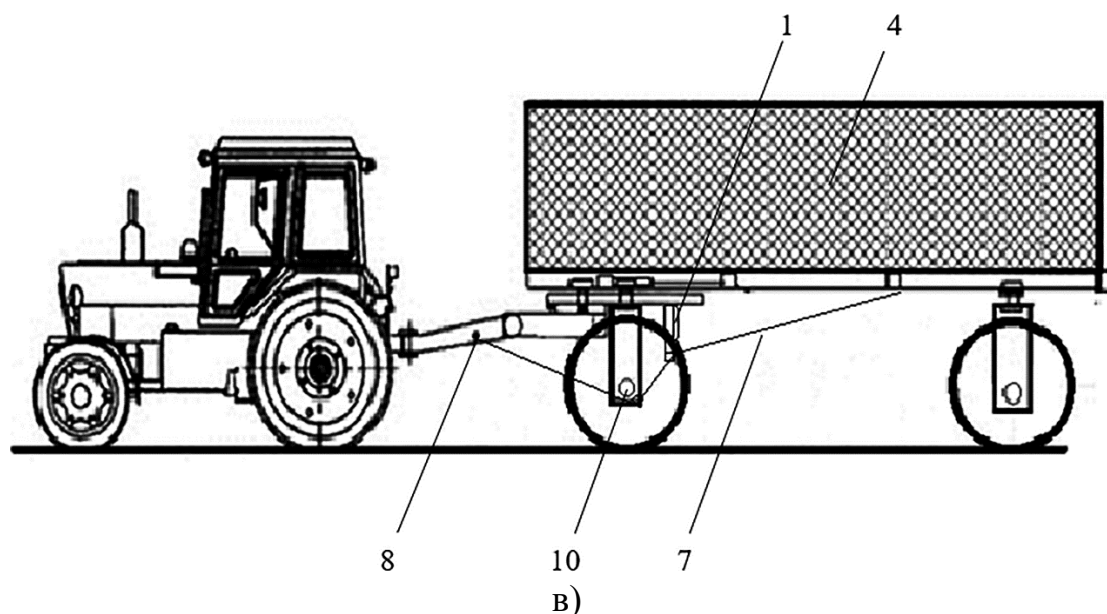
Корректор-догружатель ходовой системы транспортного агрегата представлен в виде принципиальной схемы на рисунке 1.18.

Он выполнен в виде конструкции, включающей силовой нагружающий гидроцилиндр 1 и равноплечий регулирующий балансир 2 с шарниром, смонтированных в кронштейне 3 на поперечной траверсе рамы прицепа 4 (при этом вилочная часть 5 рабочего штока гидроцилиндра 1 установлена в плече 6 регулирующего балансира 2), а также гибкую тросовую силовую связь 7 с петлевыми окончаниями, одним окончанием закрепленную в поперечине дышла

8 прицепа 4, проходящую через поддерживающий узел 9 с подшипником, фиксированный на передней оси 10 прицепа 4, противолежащее плечо 11 балансира 2 и последующим окончанием смонтированной болтовым соединением в технологическом отверстии силовой траверсы 12 прицепа 4.



6)



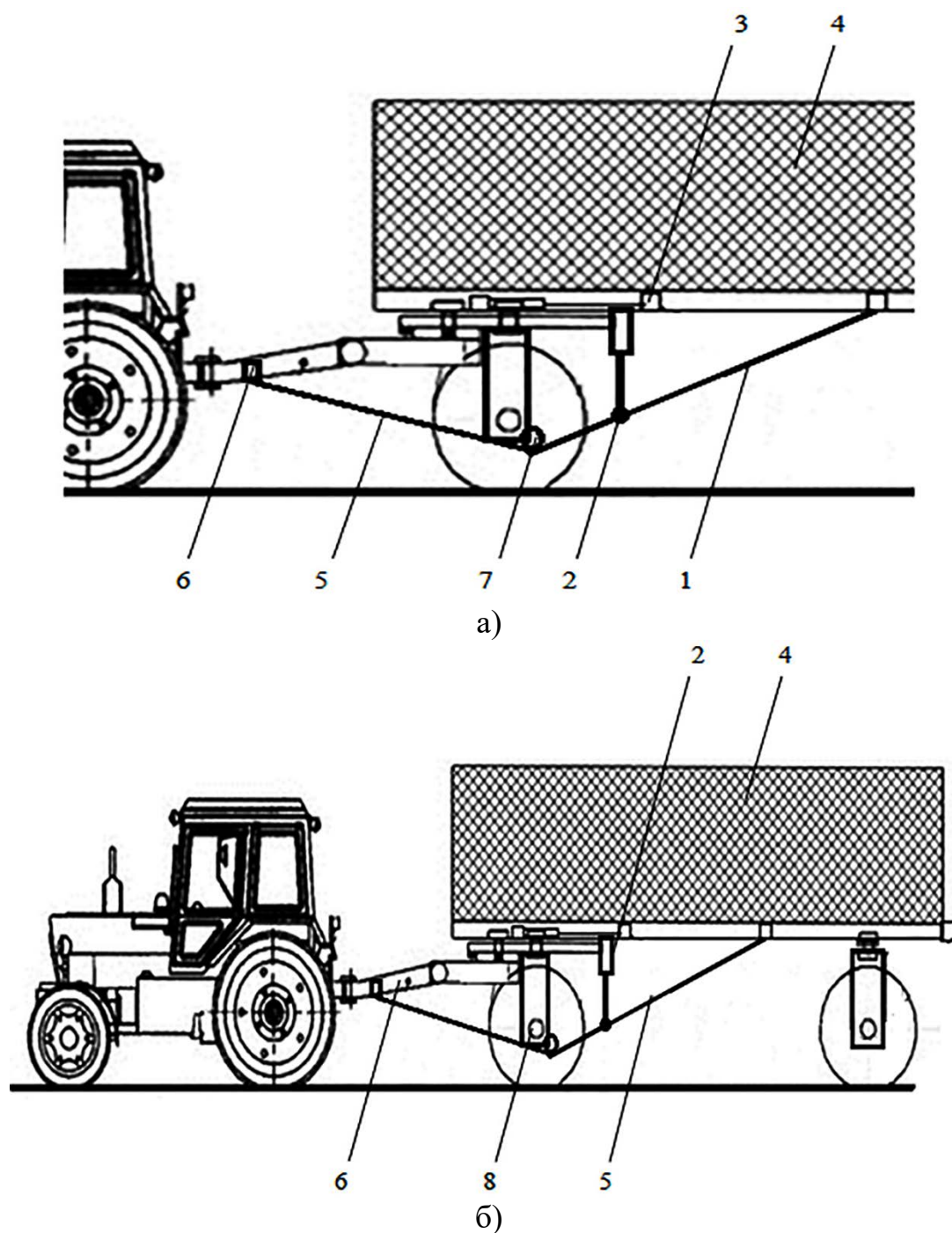
- а) принципиальная схема корректора-догрузателя ходовой системы транспортного агрегата;
б) фронтальный вид равноплечего регулирующего балансира корректора-догрузателя ходовой системы транспортного агрегата; в) профильный вид тракторного поезда с корректором-догрузателем ходовой системы транспортного агрегата

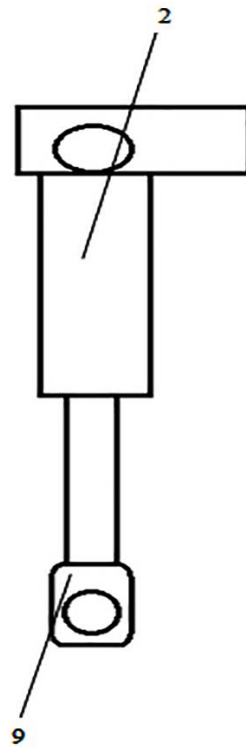
**Рисунок 1.18 – Корректор-догрузатель
ходовой системы транспортного агрегата**

Принцип работы устройства. При трогании с места или движении колесных энергетических средств, агрегатированных прицепом, по грунтам с низкой несущей способностью, увеличении буксования и необходимости повышения тягово-сцепных свойств энергетического средства, машинист-оператор подключает корректор-догрузатель ходовой системы транспортного агрегата при помощи гидрораспределителя, подавая рабочую жидкость в гидроцилиндр 1, шток которого при выходе давит на плечо 6 регулирующего балансира 2, опуская его. При этом противолежащее плечо 11 балансира 2 поднимается, натягивая гибкую тросовую силовую связь 7, прижимая дышлом 8 прицепа 4 сцепное устройство энергетического средства, и перераспределяя нагрузку с осей прицепа на заднюю часть и ведущий мост энергетического средства, что увеличивает его касательную силу тяги и тягово-сцепные свойства, снижает буксование и зарывание движителей энергетического средства, позволяя передвигаться с высокими агротехническими скоростями.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным корректором-догрузчиком ходовой системы транспортного агрегата машинист трактора гидрораспределитель не активирует и устройство не подключает.

Догружающее устройство энергетического средства представлено в виде принципиальной схемы на рисунке 1.19.





в)

- а) принципиальная схема догружающего устройства энергетического средства;
б) профильный вид тракторно-транспортного агрегата с установленным устройством;
в) вилочная часть рабочего штока силового гидроцилиндра догружающего устройства

Рисунок 1.19 – Догружающее устройство энергетического средства

Оно выполнено в виде конструкции 1, состоящей из силового гидроцилиндра 2, установленного в кронштейне на поперечной траверсе рамы 3 прицепа 4 и гибкой тросовой силовой связи 5 с петлевыми окончаниями, одним окончанием закрепленной в поперечине дышла 6 прицепа 4, проходящей через поддерживающий узел 7 с подшипником, установленный на передней оси 8 прицепа 4, вилочную часть рабочего штока 9 силового гидроцилиндра 2, последующим окончанием зафиксированной болтовым соединением в технологических отверстиях поперечной траверсы рамы 3 прицепа 4.

Принцип работы устройства. При трогании с места или движении колесных энергетических средств, агрегатированных прицепом, по грунтам со слабой несущей способностью, увеличении буксования буксирующего энергетического средства, водитель-оператор подключает догружающее устрой-

ство энергетического средства при помощи гидрораспределителя, подавая рабочую жидкость в силовой гидроцилиндр 2, вилочная часть рабочего штока 9 которого при задвижении натягивает гибкую тросовую силовую связь 5, прижимая дышлом 6 прицепа 4 сцепное устройство энергетического средства, и перераспределяя нагрузку с осей прицепа на заднюю часть и ведущий мост, что увеличивает касательную силу тяги, снижает буксование и зарывание движителей энергетического средства.

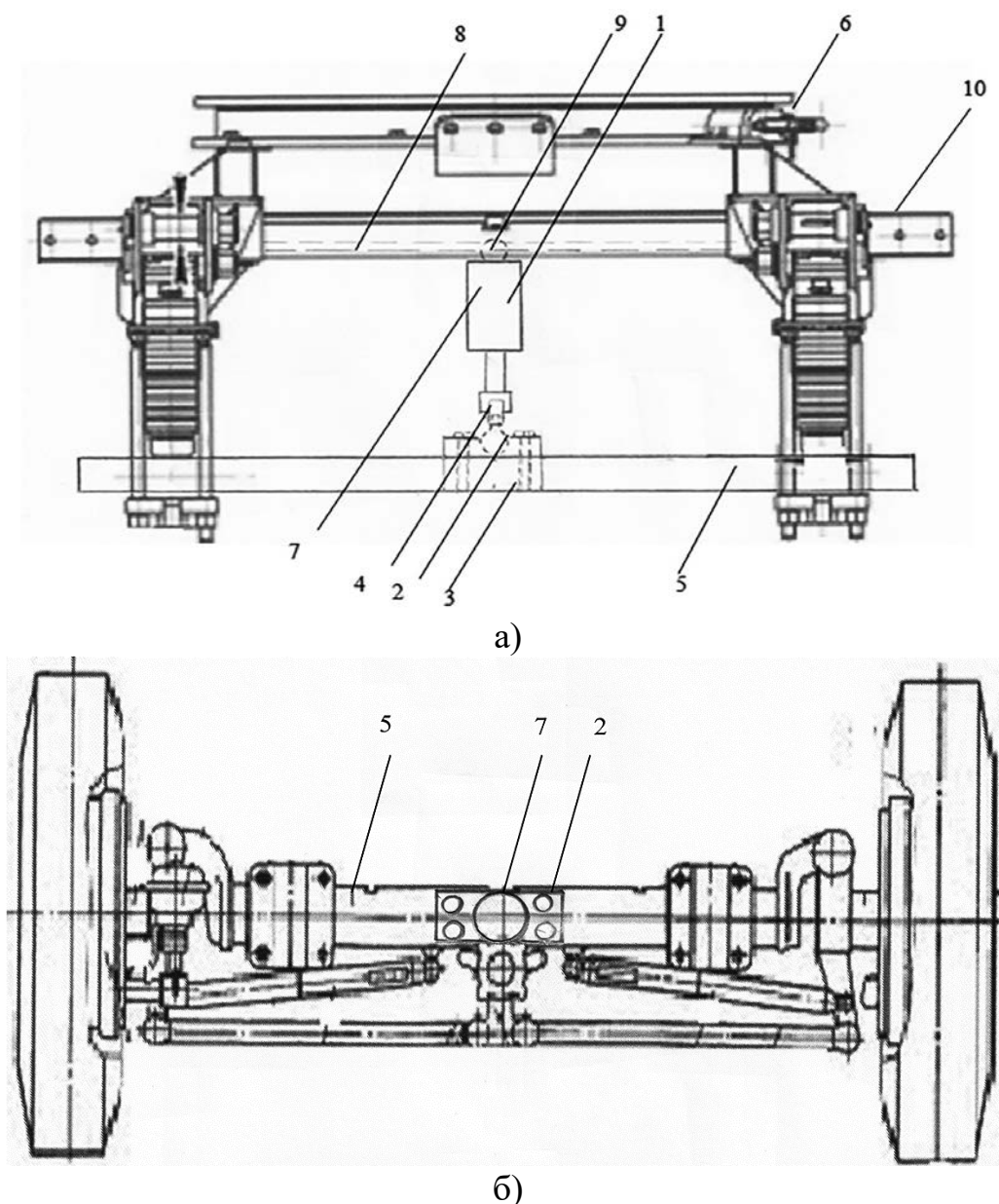
При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догружающим устройством энергетического средства, водитель-оператор гидрораспределитель не активирует и устройство не подключает.

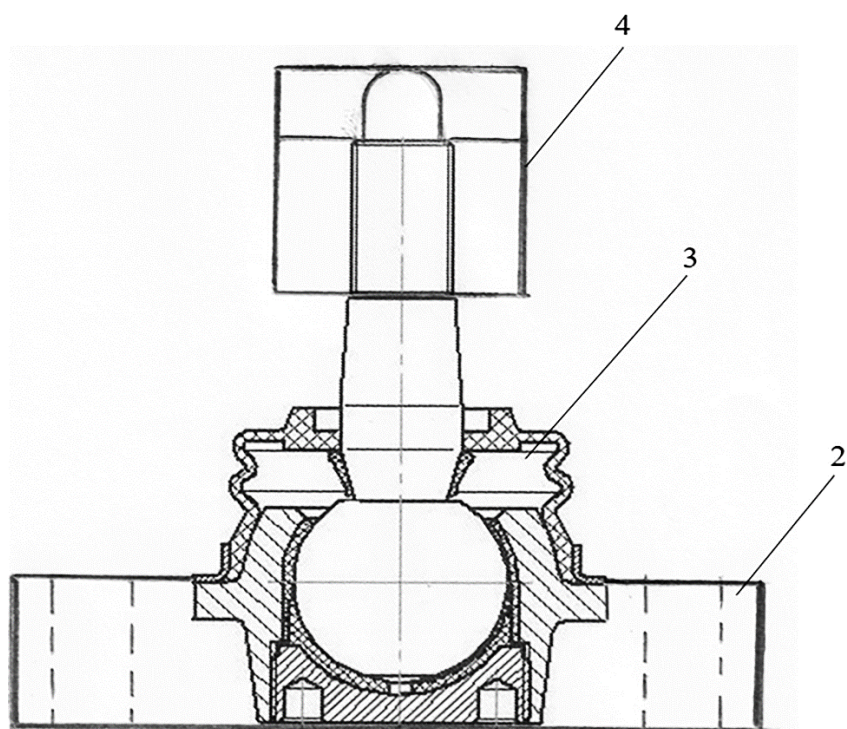
Автоматический корректор сцепного веса агротехнического агрегата представлен в виде принципиальной схемы на рисунке 1.20.

Данное устройство содержит прижимной механизм 1, состоящий из кронштейна 2 с шаровой опорой 3 и гаечным переходником 4, размещенного по середине управляемой балки 5 прицепа 6, силового гидроцилиндра 7, удерживающей плиты 8 с креплением 9, опирающейся на раму 10 прицепа 6 и электрофиксаторов 11 вертикального перемещения, имеющих вид соленоидного электроклапана с подвижным сердечником-штоком, установленных в узлах 12 крепления дышла 13 прицепа 6 вблизи шарниров 14, в котором выполнены фиксирующие отверстия 15, а также блок управления и автоматические датчики буксования и распределения усилий, установленные на движителях буксирующего транспортного средства (на рисунке 1.20 не показаны).

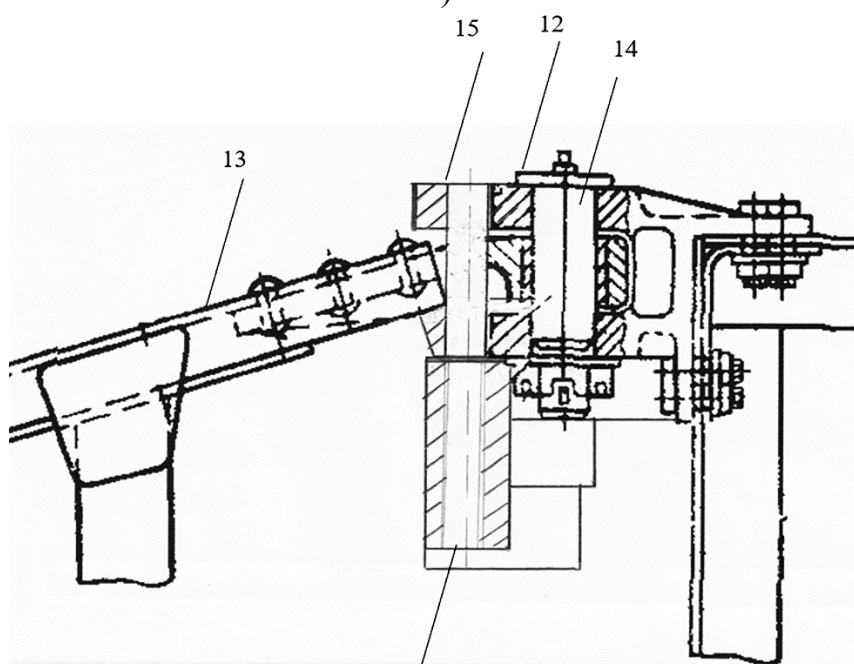
Принцип работы устройства. При увеличении буксования движителей буксирующего транспортного средства, автоматические датчики буксования и распределения усилий, подают сигнал на блок управления, который включает электрофиксаторы 11, подвижные сердечники-штоки которых входят в фиксирующие отверстия 15 шарниров 14, блокируя вертикальное перемещение

дышла 13 прицепа, и подает сигнал на распределитель трактора, направляющий гидрожидкость в силовой гидроцилиндр 7, который задвигает рабочий шток и подтягивает управляемую балку 5 к раме 10 прицепа 6, и распределяя весовую нагрузку с управляемой балки 5 и подвески прицепа 6 на его блокированное дышло 13 и крюковое устройство буксирующего средства, увеличивая тягово-сцепные свойства буксирующего транспортного средства, что позволяет без пробуксовки передвигаться, производя сельскохозяйственные работы и транспортные перевозки при низкой несущей способности почв.





б)



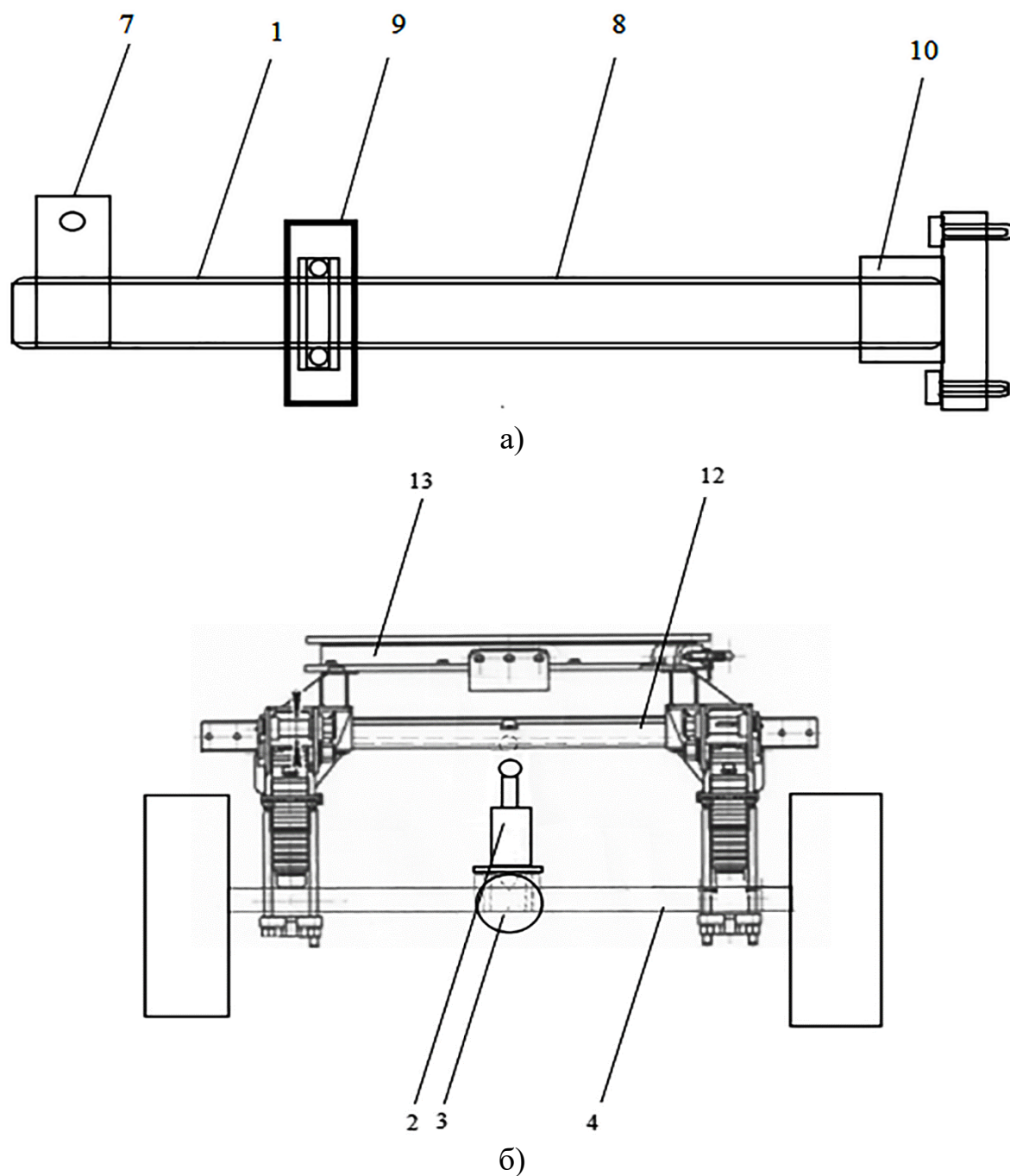
г)

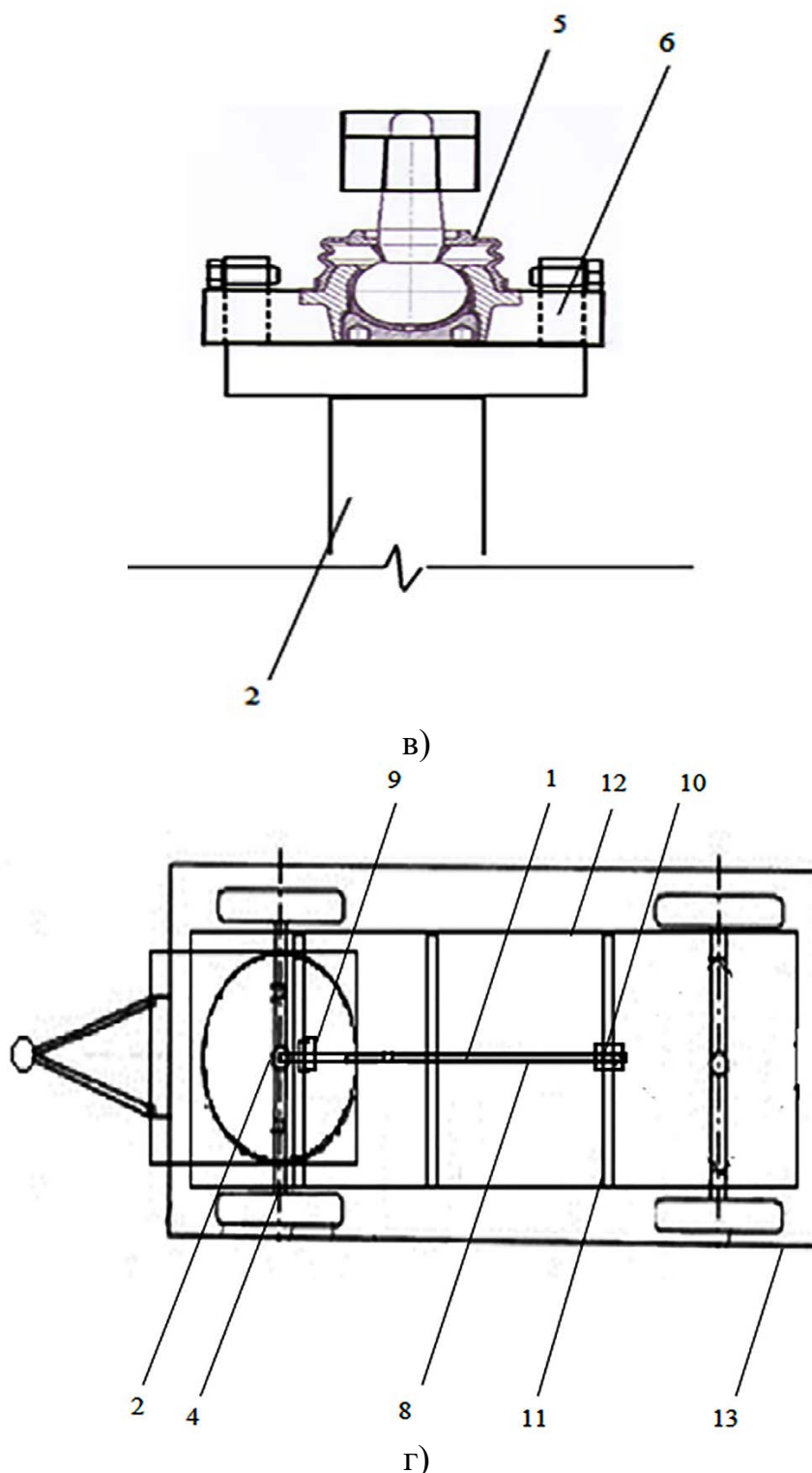
а) профильный вид передней подвески прицепа с установленным автоматическим корректором сцепного веса агротехнического агрегата; б) вид сверху передней балки прицепа с установленным кронштейном с шаровой опорой и гаечным переходником; в) кронштейн с шаровой опорой и гаечным переходником; г) разрез узла крепления дышла с шарниром и электрофиксатором вертикального перемещения

**Рисунок 1.20 – Автоматический корректор
сцепного веса агротехнического агрегата**

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным устройством машинистом трактора блок управления и распределитель не включаются, соответственно весовая нагрузка прицепа 6 не перераспределяется.

Корректор межосевой нагрузки автомобильного прицепа представлен в виде принципиальной схемы на рисунке 1.21.





- а) принципиальная схема корректора межосевой нагрузки автомобильного прицепа;
 б) фронтальный вид активного ведущего моста прицепа с установленным силовым гидроцилиндром корректора межосевой нагрузки; в) вид шаровой опоры с обоймой, установленной в вилочном направителе штока силового гидроцилиндра корректора межосевой нагрузки; г) вид снизу прицепа с активным ведущим мостом и установленным корректором межосевой нагрузки автомобильного прицепа

Рисунок 1.21 – Корректор межосевой нагрузки автомобильного прицепа

Он выполнен в виде устройства 1, состоящего из силового гидроцилиндра 2, закрепленного на верхней части чулка 3 переднего активного ведущего моста 4, шаровой опоры с обоймой 5, установленной в вилочном направителе 6 штока силового гидроцилиндра 2 и скрепленной с нажимным рычагом 7 с внутренними шлицами, который вставлен в шлицы торсионной оси 8 с внешними шлицами, проходящей через поддерживающий узел 9 с подшипником и зафиксированной в нагружающем узле 10 с внутренними шлицами, установленном в нижней части поперечной траверсы 11 рамы 12 прицепа 13.

Принцип работы устройства. При трогании с места или движении колесных транспортных средств, агрегатированных прицепом с активным ведущим мостом, по грунтам со слабой несущей способностью, увеличении буксования буксирующего транспортного средства или прицепа с активным ведущим мостом, водитель-оператор при помощи гидрораспределителя подает рабочую жидкость в силовой гидроцилиндр 2, шток которого при выходе давит на нажимной рычаг 7, разворачивая его и передавая нагрузку на торсионную ось 8, которая поворачивается в поддерживающем узле 9 с подшипником и при дальнейшем усилении силового момента перераспределяет собственную нагрузку за счет поверхностного скручивания составляющих ее стержней, с передней части прицепа и активного ведущего моста 4 на нагружающий узел 10 с внутренними шлицами, установленный в нижней части поперечной траверсы 11, а, соответственно и на заднюю часть и ведомый мост прицепа 13, что разгружает переднюю часть и активный ведущий мост 4 прицепа, снижая буксование и зарывание его движителей.

При необходимости увеличения нагрузки на активный ведущий мост 4, водитель-оператор при помощи гидрораспределителя подает рабочую жидкость в силовой гидроцилиндр 2, шток которого при задвигании давит на нажимной рычаг 7, разворачивая его и снимая нагрузку с торсионной оси 8, которая поворачивается в поддерживающем узле 9 с подшипником и при

дальнейшем усилении силового момента перераспределяет собственную нагрузку за счет поверхностного скручивания составляющих ее стержней, с задней части и ведомого моста прицепа 13 через нагружающий узел 10 с внутренними шлицами, установленный в нижней части поперечной траверсы 11, передавая нагрузку на передний активный мост 4 и переднюю часть прицепа 13, что увеличивает тягово-сцепные свойства прицепа 13, снижает буксование и зарывание его движителей.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным корректором межосевой нагрузки автомобильного прицепа водитель-оператор гидрораспределитель не активирует и устройство не подключает.

Выводы по разделу

Проведенные теоретические исследования позволяют сформулировать **следующие выводы:**

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

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

3. Обзор моделей грузовых транспортных средств и прицепных систем, используемых в сельском хозяйстве региона, позволяет предложить перспективную конструкцию для полноприводного среднетоннажного автомобиля

КамАЗ-4350 и прицепа, обладающих конструкционно-заложенными возможностями для повышения их тягово-сцепных свойств в зависимости от условий 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 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ 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 ее проведения во многом зависит объем 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 колесных энергетических средств, задействованных на перевозке урожая с полей. При этом необходимо отметить, что в настоящее время в хозяйствах ощущается острая нехватка колесных энергетических средств высокой проходимости, способных выполнять возложенные на них обязанности по транспортировке сельскохозяйственных грузов с использованием прицепов.

Данное обстоятельство 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:

- 1) за счет повышения тягово-сцепных свойств энергетических средств;

2) за счет снижения нормального давления на почву транспортных средств;

3) за счет использования прицепов-перегрузжателей;

4) за счет использования прицепов, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов»;

5) за счет использования энергетических средств большой грузоподъемности;

6) за счет использования энергетических средств высокой проходимости.

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

В связи с этим, повышения эффективности использования автомобилей, в частности семейства КамАЗ (наиболее распространенных в сельском хозяйстве региона) можно добиться за счет 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 (2.1):

$$K_{\text{эу}} = \frac{T_{\text{к}}}{T_{\text{а}}} \quad (2.1)$$

где $T_{\text{к}}$ – время, затраченное на заполнения бункера комбайна и его выгрузку, ч;
 $T_{\text{а}}$ – время, затраченное автомобилем на вывозку урожая, ч.

При этом должно обязательно выполняться условие (2.2):

$$K_{\text{эу}} \geq 1 \quad (2.2)$$

При следующих ограничениях:

$$T_k \geq T_a, \quad (2.3)$$

$$\text{при } T_k - T_a \rightarrow \min \quad (2.4)$$

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, определим по формуле (2.5):

$$T_k = (U_k j (1 + \delta_k)) / 3600 (Q_k + T_{ва}) n_k \quad (2.5)$$

где U_k – объем бункера комбайна, м³;

j – объемная масса зерна, кг/м³;

δ_k – отношение массы соломы к массе зерна (для зерновых составляет две единицы; для сои равна 1,2);

Q_k – пропускная способность зерноуборочного комбайна, кг/с;

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

n_k – количество намолоченных бункеров, ед.

Время, затраченное автомобилем на вывозку урожая с поля, определяется по выражению (2.6):

$$T_a = \left(\left(\frac{L_\Gamma}{V_\Gamma} + \frac{L_\Pi}{V_\Pi} \right) + T_\Pi + T_p \right) n_e \quad (2.6)$$

где L_Γ – длина ездки с грузом от поля до места выгрузки, км;

V_Γ – скорость движения с грузом, км/ч;

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

V_Π – скорость движения без груза, км/ч;

T_Π – время, затраченное на движение по полю, ч;

T_p – время, затраченное на выгрузку, ч;

n_e – количество рейсов, выполненных автомобилем, ед.

Примем следующее допущение (2.7):

$$L_r = L_{\pi} = L \quad (2.7)$$

Данное допущение будет справедливо, так как расстояние от поля и обратно будет отличаться незначительно ввиду различных мест выгрузки урожая из бункера на территории организации.

Тогда формула (2.6) примет следующий вид:

$$T_a = \left(\left(\frac{L}{V_r} + \frac{L}{V_{\pi}} \right) + T_{\pi} + T_p \right) n_e \quad (2.8)$$

В этой связи необходимо более подробно рассмотреть время движения автомобиля по полю:

$$T_{\pi} = \frac{L_{\pi\pi}}{V_{\pi\pi}} n_e \quad (2.9)$$

где $L_{\pi\pi}$ – длина ездки по полю, км;

$V_{\pi\pi}$ – 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 данный период 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 из-за буксования движителей.

Таким образом, с учетом данного фактора формула (2.9) примет вид:

$$T_{\pi} = \frac{L_{\pi\pi}}{V_{\pi\pi}} n_e = \frac{L_{\pi\pi}}{V_t(1 - \delta)} n_e \quad (2.10)$$

где V_t – 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, в том числе 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, что определяется выражением (2.11):

$$\frac{M_{\text{вед}}}{r_{\text{к}}} = \varphi \cdot G_{\text{сц}} \quad (2.11)$$

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

$r_{\text{к}}$ – радиус качения колеса, м;

$G_{\text{сц}}$ – сцепной вес, приходящийся на ведущие колеса, Н.

Выразим из формулы (2.11) величину коэффициента использования сцепного веса:

$$\varphi = \frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} \cdot r_{\text{к}}} \quad (2.12)$$

Между величиной буксования и коэффициентом использования сцепного веса существует следующая зависимость (2.13) [89]:

$$\delta^c = \frac{0,248 \frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} \cdot r_{\text{к}}}}{1 - 3,077 \left(\frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} \cdot r_{\text{к}}} \right)^3} \quad (2.13)$$

Время движения по полю с учетом формулы (2.13) будет определяться выражением (2.14):

$$T_{\Pi} = \frac{L_{\text{пл}}}{V_{\text{T}} \left(1 - \frac{0,248 \frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} \cdot r_{\text{к}}}}{1 - 3,077 \left(\frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} \cdot r_{\text{к}}} \right)^3} \right)} n_e \quad (2.14)$$

Преобразуем формулу (2.8) с учетом выражения (2.14):

$$T_a = \left(\left(\frac{L}{V_r} + \frac{L}{V_n} \right) + T_p + \frac{L_{пл}}{V_T \left(1 - \frac{0,248 \frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_k}}{1 - 3,077 \left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_k} \right)^3} \right)} \right) n_e \quad (2.15)$$

Тогда на основании полученной формулы (2.15) коэффициент эффективности уборочного процесса примет следующий вид:

$$K_{эу} = \frac{T_k}{\left(\left(\frac{L}{V_r} + \frac{L}{V_n} \right) + T_p + \frac{L_{пл}}{V_T \left(1 - \frac{0,248 \frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_k}}{1 - 3,077 \left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_k} \right)^3} \right)} \right) n_e}, \quad (2.16)$$

$$K_{эу} = \frac{(U_{kj}(1 + \delta_k))/3600(Q_k + T_{ва})n_k}{\left(\left(\frac{L}{V_r} + \frac{L}{V_n} \right) + T_p + \frac{L_{пл}}{V_T \left(1 - \frac{0,248 \frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_k}}{1 - 3,077 \left(\frac{M_{вед}}{G_{сц} \cdot r_k} \right)^3} \right)} \right) n_e} \quad (2.17)$$

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

2.1.2 Коэффициент эффективности уборочного процесса при использовании прицепов-перегрузжателей

В технологии растениеводства и процесса 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 данном случае коэффициент эффективности уборочного процесса (2.1) примет вид выражения (2.18):

$$K_{\text{эу}} = \frac{(T_{\text{к}} + T_{\text{д}})n_{\text{к}}}{T_{\text{а}}} \quad (2.18)$$

Время на подъезд комбайна к прицепу определяем по выражению (2.19):

$$T_{\text{д}} = \frac{2L_{\text{пл}}}{V_{\text{к}}} n_{\text{к}} \quad (2.19)$$

где $V_{\text{к}}$ – скорость движения комбайна, км/ч.

Тогда преобразуем выражение (2.18) и получим:

$$K_{\text{эу}} = \frac{(T_{\text{к}} + \frac{2L_{\text{пл}}}{V_{\text{к}}})n_{\text{к}}}{T_{\text{а}}}, \quad (2.20)$$

$$K_{\text{эу}} = \left(\frac{U_{\text{к}}j(1 + \delta_{\text{к}})}{3600Q_{\text{к}}} + \frac{2L_{\text{пл}}n_{\text{к}}/V_{\text{к}}}{T_{\text{а}}} \right) n_{\text{к}} \quad (2.21)$$

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

$$T_a = \left(\left(\frac{L}{V_{\Gamma}} + \frac{L}{V_{\Pi}} \right) + T_p \right) n_e \quad (2.22)$$

В данном случае коэффициент эффективности уборочного процесса примет вид следующих выражений:

$$K_{\text{эу}} = \left(\frac{U_k j (1 + \delta_k)}{3600 Q_k} + \frac{2 L_{\text{пл}} n_k}{V_k} \right) \frac{n_k}{T_a}, \quad (2.23)$$

$$\text{или } K_{\text{эу}} = \left(\frac{U_k j (1 + \delta_k)}{3600 Q_k} + \frac{2 L_{\text{пл}} n_k}{V_k} \right) \frac{n_k}{\left(\left(\frac{L}{V_{\Gamma}} + \frac{L}{V_{\Pi}} \right) + T_p \right) n_e} \quad (2.24)$$

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 выполняться ограничение, предусмотренное выражением (2.4).

Также следует отметить, что использование рассмотренных прицепов-накопителей с дополнительным шнеком для выгрузки увеличивает травмируемость зерна или семян и, как следствие, приводит к росту себестоимости полученной продукции при снижении ее 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 рассчитать по формуле (2.25):

$$T_k = \left((U_k j (1 + \delta_k)) / 3600 (Q_k + T_{ва} + T_{вп}) \right) n_k \quad (2.25)$$

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 будет определяться выражением (2.26):

$$\text{или } K_{эу} = \left(\frac{U_k j (1 + \delta_k)}{3600 Q_k (Q_k + T_{ва} + T_{вп})} \right) \frac{n_k}{\left(\left(\frac{L}{V_r} + \frac{L}{V_{п}} \right) + T_{п} + T_{р} \right) n_e} \quad (2.26)$$

Анализируя полученную формулу (2.26), можно заметить, что коэффициент эффективности процесса повысится, так как комбайну потребуется время на заполнение бункера и его выгрузку в прицеп, при этом соблюдается неравенство (2.27):

$$n_k \geq n_e \quad (2.27)$$

Следует отметить, что во время отсутствия автомобиля на поле, связанного с операцией транспортировки урожая, комбайн будет загружать другой прицеп, также находящейся в поле. В тоже время использование большегрузных прицепов ограничивается высоким нормальным давлением движителей на почву, исходя из чего возникает потребность снижения данного давления, что возможно при использовании способов увеличения площади опоры и увеличения объема почвенных масс, заключенных между почвозацепами колесного движителя.

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

При этом наиболее оптимальным и максимально эффективным методом достижения лучших результатов является рациональное комбинирование рассмотренных нами способов.

2.2 Разработка и исследование способа повышения тягово-сцепных свойств автомобиля

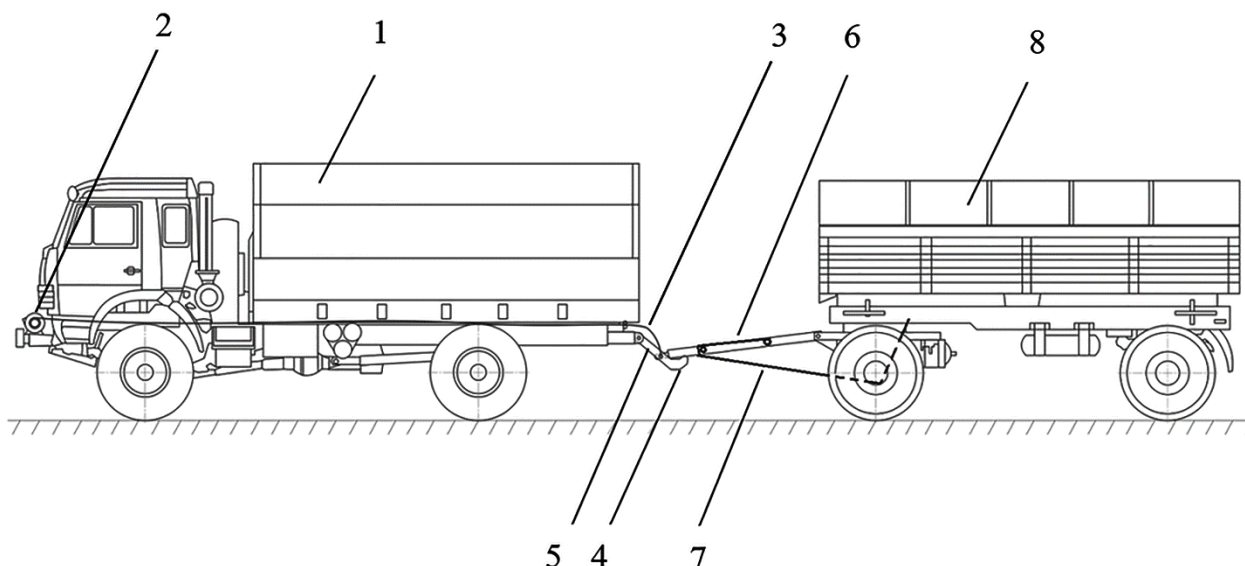
Ранее проведенными исследованиями установлено, что повысить тягово-сцепные свойства автомобиля возможно за счет использования догружающего устройства, способного корректировать сцепной вес в звене «прицеп – агрегируемое средство». С этой целью разработано перспективное устройство оригинальной конструкции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

Предлагаемое устройство устанавливается на поперечной траверсе и дышле прицепа, а также задней фронтальной части рамы автомобиля и способно перераспределять часть веса, приходящегося на колеса прицепа, через закрепленную гибкую тросовую силовую связь и стандартное лебедочное устройство на ведущие колеса 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.

Принцип работы устройства следующий. При снижении тягово-сцепных свойств автомобиля водитель подключает лебедочное 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.



1 – автомобиль; 2 – лебедочное устройство; 3 – лебедочная тросовая связь;
4 – чалочный крюк; 5 – тягово-сцепное устройство автомобиля; 6 – дышло прицепа;
7 – гибкая тросовая связь; 8 – прицеп

Рисунок 2.1 – Конструктивная схема экспериментального автопоезда

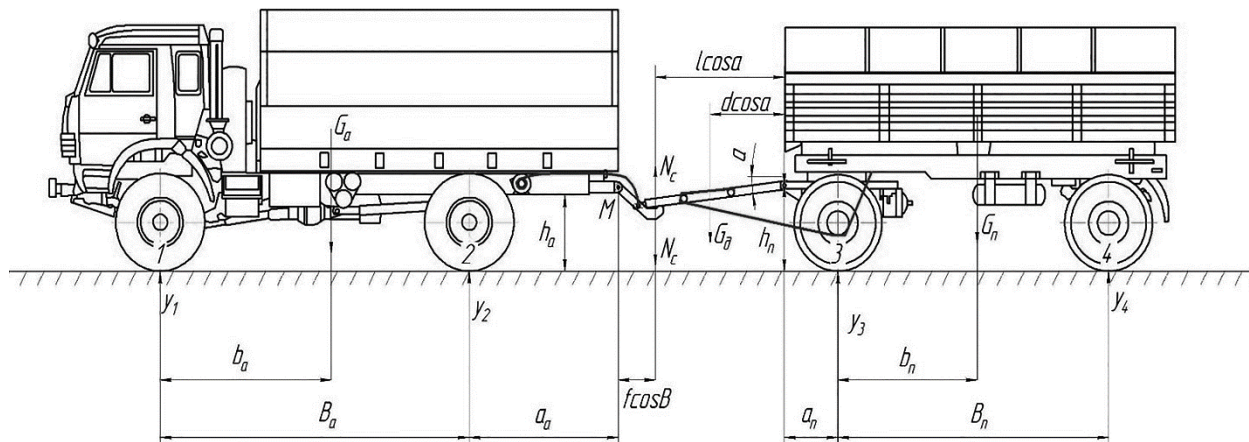
При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догружающим модулем для грузового автомобиля водителем транспортного средства (автомобиля) лебедочное устройство не включается и перераспределение весовой нагрузки не производится.

В целях теоретического обоснования конструктивных и технологических параметров предлагаемого устройства определим условия распределения весовой нагрузки на опоры буксирующего колесного средства, для чего составим уравнения равновесия, описывающие процессы перераспределения в ходовой системе автопоезда.

Для упрощения расчета и использования основных математических 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.



G_a – вес автомобиля, Н; G_d – вес дышла, Н; G_n – вес прицепа, Н; B_a – расстояние от опоры 1 до опоры 2, м; B_n – расстояние от опоры 3 до опоры 4, м; b_a – расстояние от опоры 1 до центра тяжести автомобиля, м; b_n – расстояние от опоры 3 до вертикальной проекции центра тяжести прицепа, м; a_a – расстояние от опоры 2 до шарнира установки устройства

M , м; a_n – 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 лебедкой автомобиля, Н; T_n – сила натяжения троса прицепа, Н; h_l – высота от поверхности до лебедки, м; h_a – высота от поверхности до рамы автомобиля, м; h_n – высота от земли до шарнира прицепа, м; l – расстояние от шарнира прицепа k до точки силовой реакции в чалочном крюке N_c , 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_k – радиус колеса, м

Рисунок 2.2 – Схема к расчету распределения усилий без использования догружающего модуля

Для дышла прицепа:

$$\sum F_{kx} = 0; x_k = 0, \quad (2.28)$$

$$\sum M_c(F_k) = 0; -y_k \cdot l \cos \alpha + G_d(l - d) \cos \alpha + x_k \cdot l \sin \alpha = 0, \quad (2.29)$$

$$\sum M_k(F_k) = 0; N_c \cdot l \cos \alpha - G \cdot d \cos \alpha = 0 \quad (2.30)$$

Тогда из выражения (2.29) и (2.30) получаем:

$$y_k = \frac{G_d(l-d)\cos\alpha}{l\cos\alpha} = \frac{G_d(l-d)}{l}, \quad (2.31)$$

$$N_c = \frac{G \cdot d\cos\alpha}{l\cos\alpha} = \frac{G_d d}{l} \quad (2.32)$$

Для крюкового захвата (чалочного крюка):

$$\left. \begin{aligned} \sum x &= 0; x_M = 0; \\ \sum y &= 0; y_M - N_c = 0; \\ y_M &= N_c = \frac{G_d d}{l} \end{aligned} \right\} \quad (2.33)$$

Для опор автомобиля:

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

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

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

Для прицепа:

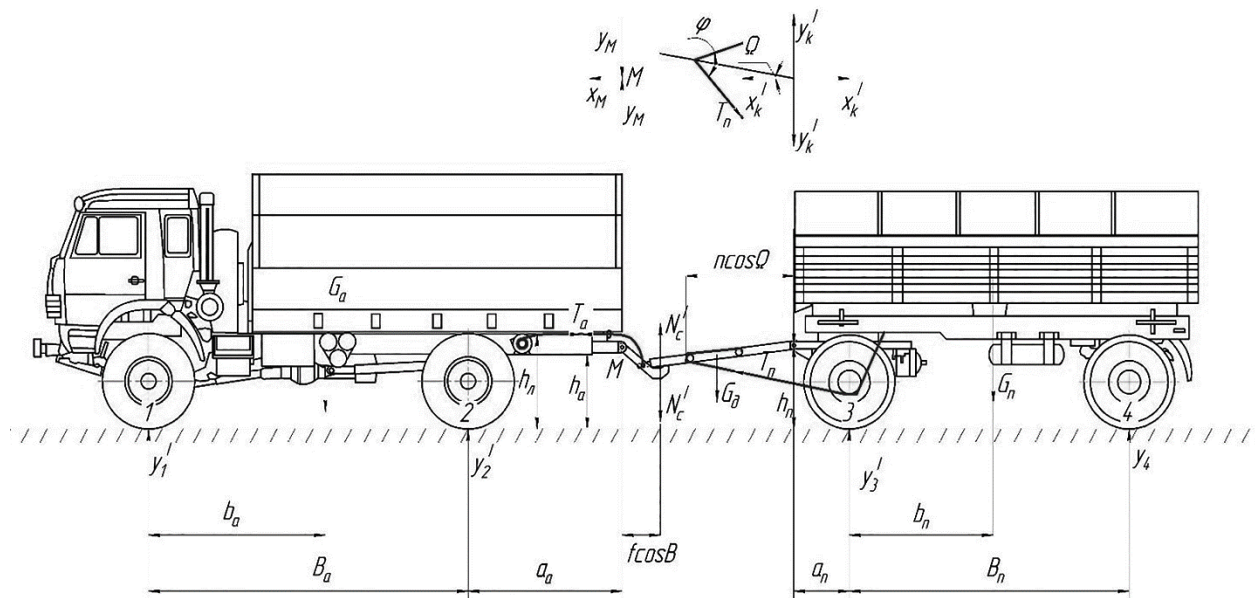
$$\left. \begin{aligned} \sum M_3 &= 0; -y_k \cdot a_n + G_n \cdot b_n - y_4 \cdot B_n = 0; \\ \sum M_3 &= 0; y_3 \cdot B_n - y_k(B_n + a_n) - G_n \cdot (B_n - b_n) = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} y_4 &= \frac{G_n \cdot b_n - y_k \cdot a_n}{B_n} = \\ &= \frac{G_n \cdot b_n - \frac{G_d(l-d)}{l} \cdot a_n}{B_n} = \frac{G_n \cdot b_n}{B_n} - \frac{G_n(l-d)a_n}{B_n \cdot l}, \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$\begin{aligned}
 y_3 &= \frac{G_n(B_n - b_n) + y_k(B_n + a_n)}{B_n} = \\
 &= \frac{G_n(B_n - b_n) + \frac{G_d(l - d)(B_n + a_n)}{l}}{B_n} = \\
 &= \frac{G_n(B_n - b_n)}{B_n} + \frac{G_d(l - d)(B_n + a_n)}{B_n \cdot l}
 \end{aligned} \quad (2.39)$$

Весом непосредственно чалочного крюка пренебрегаем в связи с его малозначительностью.

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



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

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

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

Для дышла прицепы:

$$\sum F_{kx} = 0; T_n \cdot \cos \varphi - x'_k = 0, \quad (2.40)$$

$$\sum F_{ky} = 0; N'_c - T_n \sin \varphi + y'_k - G_\partial = 0, \quad (2.41)$$

$$\sum M_k(F_k) = 0; N'_c \cdot l \cos \theta - T_n \sin \varphi \cdot n \cos \theta - G_\partial \cos \theta \cdot d = 0 \quad (2.42)$$

Из выражений (2.40)–(2.42) получаем:

$$x'_k = T_n \cos \varphi, \quad (2.43)$$

$$N'_c = \frac{T_n \sin \varphi \cdot n \cos \theta + G_\partial \cos \theta \cdot d}{l \cos \theta} = \frac{G_\partial d}{l} + \frac{T_n \sin \varphi \cdot n}{l}, \quad (2.44)$$

$$\begin{aligned} y'_k &= -N'_c + T_n \sin \varphi + G_\partial = \\ &= G_\partial + T_n \sin \varphi - \frac{G_\partial d}{l} - \frac{T_n \sin \varphi \cdot n}{l} = G_\partial \left(1 - \frac{d}{l}\right) + T_n \sin \varphi \left(1 - \frac{n}{l}\right) \end{aligned} \quad (2.45)$$

Для опор прищипа:

$$\sum M_3(F_k) = 0; -y'_4 \cdot B_n + G_n \cdot b_n + x'_k \cdot h_n - y'_k \cdot a_n - T_n \cos \varphi \cdot R_k = 0, \quad (2.46)$$

$$\begin{aligned} \sum M_3(F_k) &= 0; y'_3 \cdot B_n - G_n(B_n - b_n) + T_n \sin \varphi \cdot B_n - \\ &- T_n \cos \varphi \cdot R_k + x'_k \cdot h_n - y'_k(B_n + a_n) = 0 \end{aligned} \quad (2.47)$$

Из выражений (2.46), (2.47) получаем:

$$\begin{aligned} y'_4 &= \frac{G_n b_n + x'_k \cdot h_n - y'_k \cdot a_n - T_n \cos \varphi \cdot R_k}{B_n} = \\ &= \frac{G_n b_n + T_n \cos \varphi \cdot h_n - T_n \cos \varphi \cdot R_k - (G_\partial \left(1 - \frac{d}{l}\right) + T_n \sin \varphi \left(1 - \frac{n}{l}\right)) a_n}{B_n} = \\ &= \frac{G_n b_n}{B_n} - \frac{G(l-d)a_n}{B_n \cdot l} + \frac{T_n \cos \varphi (h_n - R_k)}{B_n} - \frac{T_n \sin \varphi \left(1 - \frac{n}{l}\right) a_n}{B_n}, \end{aligned} \quad (2.48)$$

$$\begin{aligned} y'_3 \cdot B_n &= \frac{G_n(B_n - b_n) - T_n \sin \varphi \cdot B_n + T_n \cos \varphi \cdot R_k - x'_k \cdot h_n + y'_k(B_n + a_n)}{B_n} = \\ &= \frac{G_n(B_n - b_n)}{B_n} + \frac{G(l-d)(B_n + a_n)}{B_n \cdot l} - \frac{T_n \cos \varphi (h_n - R_k)}{B_n} + \\ &+ \frac{T_n \sin \varphi \left(1 - \frac{n}{l}\right) (b_n + a_n) - B_n}{B_n} \end{aligned} \quad (2.49)$$

Для чалочного крюка:

$$\sum F_{kx} = 0; y'_M - N'_c = 0, \quad (2.50)$$

$$\sum F_{ky} = 0; y'_M - T_a = 0 \quad (2.51)$$

Из выражения (2.50) получаем:

$$y_M = N'_c = \frac{G_d d}{l} + \frac{T_n \sin \varphi \cdot n}{l}, \quad (2.52)$$

$$x'_m = T_a \quad (2.53)$$

Для опор автомобиля:

$$\sum M_1 = 0; T_a h_n + G_a b_a - y'_2 \cdot B_a - x_m h_a + y_M (B_a + a_a) = 0, \quad (2.54)$$

$$\sum M_2 = 0; y'_1 \cdot B_a + T_a h_n - G_a (B_a - b_a) - x_m h_a + y_M a_a = 0 \quad (2.55)$$

Из выражений (2.54), (2.55) получаем:

$$\begin{aligned} y'_2 &= \frac{G_a b_a + T_a h_n - x_m h_a + y_M (B_a + a_a)}{B_a} = \\ &= \frac{G_a b_a + T_a h_n - T_a h_a + \left(\frac{G_d d}{l} + \frac{T_n \sin \varphi \cdot n}{l} \right) (B_a + a_a)}{B_a} = \\ &= \frac{G_a b_a + \frac{G_d d}{l} (B_a + a_a)}{B_a} + \frac{T_a (h_n - h_a) + T_n \sin \varphi \cdot \frac{n}{l} (B_a + a_a)}{B_a}, \end{aligned} \quad (2.56)$$

$$\begin{aligned} y'_1 &= \frac{G_a (B_a - b_a) - T_a h_n + x_m h_a - y_M \cdot a_a}{B_a} = \\ &= \frac{G_a (B_a - b_a) - T_a h_n + T_a h_a - \left(\frac{G_d d}{l} + \frac{T_n \sin \varphi \cdot n}{l} \right) a_a}{B_a} = \\ &= \frac{G_a (B_a - b_a) - G_d \cdot \frac{d}{l} \cdot a_a}{B_a} - \frac{T_a (h_n - h_a) + T_n \sin \varphi \cdot \frac{n}{l} a_a}{B_a} \end{aligned} \quad (2.57)$$

Анализируя выражения (2.35) и (2.57); выражения (2.36) и (2.56), можно сделать вывод, что после включения догружающего модуля передние опоры автомобиля разгружаются на величину:

$$\frac{T_a (h_n - h_a) + T_n \sin \varphi \cdot \frac{n}{l} a_a}{B_a}$$

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 колесными осями в ходовой системе автопоезда в зависимости от угла подъема дышла прицепа при использовании догружающего модуля, представленный на рисунке 2.4.

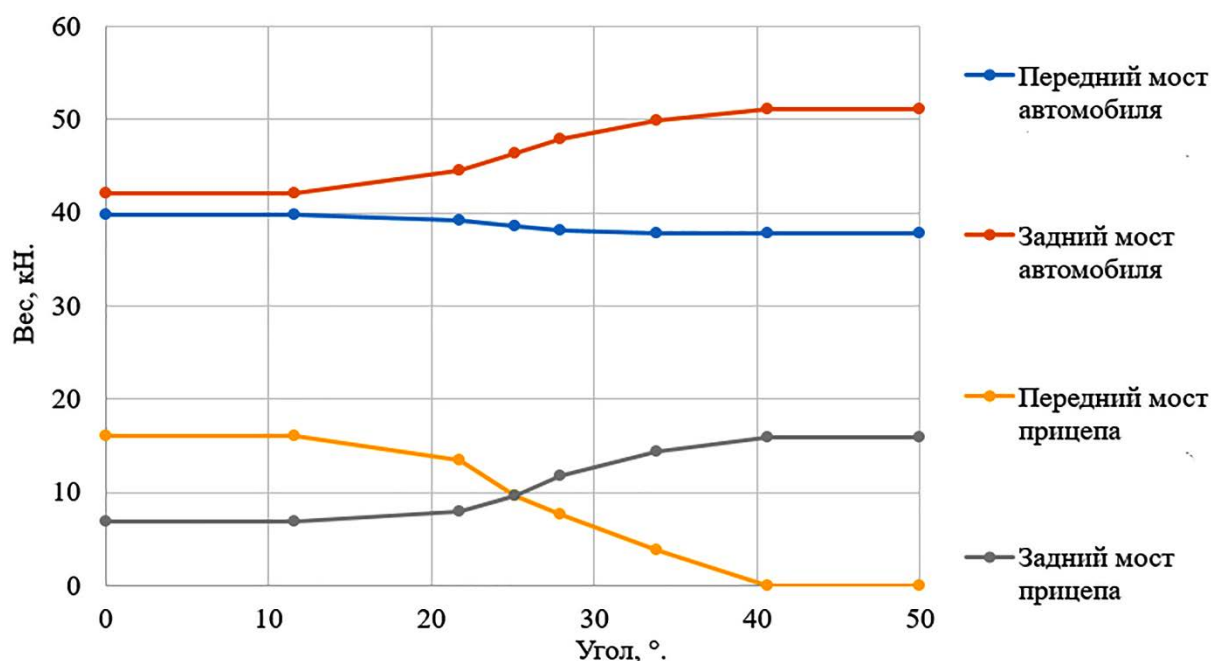
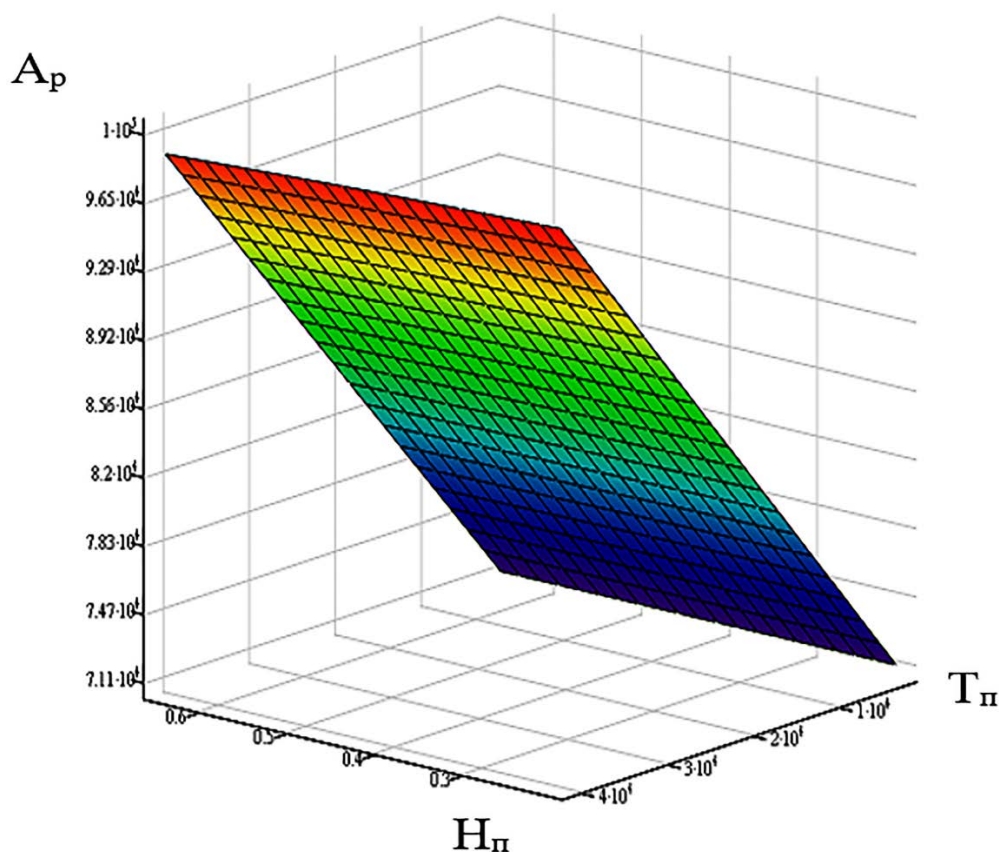


Рисунок 2.4 – Комбинированный график перераспределения веса между колесными осями в ходовой системе автопоезда в зависимости от угла подъема дышла прицепа

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

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



A_p – расстояние крепления устройства, м; T_n – сила натяжения тросовой силовой связи, Н;
 H_n – высота поднятия дышла прицепа, м

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

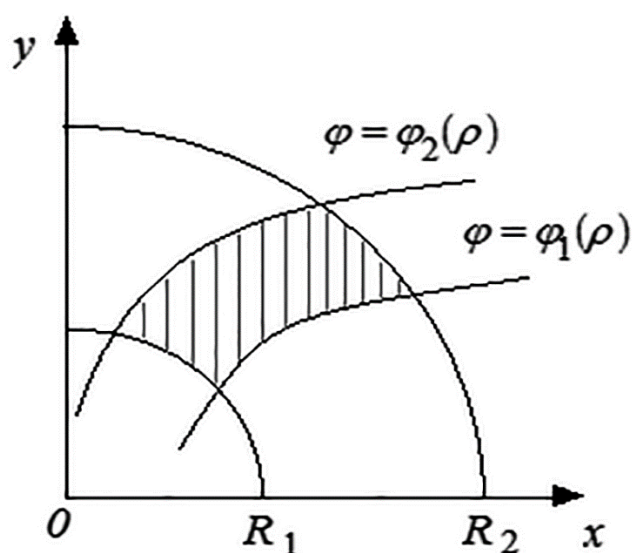
2.3 Обоснование способов снижения нормального давления на почву ходовой системы автопоезда

2.3.1 Увеличение площади контакта движителя с почвой

Как известно, основными факторами, влияющими на глубину колеи, оставляемой после прохода колесной 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 счет изменения конструктивных параметров ходовой части, в том числе способом установки шин большего размера по примеру арочных. Постановка шин увеличенного размера позволяет значительно увеличить площадь пятна контакта колеса.

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



R_1 – радиус шины без учета высоты грунтозацепов, м;

R_2 – радиус шины с учетом высоты грунтозацепов, м

Рисунок 2.6 – Область радиального типа

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:

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

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

Тогда площадь сектора шины между грунтозацепами имеет вид выражения (2.59):

$$S = \iint_D f(x, y) dx dy = \int_{\rho_1}^{\rho_2} \rho d\rho \int_{\varphi_1(\rho)}^{\varphi_2(\rho)} f(\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi) d\varphi \quad (2.59)$$

Согласно конструктивных параметров колеса энергетического средства, вычисляемая площадь между секторами грунтозацепов составляет $1/28$. С учетом этого формула (2.59) примет вид выражения (2.60):

$$\begin{aligned} S_i &= \frac{1}{28} \int_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \int_0^{2\pi} d\varphi = \frac{1}{28} \int_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \cdot \varphi \Big|_0^{2\pi} \\ \text{или } S_i &= \frac{1}{28} \int_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \cdot (2\pi - 0) = \frac{2\pi}{28} \int_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \\ \text{или } S_i &= \frac{\pi}{14} \int_{R_1}^{R_2} \rho d\rho = \frac{\pi}{14} \cdot \frac{\rho^2}{2} \Big|_{R_1}^{R_2} \end{aligned} \quad (2.60)$$

Решив уравнение (2.60), получим площадь S_i , заключенную между двумя грунтозацепами, и, учитывая конструктивные особенности колеса, находим:

$$S_i = \frac{\pi(R_2^2 - R_1^2)}{28} \quad (2.61)$$

На основании проведенных вычислений получаем:

$$S_{\text{шины}} = \sum_i^n S_i \quad (2.62)$$

где n – количество секторов между грузозацепами.

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

В ранее проведенных исследованиях установлено, что с увеличением ширины колесного 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 объема почвенных масс, заключенных между грунтозацепами колесного движителя

Вычисление объема грунта между грунтозацепами протектора колеса произведем вычислением тройного интеграла в цилиндрических координатах:

$$V = \iiint_T dx dy dz \quad (2.63)$$

Связь декартовых координат x , y , z с цилиндрическими координатами ρ , φ , z определяется формулами (2.64):

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \varphi, \\ y &= \rho \sin \varphi, \\ z &= z \end{aligned} \quad (2.64)$$

В нашем случае предполагаются условия (2.65) и (2.66):

$$\rho \geq 0; 0 \leq \varphi \leq 2\pi, \quad (2.65)$$

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

где z_1, z_2 – отсекаемые плоскости.

Якобиан перехода от декартовых координат к цилиндрическим равен:

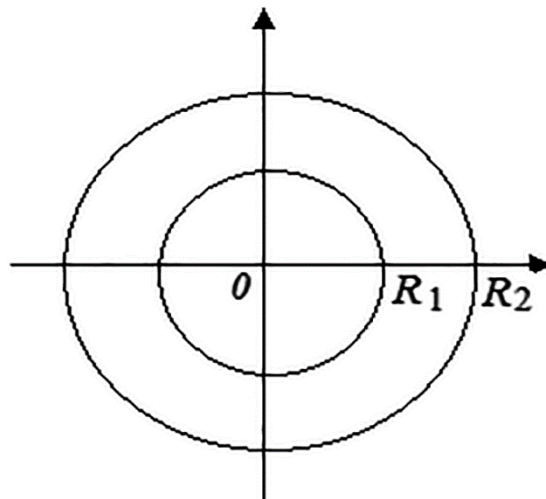
$$J(\rho, \varphi, z) = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} & \frac{\partial x}{\partial z} \\ \frac{\partial y}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} & \frac{\partial y}{\partial z} \\ \frac{\partial z}{\partial \rho} & \frac{\partial z}{\partial \varphi} & \frac{\partial z}{\partial z} \end{vmatrix} \quad (2.67)$$

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

Тогда, применяя замену переменных, получаем формулу (2.68):

$$V = \iiint_T dx dy dz = \iiint_T \rho d\rho d\varphi dz \quad (2.68)$$

Проекция области интегрирования на плоскость Oxy представляет собой кольцо, ограниченное двумя окружностями (рис. 2.7).



R_1 – радиус шины без грунтозацепа, м; R_2 – радиус шины с грунтозацепами, м

Рисунок 2.7 – Проекция области интегрирования

Имеет место система уравнений (2.69):

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

где $R_1 \leq \rho \leq R_2$.

Представим уравнения поверхностей в цилиндрических координатах:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 \geq R_1^2 &\Rightarrow \rho^2 \cos^2 \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi \geq R_1^2, \\ \rho^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) &\geq R_1^2, \\ \rho^2 &\geq R_1^2; \rho \geq R_1, \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 \leq R_2^2 &\Rightarrow \rho^2 \cos^2 \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi \leq R_2^2, \\ \rho^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) &\leq R_2^2, \\ \rho^2 &\leq R_2^2; \rho \leq R_2 \end{aligned} \quad (2.71)$$

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

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

Учитывая описание колеса энергетического средства, объем почвы, заключенный между грунтозацепами в проекции области интегрирования, будем рассматривать как 1/28 части всей проекции. Тогда получаем:

$$V_i = \frac{1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho d\rho \int_{C_1}^{C_2} dz \quad (2.73)$$

В результате математических преобразований приведем формулу (2.73) к следующему виду:

$$\begin{aligned}
 V_i &= \frac{1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho z|_{C_1}^{C_2} d\rho; V_i = \frac{1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho (C_2 - C_1) d\rho; \\
 V_i &= \frac{C_2 - C_1}{28} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_2} \rho d\rho; V_i = \frac{C_2 - C_1}{28} \int_0^{2\pi} \left. \frac{\rho^2}{2} \right|_{R_1}^{R_2} d\varphi; \\
 V_i &= \frac{C_2 - C_1}{56} \int_0^{2\pi} (R_2^2 - R_1^2) d\varphi; V_i = \frac{(C_2 - C_1) \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{56} \int_0^{2\pi} d\varphi; \\
 V_i &= \frac{(C_2 - C_1) \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{56} \cdot \varphi|_0^{2\pi}; V_i = \frac{(C_2 - C_1) \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot \pi}{56}
 \end{aligned}$$

На основании проведенных вычислений получим:

$$V_{\text{шины}} = \sum_i^n V_i \quad (2.74)$$

где n – количество секторов между грузозацепами.

Анализируя полученные выражения (2.73) и (2.74), можно отметить, что объем сминаемого грунта у арочных шин возрастает в связи с увеличением разности $(R_2 - R_1)$ 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 ис-

пользовать 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 монографии были определены способы повышения эффективности уборочного процесса, к которым относят:

- 1) повышение тягово-сцепных свойств автомобиля путем перераспределения веса;
- 2) снижение нормального давления на почву за счет увеличения площади контакта установкой арочных шин;
- 3) применение прицепов на арочных шинах, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов».

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

Производительность автомобиля зависит от ряда параметров:

- 1) коэффициента использования пробега;
- 2) коэффициента использования грузоподъемности;
- 3) длины ездки (плеча подвоза);
- 4) времени простоя на погрузо-разгрузочных работах;
- 5) массы перевозимого груза;
- 6) 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 [82] и определяется формулой (2.75):

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

На основании ранее полученных формул, сцепной вес составит:

1) для серийного автомобиля:

$$y_2 = \frac{G_a \cdot b_a + \frac{G_d d}{l} (B_a + a_a)}{B_a} \quad (2.76)$$

2) для автомобиля с догружающим модулем:

$$y'_2 = \frac{G_a b_a + \frac{G_d d}{l} (B_a + a_a)}{B_a} + \frac{T_a(h_n - h_a) + T_n \sin \varphi \cdot \frac{n}{l} (B_a + a_a)}{B_a} \quad (2.77)$$

Для лучшей оценки влияния догружающего модуля для грузового автомобиля на сцепной вес автопоезда введем показатель – *коэффициент эффективности догружения ведущих колес*, который определим по формуле (2.78):

$$K_{\text{эфд}} = y'_2 / y_2 = 1 + \frac{T_a(h_n - h_a) + T_n \sin \varphi \cdot \frac{n}{l} (B_a + a_a)}{G_a \cdot b_a + \frac{G_d d}{l} (B_a + a_a)} \quad (2.78)$$

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

$$\delta^3 = \frac{0,248 \frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} K_{\text{эфд}} \cdot r_{\text{к}}}}{1 - 3,077 \left(\frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} K_{\text{эфд}} \cdot r_{\text{к}}} \right)^3} \quad (2.79)$$

Таким образом, выразим величину производительности:

1) для серийного автомобиля [101]:

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

где μ – коэффициент использования пробега;

j – коэффициент использования грузоподъемности;

L – длина ездки (плеча подвоза), км;

δ – коэффициент буксования;

t – время простоя на погрузо-разгрузочных операциях, ч;

$m_{\text{прс}}$ – масса груза, перевозимого одним прицепом, т;

V_p – рабочая скорость движения, км/ч.

2) для автомобиля с догружающим модулем (экспериментального):

$$W^{\text{э}} = \left(\frac{\mu \cdot j}{L - V_T \left(1 - \frac{0,248 \frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} K_{\text{эфд}} \cdot r_{\text{к}}}}{1 - 3,077 \left(\frac{M_{\text{вед}}}{G_{\text{сц}} K_{\text{эфд}} \cdot r_{\text{к}}} \right)^3} \right) \mu t} \right) m_{\text{прс}} V_p \quad (2.81)$$

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

Выводы по разделу

Проведенные теоретические исследования позволяют **сформулировать следующие научно обоснованные выводы:**

1. Предложенный математический аппарат и обзор ранее проведенных исследований подтверждают, что повышения эффективности уборочного процесса в Амурской области возможно достичь за счет увеличения тягово-цепных свойств автомобиля, снижения нормального давления на почву и применения прицепов, выполняющих задачу «транспортных компенсаторов».

При этом наиболее оптимальным и максимально эффективным способом достижения наилучших 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 счет увеличения площади опоры, что возможно при постановке арочных шин. Это, в свою очередь, дает возможность увеличить и массу перевозимого груза.

*3. Предложенное теоретическое обоснование подтверждает эффективность разработанной перспективной конструкции – **Догружающего модуля для грузового автомобиля**, которая позволяет повысить сцепной вес автомобиля за счет перераспределения веса с ходовой системы прицепа, что создаст условия для лучшей реализации тягово-сцепных свойств движителем колесного энергетического средства.*

4. В целях подтверждения полученных зависимостей необходимо изготовление экспериментального устройства данного догружающего модуля, его экспериментальное внедрение и опытная проверка данных при проведении эксплуатационных испытаний.

3 ПРАКТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ УБОРОЧНЫХ РАБОТ

3.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению веса в ходовой системе автопоезда

3.1.1 Результаты экспериментальных исследований по перераспределению сцепного веса между мостами автомобиля

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 проведены сравнительные испытания.

При этом замерялись следующие параметры транспортных средств [27, 28, 29, 30]: *скорость движения (частота вращения ведущих колес); пройденный путь; масса перевозимого груза; масса транспортного средства; фиксация передачи КПП автомобиля; расход топлива; время опыта; распределение нагрузки по опорным поверхностям движителя.*

Измерение указанных параметров проводилось тензометрической аппаратурой, смонтированной на исследуемом автомобиле, а также передвижной лабораторией, установленной на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ ГАЗ-2705 с переносными подкладными весами RW-10(15)P, предназначенными для взвешивания энергетических средств с максимальным количеством осей до трех, а также весами платформенными электронными МВСК(В).

Как установлено, одним из действенных способов повышения тягово-

сцепных свойств колесных мобильных энергетических средств в условия низкой несущей способности почвы является увеличение площади контакта движителя с почвой. Для колесных тракторов нашла широкое применение установка сдвоенных колес 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 колес не всегда дает положительный результат вследствие того, что происходит полное залипание пространства между движителями, грунтозацепами колеса, и сдвоенные колеса тогда представляют собой сплошной каток, неспособный 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 1140×700, что позволит максимально реализовать мощностные показатели, заложенные заводом-изготовителем (рис. 3.1, 3.2, 3.3).

Наряду с использованием шин большего размера (арочных), повысить тягово-сцепные свойства также возможно за счет увеличения полезной нагрузки на ведущие колеса, 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.

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ



Рисунок 3.1 – Автомобиль КамАЗ-4350 на арочных шинах



Рисунок 3.2 – Прицеп экспериментальный 2ПН-4М на арочных шинах

Таким образом, наиболее рациональным в данной ситуации представляется комплексное решение обозначенной задачи по повышению тягово-сцеп-

ных свойств за счет замены стандартных шин на арочные (рис. 3.4) с одновременной установкой устройства для перераспределения веса между звеньями агрегата – прицепом и автомобилем [59, 60, 88].



Рисунок 3.3 – Автомобиль КамАЗ-4350 с догружающим модулем для грузового автомобиля и прицеп ПН-4М на арочных шинах



слева – вид фронтальный; справа – вид профильный

Рисунок 3.4 – Общий вид серийных и арочных автошин

Это позволит не только повысить тягово-сцепные свойства автомобиля, но и одновременно снизить проваливание автопоезда и его техногенное воздействие в одинаковых почвенных условиях (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Фрагмент проведения исследований серийного и экспериментального автомобилей в условиях переувлажнения

Как видно на рисунке 3.5, автомобиль, оборудованный арочными шинами, имеет меньшее нормальное давление двигателей на почву, что позволяет повысить его сцепной вес с целью использования на перевозках в рассматриваемых условиях уборки при агрегатировании с прицепами, также оснащенными арочными шинами, в целом позволяющими снизить нормальное давление транспортного агрегата на почву.

Как уже отмечалось, для повышения сцепного веса разработана и теоретически обоснована конструкция перспективного перераспределяющего устройства – *догружающего модуля для грузового автомобиля*.

Догружающий модуль состоит из лебедочного устройства (рис. 3.6), гибкой тросовой части (рис. 3.7), чалочного крюка (рис. 3.8), тягово-сцепного устройства с дышлом прицепа (рис. 3.9) и цепной связи для фиксации дышла прицепа в транспортном положении (рис. 3.10).



Рисунок 3.6 – Лебедочное устройство автомобиля КамАЗ-4350



Рисунок 3.7 – Чалочный крюк с гибкой лебедочной тросовой частью догружающего модуля для грузового автомобиля

Принцип работы устройства следующий. При снижении тягово-сцепных свойств автомобиля водитель подключает лебедочное устройство, которое

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

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 (рис. 3.11), что позволяет перераспределить вес прицепа на ходовую систему автомобиля и увеличивать его тягово-сцепные свойства.



Рисунок 3.8 – Чалочный крюк догружающего модуля для грузового автомобиля (транспортное положение)



Рисунок 3.9 – Работа тягово-сцепного устройства и нагружение дышла прицепа



Рисунок 3.10 – Цепная силовая связь для регулирования и фиксации дышла прицепа в транспортном положении



Рисунок 3.11 – Фрагмент исследований по поднятию переднего моста прицепа при работе устройства

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

Экспериментальные исследования проведены в реальных условиях эксплуатации при вывозе продукции с полей и переувлажнении верхнего слоя почвы, а в некоторых экспериментах – и при наличии снежного покрова в период 2020–2021 гг. (рис. 3.12, 3.13).



Рисунок 3.12 – Фрагмент проведения испытаний в осенний период в условиях переувлажнения верхнего слоя почвы



Рисунок 3.13 – Фрагмент проведения испытаний в условиях наличия снежного покрова

С целью подтверждения полученных ранее теоретических зависимостей проведены эксперименты по перераспределению сцепного веса между колесами прицепа (передней осью) и задними ведущими колесами автомобиля.

Для измерения параметров работы догружающего модуля для грузового автомобиля, фиксации изменения продольных и поперечных углов агрегатов и узлов транспортного средства использовались электронные инклинометры Absolute Digital Protractor.

При проведении исследований учитывалось влияние угла наклона чалочного крюка (рис. 3.14), приходящейся осевой нагрузки на опоры автопоезда (рис. 3.15), угла наклона дышла прицепа (рис. 3.16) и высоты подъема дышла прицепа (рис. 3.17) на сцепной вес, приходящийся на задние ведущие колеса автомобиля.



Рисунок 3.14 – Фрагмент измерения угла наклона чалочного крюка



Рисунок 3.15 – Фрагмент измерения осевой нагрузки автопоезда

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ



Рисунок 3.16 – Фрагмент измерения угла наклона дышла прицепа



Рисунок 3.17 – Фрагмент измерения высоты подъема чалочного крюка и дышла прицепа

Результаты экспериментальных исследований приведены в виде графиков на рисунках 3.18, 3.19.

Рассматриваемый процесс перераспределения для экспериментального

автомобиля в зависимости от угла наклона чалочного крюка может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.1) при коэффициенте корреляции равном 0,9028:

$$y = 0,0002x^2 + 0,2336x + 44,099 \quad (3.1)$$

Рассматриваемый процесс перераспределения для экспериментального автомобиля в зависимости от высоты подъема дышла прицепа может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.2) при коэффициенте корреляции равном 0,9718:

$$y = -0,0008x^2 + 0,3533x + 23,898 \quad (3.2)$$

Анализируя полученные данные (рис. 3.18), необходимо отметить, что при увеличении угла наклона чалочного крюка происходит увеличение нагрузки на задние колеса автомобиля. Так, при увеличении угла наклона от нуля до 42 градусов, увеличение сцепного веса, приходящегося на задние колеса автомобиля, составило от 45,5 до 55,45 кН.

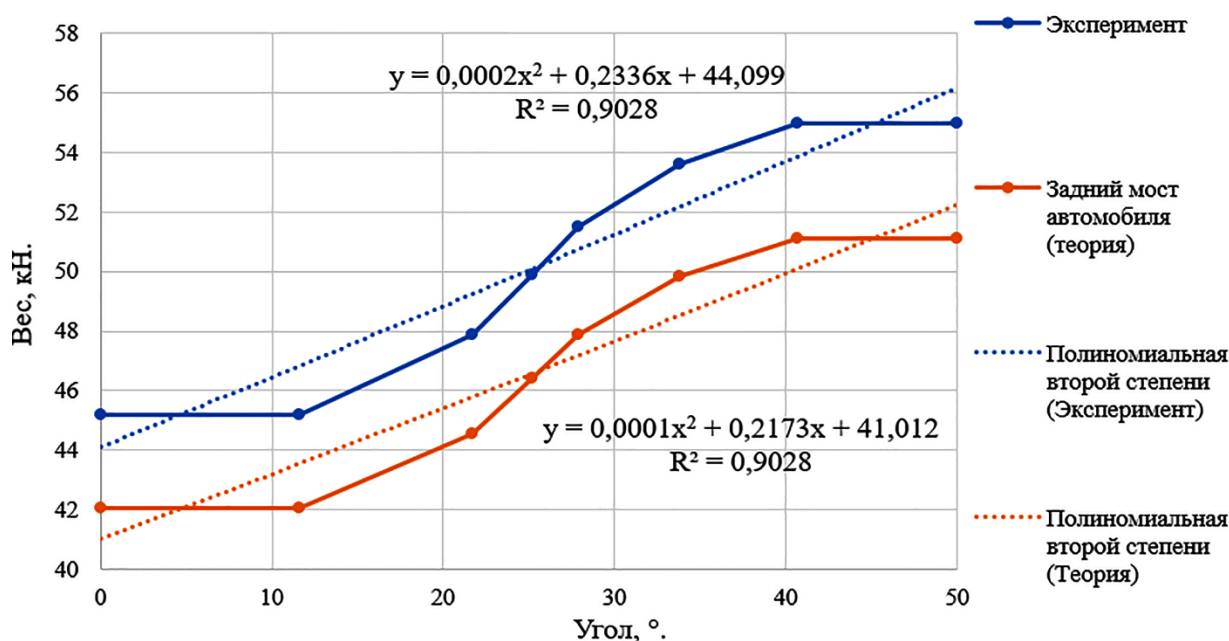


Рисунок 3.18 – Зависимость сцепного веса, перераспределяемого на задние ведущие колеса автомобиля, от угла наклона чалочного крюка

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

При увеличении высоты подъема дышла прицепа получены аналогичные данные. Так, при увеличении высоты подъема дышла прицепа (рис. 3.19) с 0,68 до 1,22 м, возрастание сцепного веса, перераспределяемого на задние ведущие колеса автомобиля, составило от 45,5 до 55,45 кН.

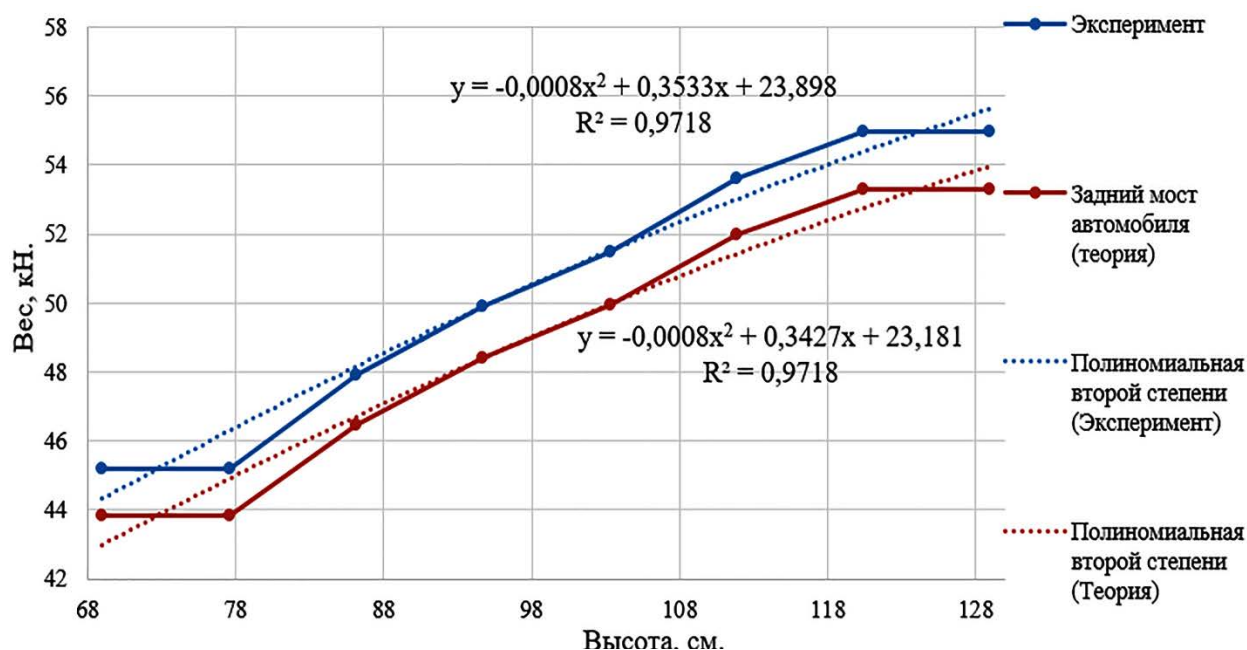


Рисунок 3.19 – Зависимость сцепного веса, перераспределяемого на задние ведущие колеса автомобиля, от высоты подъема дышла прицепа

Также установлено, что после достижения максимальной высоты подъема 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 (рис. 3.18, 3.19), нами установлено, что использование предлагаемого устройства позволяет повысить сцепной вес, приходящейся на задние ведущие колеса автомобиля, за счет его перераспределения в ходовой системе транспортного агрегата. В тоже время необходимо отметить, что возрастание сцепного веса происходит не сразу с момента изменения угла подъема или высоты наклона (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 приложения Mathcad построена комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости перераспределяемого на задний мост автомобиля сцепного веса от высоты подъема дышла прицепа и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства (рис. 3.20).

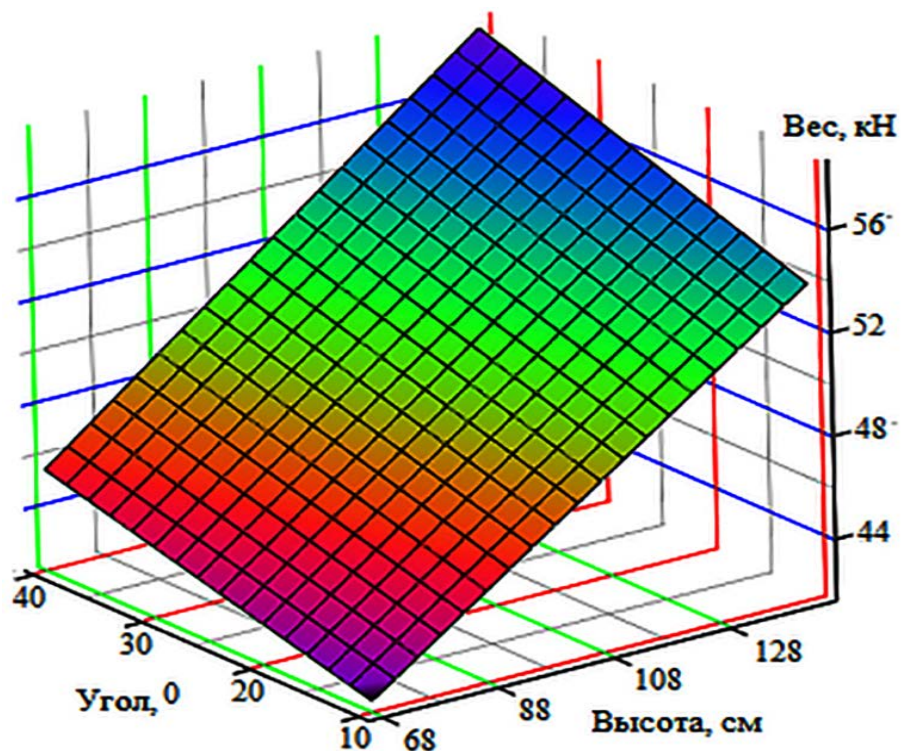


Рисунок 3.20 – Комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости перераспределяемого на задний мост автомобиля сцепного веса от высоты подъема дышла прицепа и угла подъема чалочного крюка перераспределяющего устройства

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с полиномами второй степени, при достоверности аппроксимации $R^2 = 1$, нами получена мультипликативная модель зависимости перераспределяемого веса (z)

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

от высоты подъема дышла прицепа (x) и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства (y):

$$z(x; y) = -19,32 \cdot 10^{-5} x^2 y + 85,32 \cdot 10^{-3} xy + 15,56 \cdot x - 35,23 \cdot 10^{-4} x^2 + 5,77 \cdot y + 10,53 \cdot 10^2 \quad (3.3)$$

Анализируя зависимость передаваемого сцепного веса от таких факторов, как высота подъема дышла прицепа и угол наклона чалочного крюка, необходимо отметить, что наибольшая высота подъема 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 взаимодействующей 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 колеса автомобиля, так и на передние управляемые ведущие колеса, 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 колеса 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 его передние колеса. Результаты исследований представлены на рисунках 3.21, 3.22.

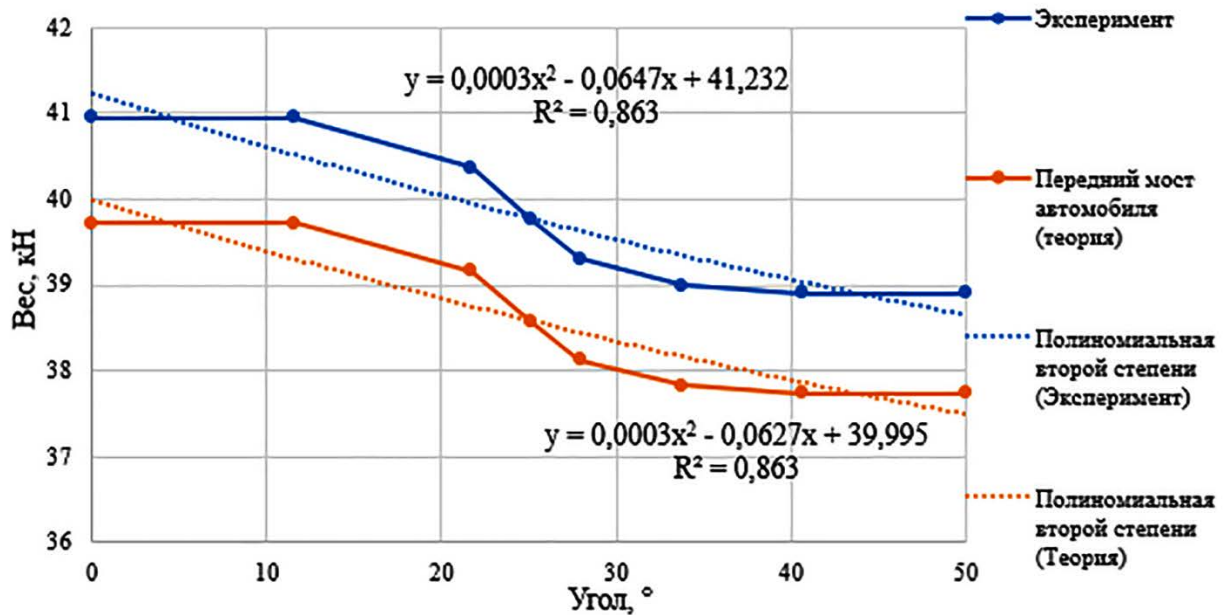


Рисунок 3.21 – Зависимость сцепного веса, приходящегося на передние ведущие колеса автомобиля, от угла наклона чалочного крюка

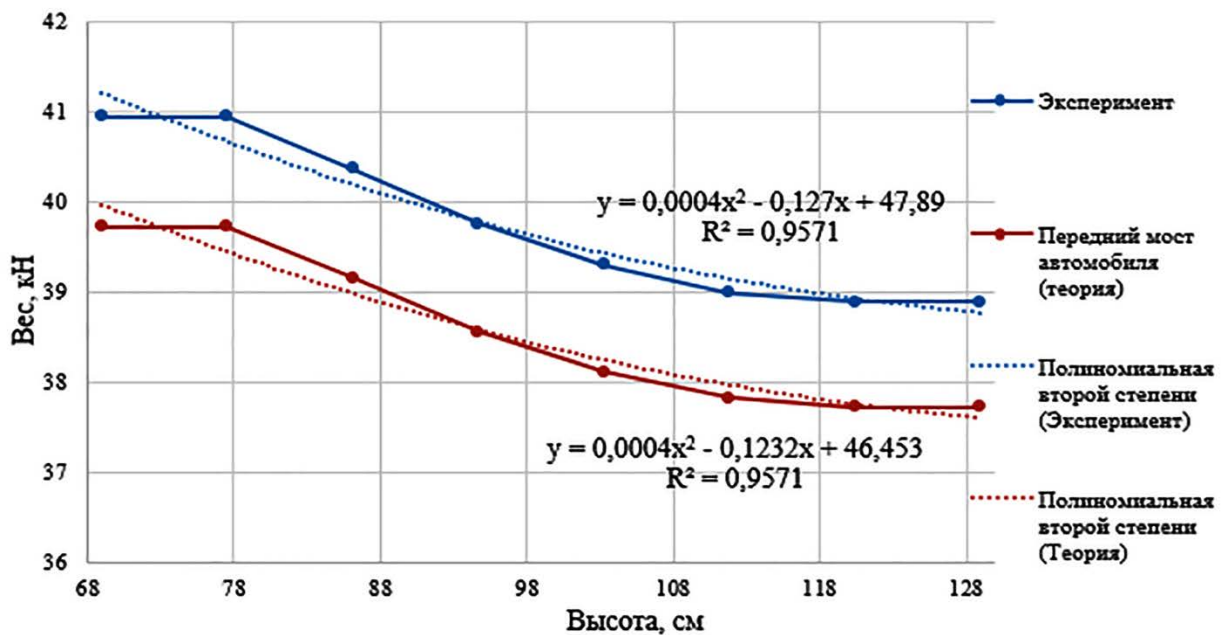


Рисунок 3.22 – Зависимость сцепного веса, приходящегося на передние ведущие колеса автомобиля, от высоты подъема дышла прицепа

Рассматриваемый процесс изменения веса, приходящегося на передние ведущие колеса автомобиля, от угла наклона чалочного крюка, может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.4) при коэффициенте корреляции равном 0,863:

$$y = 0,0003x^2 - 0,0647x + 41,232 \quad (3.4)$$

Исследуемый процесс изменения веса, приходящегося на передние ведущие колеса автомобиля, от высоты подъема дышла прицепа, может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.5) при коэффициенте корреляции равном 0,9571:

$$y = 0,0004x^2 - 0,127x + 47,89 \quad (3.5)$$

Как показали проведенные исследования, в результате работы предлагаемого устройства произошло частичное снижение сцепного веса, приходящегося на передний мост автомобиля. Так, при изменении угла наклона чалочного крюка от нуля до 42 градусов (рис. 3.21), произошло снижение сцепного веса с 4,095 до 3,895 кН (на 0,190 кН или на 4,8 %). В тоже время снижение сцепного веса, приходящегося на передний мост, не влечет за собой значительного снижения сцепных свойств автомобиля в целом. Это объясняется тем, что у полноприводного автомобиля с колесной формулой 4К4 считается весь вес, приходящийся на колеса. Таким образом, снижение на 4,8 % сцепного веса, приходящегося на передние колеса автомобиля, практически не скажется на управляемости и маневренности автомобиля в целом.

Аналогичные данные получены и при изменении высоты подъема дышла прицепа (рис. 3.22).

На основании полученных экспериментальных данных в среде приложения Mathcad построена комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса переднего моста автомобиля от высоты подъема дышла прицепа и угла подъема чалочного крюка перераспределяющего устройства, представленная на рисунке 3.23.

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с поли-

номами второй степени, при достоверности аппроксимации $R^2 = 1$, нами получена мультипликативная модель зависимости изменения сцепного веса переднего моста автомобиля (z) от высоты подъема дышла прицепа (x) и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства (y):

$$z(x; y) = -20,68 \cdot 10^{-6} x^2 y + 16,45 \cdot 10^{-3} x^2 + 65,65 \cdot 10^{-4} xy - 5,22 \cdot x - 2,48 \cdot y + 19,69 \cdot 10^2 \quad (3.6)$$

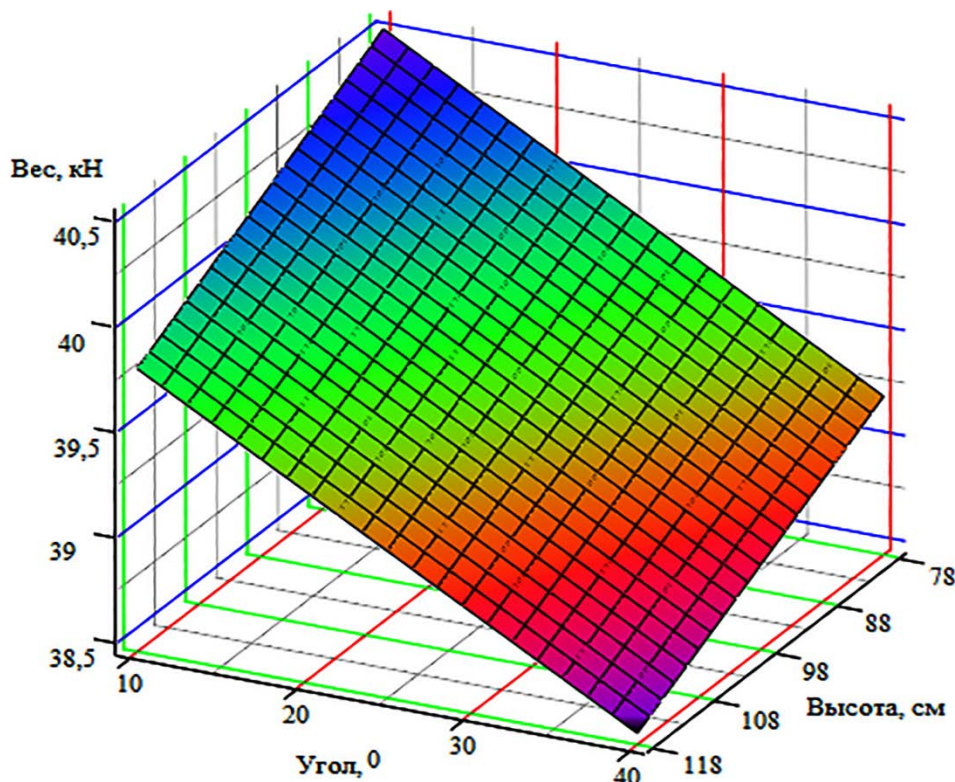


Рисунок 3.23 – Комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса, приходящегося на передний мост автомобиля, от высоты подъема дышла прицепа и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства

Анализируя полученную зависимость, необходимо отметить, что наибольшая высота подъема 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 установлены 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.

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

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

Для измерения перераспределяемой нагрузки между колесами прицепа и автомобиля использовались весы платформенные электронные МВСК(В)-10, основная характеристика которых приведена в таблице 3.1.

Фрагменты проведения экспериментальных исследований приведены на рисунках 3.24–3.27. Для чистоты опыта под колеса подкладывались деревянные опоры, по высоте равные высоте измерительной площадки весоизмерительного комплекса.

Результаты проведенных экспериментальных исследований показаны в виде графиков на рисунках 3.28, 3.29.

Таблица 3.1 – Основные характеристики весоизмерительного комплекса

Показатели	Значения					
Наибольший предел взвешивания, т	3	5	10	15	20	30
Наименьший предел взвешивания, т	–	0,04	0,10	0,10	0,20	0,20
Класс точности	средний III					
Дискретность отсчета (<i>d</i>) и цена деления поверочного деления (<i>e</i>), кг	–	2	5	5	10	10
Пределы допускаемой погрешности при первичной поверке весов, кг: от наименьшего предела взвешивания до 500 <i>e</i> включительно	–	±2	±5	±5	±10	±10
свыше 500 <i>e</i> до 2 000 <i>e</i> включительно	–	±2	±5	±5	±10	±10
свыше 2 000 <i>e</i>	–	±4	–	±10	–	±20
Пределы допускаемой погрешности при периодической поверке весов, кг: от наименьшего предела взвешивания до 500 <i>e</i> включительно	–	±2	±5	±5	±10	±10
свыше 500 <i>e</i> до 2 000 <i>e</i> включительно	–	±4	±10	±10	±20	±20
свыше 2 000 <i>e</i>	–	±6	–	±15	–	±30
Время установления показаний весов, не более с	5					
Потребляемая мощность, не более В·А	20					
Питание весов от сети переменного тока: напряжение, В частота, Гц	220 (+22; –33) 50 (±1)					
Габаритные размеры весов, мм	550×750					
Вероятность безотказной работы за 2 000 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					

Рассматриваемый процесс изменения веса управляемого моста прицепен в зависимости от угла наклона чалочного крюка может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.7) при коэффициенте корреляции, составившем 0,907:

$$y = -0,0031x^2 - 0,2737x + 19,139 \quad (3.7)$$

*3 Практическое решение технической задачи повышения
эффективности использования колесных энергетических средств
в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ*



**Рисунок 3.24 – Фрагмент измерения нагрузки
на задние ведущие колеса**



**Рисунок 3.25 – Фрагмент измерения нагрузки
на передние ведущие колеса**



Рисунок 3.26 – Фрагмент измерения нагрузки ходовой системы без работы устройства



Рисунок 3.27 – Фрагмент определения параметров перераспределения нагрузки с передней оси прицепа на автомобиль

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

Рассматриваемый процесс изменения веса переднего моста прицепа от высоты подъема его дышла может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.8) при коэффициенте корреляции, составившем 0,9715:

$$y = -0,0008x^2 - 0,1835x + 35,186 \quad (3.8)$$

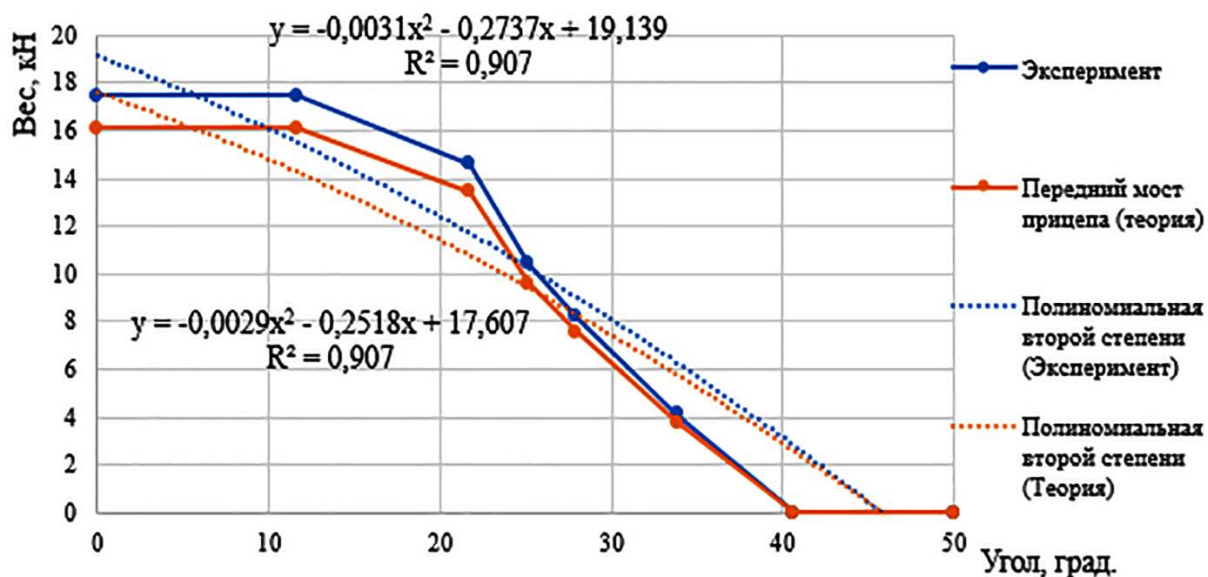


Рисунок 3.28 – Зависимость изменения веса, приходящегося на передний мост прицепа, от угла наклона чалочного крюка

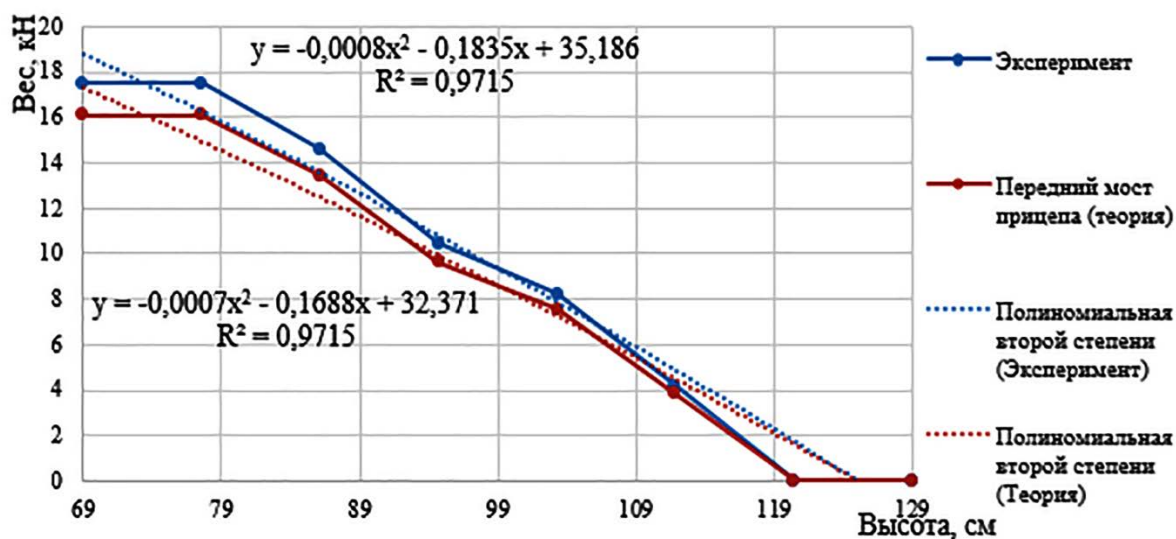


Рисунок 3.29 – Зависимость изменения веса, приходящегося на передний мост прицепа, от высоты подъема его дышла

Анализ полученных данных (рис. 3.28, 3.29) показывает, что при работе

устройства происходит снижение веса, приходящегося на передний управляемый мост прицепа. Так, при изменении угла наклона чалочного крюка (рис. 3.28) от нуля до 40 градусов произошло снижение веса, распределяемого с переднего моста прицепа с 17,50 до нуля килоньютон. При 40 градусах произошел отрыв колес переднего моста прицепа от поверхности движения.

Аналогичные данные получены и при изменении высоты подъема дышла прицепа (рис. 3.29).

На основании полученных экспериментальных данных, в среде *Mathcad* построена комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса переднего моста прицепа от высоты подъема дышла прицепа и угла подъема чалочного крюка перераспределяющего устройства, представленная на рисунке 3.30.

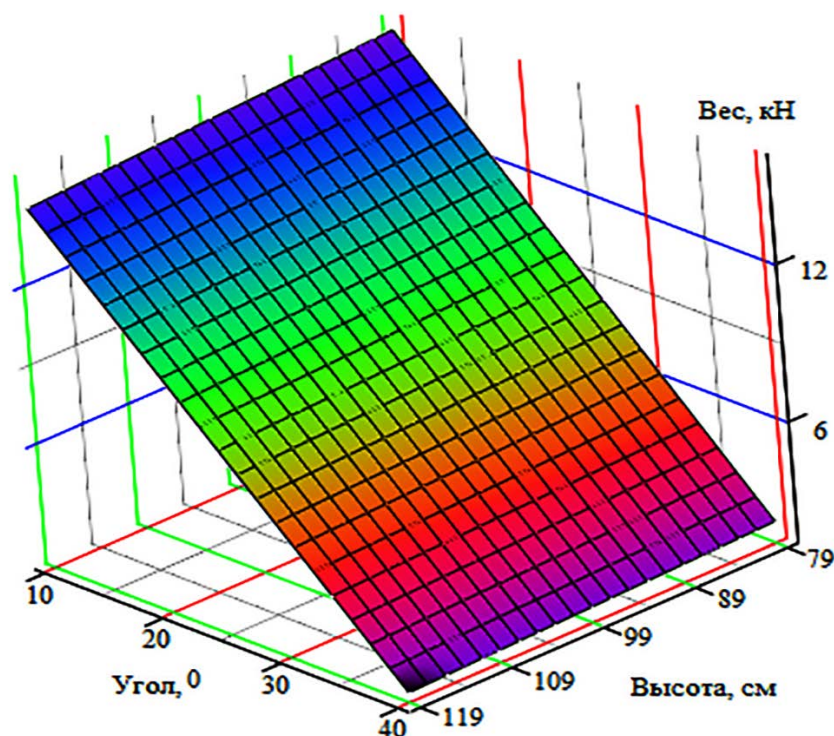


Рисунок 3.30 – Комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса, приходящегося на передний мост прицепа, от высоты подъема дышла прицепа и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с полиномами второй степени, при достоверности аппроксимации $R^2 = 1$, нами получена мультипликативная модель зависимости изменения сцепного веса переднего моста прицепа (z) от высоты подъема дышла прицепа (x) и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства (y):

$$z(x; y) = 34,43 \cdot 10^{-5} x^2 y - 16,32 \cdot 10^{-3} x^2 + 78,98 \cdot 10^{-3} \cdot x \cdot y - 3,74 \cdot x - 15,14 \cdot y + 7,18 \cdot 10^2 \quad (3.9)$$

Анализ полученной зависимости позволяет заключить, что наибольшая высота подъема 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 3.31, 3.32.

Рассматриваемый процесс изменения веса заднего моста прицепа в зависимости от угла наклона чалочного крюка может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.10) при коэффициенте корреляции, соответствующем 0,8745:

$$y = 0,0021x^2 + 0,1375x + 6,5359 \quad (3.10)$$

Рассматриваемый процесс изменения веса заднего моста прицепа в зависимости от высоты подъема дышла может быть описан следующим полиномиальным уравнением второй степени (3.11) при коэффициенте корреляции, соответствующем 0,9572:

$$y = 0,0007x^2 + 0,0499x - 0,2703 \quad (3.11)$$

Анализ полученных данных (рис. 3.31, 3.32) показывает, что при работе

устройства происходит увеличение веса, приходящегося на задний мост прицепа. Так, при изменении угла наклона чалочного крюка (рис. 3.31) от нуля до 40 градусов произошло увеличение веса, распределяемого на задний мост прицепа, с 7,60 до 17,2 кН. Аналогичные данные получены и при изменении высоты подъема дышла прицепа (рис. 3.32).

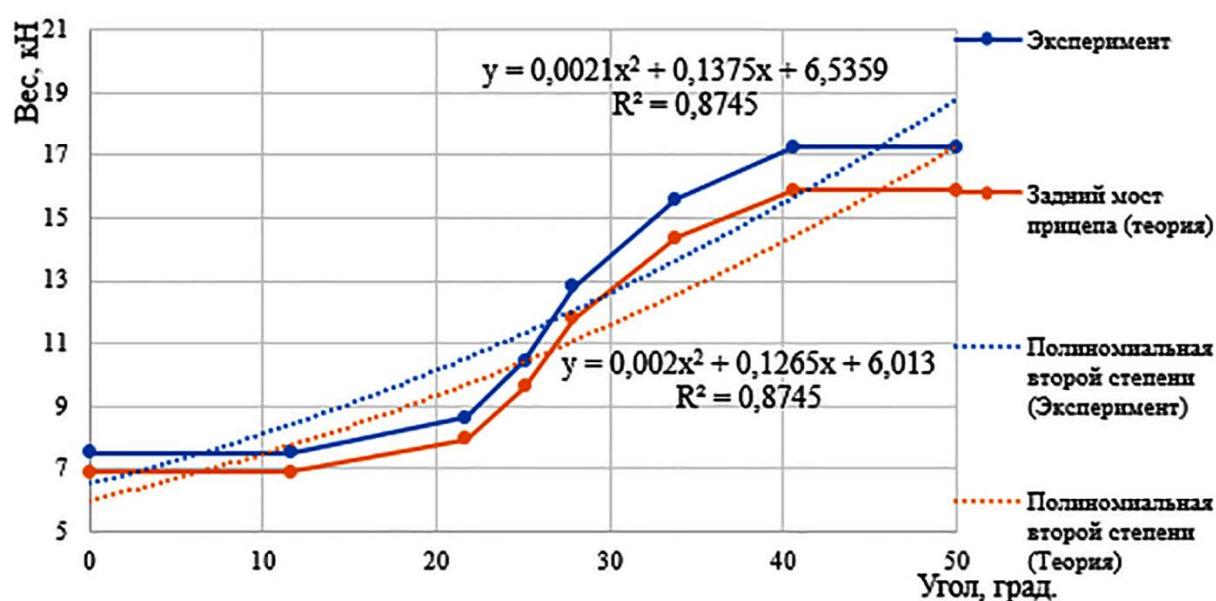


Рисунок 3.31 – Зависимость изменения веса, приходящегося на задний мост прицепа, от угла наклона чалочного крюка

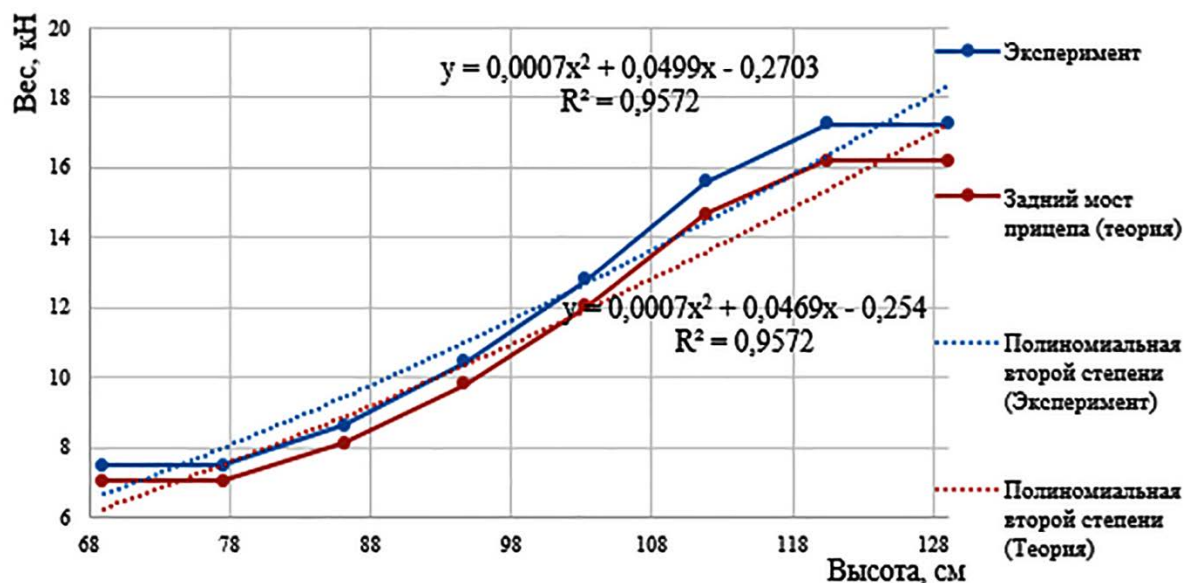


Рисунок 3.32 – Зависимость изменения веса, приходящегося на задний мост прицепа, от высоты подъема дышла

На основании полученных экспериментальных данных, в среде *Mathcad* построена комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса заднего моста прицепа от высоты подъема дышла прицепа и угла подъема чалочного крюка перераспределяющего устройства, представленная на рисунке 3.33.

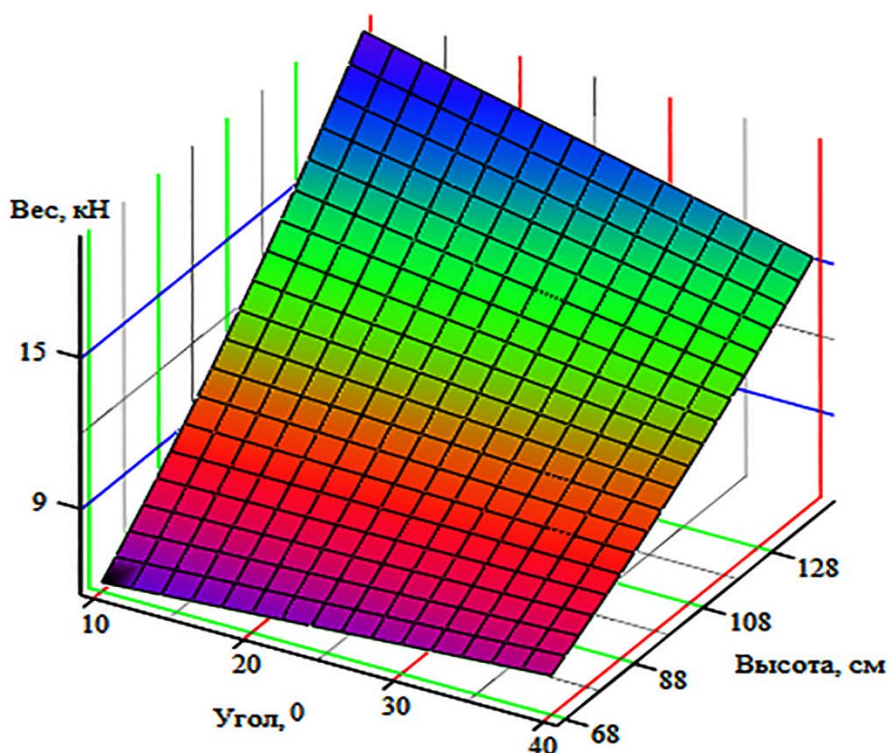


Рисунок 3.33 – Комбинированная модель детерминированного факторного анализа зависимости изменения сцепного веса заднего моста прицепа от высоты подъема дышла прицепа и угла подъема чалочного крюка перераспределяющего устройства

Используя линии тренда в виде полиномиальной аппроксимации с полиномами второй степени, при достоверности аппроксимации $R^2 = 1$, нами получена мультипликативная модель зависимости изменения сцепного веса переднего моста прицепа (z) от высоты подъема дышла прицепа (x) и угла наклона чалочного крюка перераспределяющего устройства (y):

$$z(x; y) = 17,12 \cdot 10^{-5} x^2 y + 39,74 \cdot 10^{-4} x^2 + 12,21 \cdot 10^{-3} \cdot x \cdot y + 28,33 \cdot 10^{-2} \cdot x + 66,11 \cdot 10^{-3} \cdot y - 1,53 \quad (3.12)$$

Анализ полученной зависимости позволяет сделать вывод, что наибольшая высота подъема 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 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.

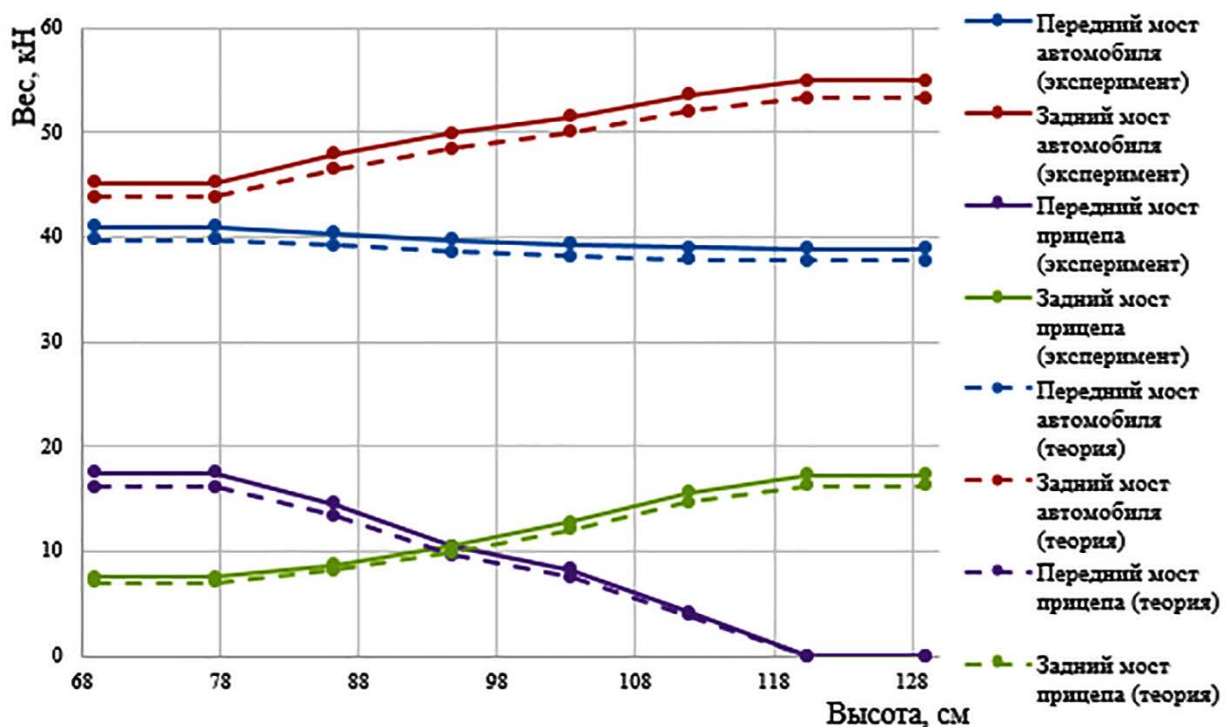


Рисунок 3.34 – Комбинированный график зависимостей изменения сцепного веса в ходовой системе агрегата при работе перераспределяющего устройства

На основании полученных теоретических и экспериментальных результа-

тов, в целях формирования доверительных интервалов, построен комбинированный график зависимостей изменения сцепного веса в ходовой системе агрегата при работе перераспределяющего устройства, представленный на рисунке 3.34.

Можно заключить, что представленные теоретические и экспериментальные данные находятся в пределах доверительного интервала, и это позволяет утверждать о достоверности проведенных исследований.

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

Для определения влияния догружающего модуля для грузового автомобиля на коэффициент использования сцепного веса были проведены экспериментальные исследования, приведенные на рисунке 3.35.

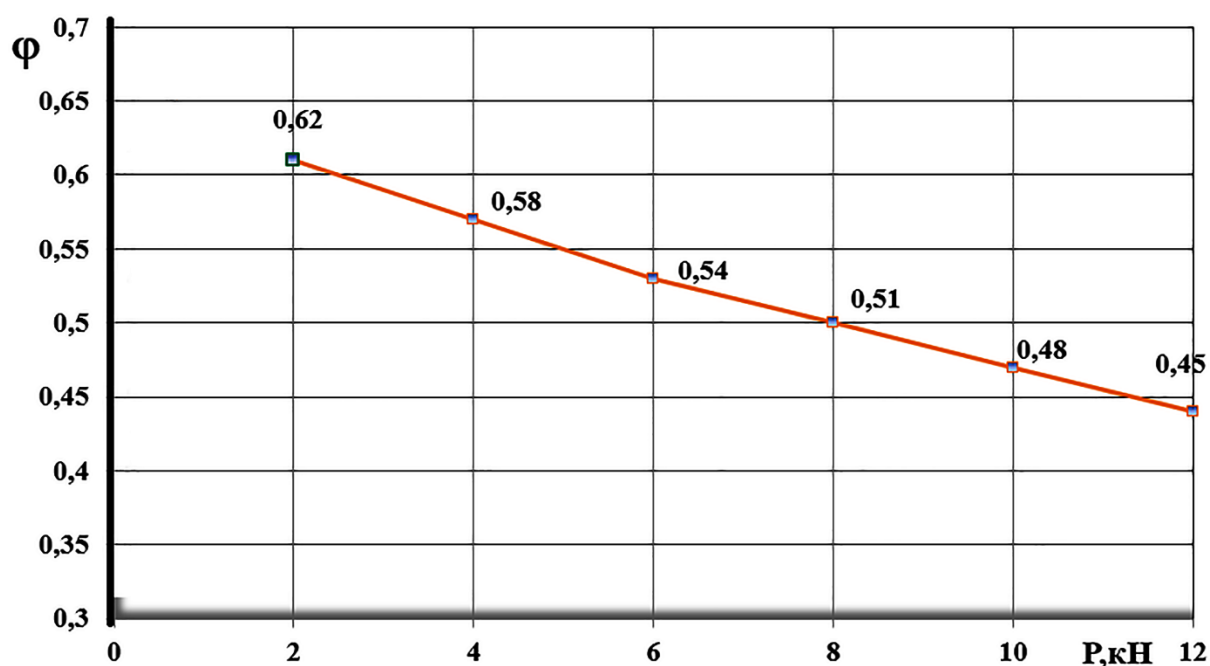


Рисунок 3.35 – Зависимость коэффициента использования сцепного веса от его перераспределения в системе транспортного агрегата

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

Как известно, величина буксования во многом зависит от коэффициента использования сцепного веса. Во втором разделе монографии нами 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 его производительности.

При определении влияния догружающего модуля на величину буксования 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 ее постоянной.

Как показали эксперименты, с повышением сцепного веса с 2 до 12 кН (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 (рис. 3.36), а в некоторых случаях теряет способность к движению при полном буксовании.



Рисунок 3.36 – Фрагмент проведения тяговых испытаний с серийным автомобилем

3.3 Результаты определения воздействия двигателей автомобиля на почву

Для определения техногенного воздействия на почву ходовой системы автомобиля КамАЗ-4350 нами проведены экспериментальные исследования при вывозе урожая с полей.

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 [62–65]. При этом замерялись следующие параметры: *влажность и глубина колеи*. Повторность опытов – пятикратная.

Определение влажности почвы осуществлялось с использованием полупроводникового зонда РМ S710 с длиной погружного элемента 30 см. Порядок определения влажности подробно описан в инструкции по применению зонда. Замеры влажности проводились на глубину 5; 10; 15 см с фиксацией получаемых параметров.

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 на величину не более чем 5 мм.

Фрагменты проведения испытаний показаны на рисунках 3.37–3.39. Как показали проведенные исследования (табл. 3.2), после прохода по полю как серийного, так и экспериментального автомобилей остается колея.



Рисунок 3.37 – Фрагмент прохода по полю автомобиля на серийных шинах высокой проходимости

Результаты экспериментов показывают, что после прохода по полю серийного автомобиля без груза глубина колеи составляет 0,14–0,16 м, а после прохода автомобиля на арочных шинах – 0,03–0,04 м.



**Рисунок 3.38 – Фрагмент прохода по полю
автомобиля на арочных шинах**



**Рисунок 3.39 – Фрагмент определения глубины колеи
после прохода по полю серийного автомобиля**

Таблица 3.2 – Результаты экспериментальных исследований по определению глубины колеи автомобиля КамАЗ-4350

Исследуемый параметр	Автомобиль КамАЗ-4350				
	серийный без груза	без груза на арочных шинах	серийный с грузом 4 тонны	с грузом 4 тонны на арочных шинах	с прицепом 2ПН-4М на арочных шинах и грузом 4 + 4 тонны
Глубина колеи	0,14–0,16	0,03–0,04	0,33–0,36	0,07–0,08	0,10–0,12

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 – 0,07–0,08 м. После прохода по полю автомобиля на арочных шинах и прицепа с установленными арочными шинами глубина колеи составила 0,10–0,12 м, что позволяет не проводить заделку следа при подготовке поля под последующие посевные работы, так как техногенное проявление нейтрализуются без дополнительных операций при зимнем замораживании и весеннем оттаивании под воздействием природных факторов.

3.4 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

С целью определения эффективности использования грузового автомобиля 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. Проведение хронометражных наблюдений включало следующие этапы [27–30]:

1) подготовка к проведению наблюдений;

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

- 2) проведение замеров;*
- 3) обработка хронометражных замеров;*
- 4) анализ полученных данных.*

В качестве основных эксплуатационно-технологических показателей были приняты:

- 1) производительность за один час эксплуатационного или сменного времени;*
- 2) качество выполнения рабочей операции;*
- 3) удельный расход топлива;*
- 4) количество обслуживающего персонала.*

При этом измерялись *время основной работы; затраты времени работы по элементам технологической операции; объем перевезенного 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 один час эксплуатационного и сменного времени определяли по рекомендуемым методикам [81].

При определении эффективности транспортно-технологического обеспечения уборочного процесса проводились эксплуатационные испытания методом хронометражного наблюдения, так как данный метод является одним из основных при эксплуатационных испытаниях.

Полученные результаты позволяют провести сравнения по следующим параметрам [27–30]:

- 1) производительность за один час времени движения;*

- 2) производительность за один час чистого рабочего времени и за смену;
- 3) скорость движения;
- 4) коэффициент использования времени движения;
- 5) коэффициент использования времени смены;
- 6) расход топлива на единицу выполненной работы.

Надежной формой наблюдения является проведение сплошного хронометража за работой транспортных агрегатов на вывозке урожая с полей. Основная цель хронометражных наблюдений – определение основных параметров, которые характеризуют эффективность работы автомобиля. При этом работник, выполняющий хронометраж, непосредственно находится в кабине автомобиля в течение всего рабочего времени выполнения операции.

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

В таблице 3.3 приведены сравнительные хозяйственные испытания на вывозке зерновых культур с полей.

Таблица 3.3 – Результаты сравнительных хозяйственных испытаний на перевозке зерновых культур

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)
Длина плеча подвоза, м	6 150	6 150	6 150
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 за один час времени движения, т·км	19,68	28,91	57,81

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

Продолжение таблицы 3.3

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)
Производительность за смену, т·км	196,80	289,10	578,10
Коэффициент использования времени движения	0,92	0,99	0,90

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

Аналогичные исследования были проведены и на вывозке с поля сои. Результаты сравнительных хозяйственных испытаний приведены в таблице 3.4.

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

Таблица 3.4 – 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)
Длина плеча подвоза, м	6 420	6 420	6 420
Грузоподъемность теоретическая, т	5,20	5,20	9,20
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 за один час времени движения, т·км	19,90	29,85	59,70
Производительность за смену, т·км	199,00	298,50	597,00
Коэффициент использования времени движения	0,90	0,96	0,87

Таким образом, можно заключить, 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 объемом бункера 6 м³, а серийным автомобилем – один комбайн этого же типа.

Выводы по разделу

Проведенные экспериментальные исследования дают возможность сделать **следующие научно обоснованные выводы:**

1. В результате работы предлагаемого перераспределяющего устрой-

3 Практическое решение технической задачи повышения эффективности использования колесных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении уборочных работ

ства, изменении угла наклона чалочного крюка от нуля до 42 градусов и увеличении высоты подъема дышла прицепа с 0,68 до 1,22 м произошло:

1) частичное снижение сцепного веса, приходящегося на передний мост автомобиля, с 4,095 до 3,895 кН или на 4,8 %;

2) увеличение сцепного веса, приходящегося на задние ведущие колеса автомобиля, с 45,5 до 55,45 кН;

3) снижение веса, распределяемого с переднего моста прицепа, с 17,50 до нуля килоньютон; установлено, что при 40 градусах произошел отрыв колес переднего моста прицепа от поверхности движения;

4) увеличение веса, распределяемого на задний мост прицепа, с 7,60 до 17,2 кН.

2. 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 до 10 кН, коэффициент использования сцепного веса снизился с 0,62 до 0,48. С повышением сцепного веса с 2 до 12 кН (при постоянной нагрузке на крюке) величина буксования у автомобиля на арочных шинах снизилась на 30–35 %.

4. 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 – 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 – 0,07–0,08 м. *После прохода по полю автомобиля на арочных шинах и прицепа с установленными арочными шинами глубина колеи составила 0,10–0,12 м, что позволяет не проводить заделку следа при подготовке поля под последующие посевные работы, так как техногенное проявление нейтрализуются без дополнительных операций*

при зимнем замораживании и весеннем оттаивании под воздействием природных факторов.

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

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

7. 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 объемом бункера 6 м³, а серийным автомобилем – только один комбайн этого же типа.

4 ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью оценки эффективности проведенных исследований предлагается множество методик и положений, которые дают возможность оценить результаты работы [62–65]. Использование различных подходов к оценке проведенных исследований имеет свои как положительные, так и отрицательные стороны. При этом в качестве аргумента может выступать как денежный эквивалент 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 полученных результатов исследований проведем в соответствии с методикой топливо-энергетической оценки, предложенной Федеральным научным агроинженерным центром ВИМ [62–65].

При проведении топливо-энергетической оценки в качестве сравнения брались полные энергозатраты, в состав которых вошли следующие показатели: прямые затраты энергии; энергозатраты живого труда; удельная энергоемкость.

Согласно предлагаемой методики [62–65], при проведении транспортных работ энергетическим средством изначально проведем определение перечисленных показателей.

Прямые затраты энергии:

$$E_{\text{п}} = H_{\text{т}}(a_{\text{т}} + f_{\text{т}}) \quad (4.1)$$

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

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

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

Энергозатраты живого труда:

$$E_{\text{ж}} = \frac{n_{\text{ч}} \cdot a_{\text{ж}}}{W_{\text{см}}} \quad (4.2)$$

где $n_{\text{ч}}$ – число основных работников, чел.;

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

$W_{\text{см}}$ – производительность, т·км/ч.

Удельная энергоемкость в расчете на один час работы энергетического средства:

$$E_{\text{т}} = \frac{A_{\text{тр}} \cdot M_{\text{т}}(a_{\text{т}} + a_{\text{тк}} + a_{\text{тт}})}{100T_{\text{н}}} \quad (4.3)$$

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

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

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

$T_{\text{н}}$ – годовая загрузка энергетического средства, ч.

Удельная энергоемкость прицепа:

$$E_{\text{м}} = \frac{A_{\text{м}} \cdot M_{\text{м}}(a_{\text{м}} + a_{\text{мт}})}{100T_{\text{нм}}} \quad (4.4)$$

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

$M_{\text{м}}$ – масса прицепа, кг;

$a_{\text{м}}, a_{\text{мт}}$ – отчисления на реновацию, текущий ремонт прицепа, %;

$T_{\text{нм}}$ – годовая загрузка прицепа, ч.

Суммарная энергоемкость энергетического средства и прицепа в расчете на один гектар:

$$E_{\text{тм}} = \frac{E_{\text{т}} + E_{\text{м}}}{W_{\text{см}}} \quad (4.5)$$

Совокупные или полные энергозатраты:

$$E_{\text{тп}} = E_{\text{п}} + E_{\text{ж}} + E_{\text{тм}} \quad (4.6)$$

Экономия полных энергозатрат:

$$\Delta E_{\text{тп}} = E_{\text{тпн}} - E_{\text{тпб}} \quad (4.7)$$

где $E_{\text{тпн}}$ – совокупные энергозатраты новой машины, МДж/га;

$E_{\text{тнб}}$ – совокупные энергозатраты базовой машины, МДж/га.

Используя приведенную методику, произведем расчеты эффективности использования автомобиля КамАЗ-4350 с перераспределяющим устройством и серийного автомобиля КамАЗ-4350.

Составляющие топливо-энергетической оценки использования автомобиля КамАЗ-4350 на перевозке зерновых культур будут равны.

Для серийного варианта:

1. $E_{\text{п}} = 0,29 \times (42,7 + 10) = 15,283 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$
2. $E_{\text{ж}} = 1 \times 1,26 / 196 = 0,006 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$
3. $E_{\text{т}} = 0,406 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$
4. $E_{\text{тп}} = 15,283 + 0,006 + 0,406 = 15,695 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$

Для экспериментального автомобиля на арочных шинах:

1. $E_{\text{п}} = 0,26 \times (42,7 + 10) = 13,702 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$
2. $E_{\text{ж}} = 1 \times 1,26 / 289 = 0,004 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$
3. $E_{\text{т}} = 0,275 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$
4. $E_{\text{тп}} = 13,702 + 0,004 + 0,275 = 13,981 \text{ МДж/т} \cdot \text{км}$

Полученные данные занесены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Энергетическая оценка использования автомобиля КАМАЗ-4350 на вывозе зерновых культур

Показатели	В МДж/т·км	
	Серийный КамАЗ-4350	Экспериментальный КамАЗ-4350
Прямые затраты труда	15,283	13,702
Затраты живого труда	0,006	0,004
Удельная энергоемкость	0,406	0,275
Полные энергозатраты	15,695	13,981
Экономия полных энергозатрат	–	1,714
Экономия полных энергозатрат за один рабочий день	–	495,346

Таким образом, на уборке зерновых культур серийный КамАЗ-4350 может обслужить один комбайн объемом 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 объемом бункера 6 м³. 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 крестьянских (фермерских) хозяйствах на уборке используют, как минимум два комбайна, учитывая нагрузку на один комбайн в пределах 750 га посевной площади.

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 обстоятельств предлагается использовать на вывозе урожая с полей модернизированный автомобиль КамАЗ-4350 (с догружающим модулем для грузового автомобиля) на арочных шинах с прицепом 2ПН-4М, также на арочных шинах. Это позволит вместо автомобиля использовать прицеп, что даст значительное снижение энергозатрат на одну езду. Энергозатраты на один прицеп в таком случае составят 0,171 МДж/т·км.

Аналогичные результаты получены и на перевозке урожая сои с поля (табл. 4.2).

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

4 Топливо-энергетическая и экономическая оценка проведенных исследований

Таблица 4.2 – Энергетическая оценка использования автомобиля КАМАЗ-4350 на вывозе сои

Показатели	В Мдж/т·км	
	Серийный КамАЗ-4350	Экспериментальный КамАЗ-4350
Прямые затраты труда	15,142	13,623
Затраты живого труда	0,006	0,004
Удельная энергоемкость	0,407	0,281
Полные энергозатраты	15,555	13,908
Экономия полных энергозатрат	–	1,642
Экономия полных энергозатрат за один рабочий день	–	489,316

1) на вывозе зерновых культур – 495,346 МДж/ т·км за один рабочий день, что обеспечивает экономию в энергетическом эквиваленте дизельного топлива в количестве 11,48 литров; в денежном эквиваленте при учете стоимости дизельного топлива на период осень 2021 года (52,99 рубля), общая экономия денежных средств составит 608,33 руб.

2) на вывозе сои – 489,316 МДж/ т·км за один рабочий день, что соответствует 11,34 литра дизельного топлива или 600,1 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенных 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 полноприводных автомобилей.

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

3. Теоретически обосновано и экспериментально проверено, что постановка догружающего модуля позволяет повысить сцепной вес, приходящийся на задние колеса автомобиля, от 45,5 до 55,45 кН, за счет его перераспределения с переднего моста прицепа. При этом произошло снижение сцепного веса, приходящегося на передние колеса автомобиля, на 4,8 %, что не повлияет на управляемость автомобиля. Как показали исследования, с повышением сцепного веса с 2 до 12 кН, 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 – 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 – 0,07–0,08 м. После прохода по полю автомобиля на арочных шинах и прицепа с установленными арочными шинами глубина колеи достигала 0,10–0,12 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, что в денежном эквиваленте составляет 608,33 руб., а на вывозе сои соответственно 489,316 МДж/т·км или 600,1 руб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильный поезд и безопасность движения / под ред. Я. Х. Закина. М. : Транспорт, 1991. 126 с.
2. Автодиспетчер.ру : [сайт]. URL: www.avtodispatcher.ru (дата обращения: 10.05.2023).
3. Агейкин А. С. Проходимость автомобилей. М. : Машиностроение, 1981. 27 с.
4. Алдошин Н. В. Анализ составляющих эксплуатационного времени при помощи дискретных математических моделей // Эксплуатационная обеспеченность интенсивных технологических процессов в растениеводстве : сб. науч. тр. М. : Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства, 1988. С. 98–104.
5. Алдошин Н. В., Егоров Р. В. Оптимизация транспортных процессов : учебное пособие. М. : Московский государственный агроинженерный университет, 2011. 40 с.
6. Алдошин Н. В., Пехутов А. С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 4. С. 26–27.
7. Амурстат. Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Амурской области : [сайт]. URL: <https://amurstat.gks.ru> (дата обращения: 12.05.2023).
8. Антонов Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. М. : Машиностроение, 1978. 216 с.
9. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин : учебник. М. : Наука, 1988. 639 с.
10. Асманкин Е. М., Тарасова С. В., Шахов В. А. Обоснование способа теоретического исследования траекторальной устойчивости мобильных

энергетических средств в условиях склонного земледелия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 5. С. 8–13.

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

12. Бахмутов С. В. Научные основы параметрической оптимизации автомобиля по критериям управляемости и устойчивости : дис. ... докт. техн. наук. М., 2001. 350 с.

13. Бируля А. К. Исследование взаимодействия колес с поверхностью качения, как основа оценки проходимости // Проблемы повышения проходимости колесных машин. М. : Издательство Академии наук СССР, 1959. С. 11–118.

14. Бирюков А. Л. Методика проведения научных исследований : учебно-методическое пособие. Вологда : Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, 2015. 41 с.

15. Бочаров А. В. Повышение тягово-сцепных свойств прицепного транспортного агрегата за счет автоматической гидродогрузки задних колес трактора : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Воронеж, 2000. 21 с.

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

17. Вольская Н. С., Агейкин Я. С., Чичекин И. В. Методика определения глубины колеи под колесами многоосной машины с учетом физико-механического состояния грунта // Журнал автомобильных инженеров. 2013. № 2 (79). С. 22–25.

18. Вторников А. С., Щитов С. В., Евдокимов В. Г. Результаты исследований по повышению эффективности использования колесных энергетических средств на почвах с низкой несущей способностью // АгроЭкоИнфо. 2021. № 6 (48).

19. Гамаюнов А. М., Алексеев С. А. Повышение эффективности использования тракторного поезда с использованием параметрической оптимизации

универсального тягово-сцепного устройства // Научное обозрение. 2013. № 5. С. 33–35.

20. Гапич Д. С. Стабилизация режимов нагружения колесных машинно-тракторных агрегатов : дис. ... докт. техн. наук. Волгоград, 2014. 343 с.

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

22. Горшков Ю. Г. Обоснование безопасной скорости движения колесных машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2002. № 12. С. 27–30.

23. Горшков Ю. Г. Повышение тягово-сцепных свойств колесных машин в тяжелых дорожных условиях // Вестник Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. №3 (47).

24. Горячкин В. П. Собрание сочинений в 3-х томах. Том 2. М. : Колос, 1968. 455 с.

25. Государственная инспекция по контролю за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники Амурской области // Правительство Амурской области. URL: <https://www.amurobl.ru> (дата обращения: 12.09.2022).

26. Государственный мониторинг земель // Росреестр. URL: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/gosudarstvennyy-monitoring-zemel> (дата обращения: 12.05.2023).

27. ГОСТ 12.2.002–91. Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. М. : Издательство стандартов, 2001. 93 с.

28. ГОСТ Р 52051–2003. Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения // Техэксперт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032017> (дата обращения: 12.05.2023).

-
29. ГОСТ 20915–2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М. : Стандартинформ, 2020. 23 с.
30. ГОСТ Р 54784–2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров // Техэксперт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089620> (дата обращения: 12.05.2023).
31. Гребнев В. П., Бочаров А. В. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колеса тракторного транспортного агрегата // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. № 7. С. 5–7.
32. 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.
33. Гуськов Ю. А. Проектирование транспортно-технологических процессов в земледелии Сибири : монография. Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2013. 152 с.
34. Гуськов Ю. А. Рациональные технологические схемы и технические средства для сбора и транспортировки грубых кормов : монография. Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2006. 150 с.
35. Демин Е. Е., Левченко Г. В., Хакимзянов Р. Р. Транспорт в сельскохозяйственном производстве : учебное пособие. Саратов : Саратовский государственный аграрный университет, 2005. 135 с.
36. Донато И. О. Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения проходимости колесных машин по снегу : дис. ... докт. техн. наук. Нижний Новгород, 2007. 306 с.
37. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
38. Жадик П. В., Жадик А. В., Лустенков М. Е. Автоматический корректор вертикальных нагрузок по буксованию // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 4. С. 24–25.

39. Загородний Н. А. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей обеспечением рациональных значений эксплуатационных параметров их шин : дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2010. 152 с.
40. Зангиев А. А., Лышко Г. П., Скороходов А. Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. М. : Колос, 1996. 320 с.
41. Иванов А. Л. Актуальные задачи научно-технологического сопровождения современного земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства в Российской Федерации // Модели и технологии оптимизации земледелия. Курск, 2003. С. 3–25.
42. Измайлов А. Ю., Евтушенков Н. Е. Развитие транспорта в сельском хозяйстве // Техника в сельском хозяйстве. 2006. № 1. С. 3–4.
43. Иофинов С. А., Цырин А. А. Эксплуатация тракторов и автомобилей на транспортных работах в сельском хозяйстве. Л. : Колос, 1975. 228 с.
44. Кривуца З. Ф. Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения АПК Амурской области : дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 2015. 362 с.
45. Ксенович И. П., Гоберман В. А., Гоберман Л. А. Наземные тягово-транспортные системы [в 3 т.]. Т. 1. Введение в теорию и методологию исследования наземных тягово-транспортных систем. М. : Машиностроение, 2003. 743 с.
46. Ксенович И. П., Гоберман В. А., Гоберман Л. А. Наземные тягово-транспортные системы [в 3 т.]. Т. 2. Аспекты технико-эргономического и экологического проектирования и конструирования наземных тягово-транспортных систем. М. : Машиностроение, 2003. 872 с.
47. Кутьков Г. М. Теория трактора и автомобиля. М. : Колос, 1996. 287 с.
48. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельско-

хозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.

49. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Поликутина Е. С. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колесных мобильных энергетических средств : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. 148 с.

50. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. М. : Транспорт, 1990. 272 с.

51. Курасов В. С., Трубилин Е. И., Тлишев А. И. Тракторы и автомобили, применяемые в сельском хозяйстве : учебное пособие. Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2011. 132 с.

52. Кушнир В. Г., Гаврилов Н. В., Макулова С. С. Пути повышения тягово-сцепных свойств картофелеуборочных агрегатов // Интеллект, идея, инновация. 2017. № 2. С. 289–294.

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

54. Ларин В. В. Зависимости вертикальной деформации пневматических шин // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 12 (24).

55. Лейбович М. В., Иванов Н. А. Устойчивость легкого колесного вездехода при движении по наклонной поверхности // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2013. № 1 (28). С. 93–100.

56. Мамаев А. Н., Алепин Е. А. Определение размеров площадки контакта и прогиба колеса с резиновой шиной при статическом прижатии колеса к жесткому основанию // Машиноведение : сб. науч. тр. Челябинск, 1980. С. 82–85.

57. Мамити Г. И., Плиев С. Х. Устойчивость колесного трактора и автомобиля : монография. Владикавказ : Мавр, 2013. 152 с.

58. Мамити Г. И., Плиев С. Х., Тедеев В. Б. Устойчивость автомобиля и

низкоклиренсного колесного трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 12. С. 20–23.

59. Марков С. Н., Гончарук А. И., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Повышение проходимости колесных энергетических средств при недостаточных тягово-сцепных свойствах // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 160–164.

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

61. Машины и оборудование для сельскохозяйственного производства : фактографическая база данных // Росинформагротех. URL: <https://rosinformagrotech.ru/db/faktograficheskaya-bd-mashiny-i-oborudovanie-dlya-s-kh-proizvodstva> (дата обращения: 12.05.2023).

62. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Часть 1. М., 1998. 217 с.

63. Методика топливно-энергетической оценки производства продукции растениеводства. М. : ВИМ, 2012. 84 с.

64. Методические рекомендации по определению показателей энергоемкости производства сельскохозяйственной продукции. М. : Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, 1990. 93 с.

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

66. Министерство сельского хозяйства Амурской области : [сайт]. URL: <https://www.agroamur.ru> (дата обращения: 12.05.2023).

67. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации : [сайт]. URL: <https://mcx.gov.ru> (дата обращения: 12.05.2023).

68. Мирошниченко А. Н. Основы теории автомобиля и трактора : учебное пособие. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. 490 с.

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

70. Напольский Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания : учебник. М. : Транспорт, 1985. 231 с.

71. Низкий С. Е., Муратов А. А. Залежные земли Амурской области: сукцессии и ресурсы : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2016. 266 с.

72. Новожилов А. И. Повышение эффективности механизированных технологических комплексов в растениеводстве с учетом сезонных условий их использования : дис. ... докт. техн. наук. Нижний Новгород, 2011. 378 с.

73. Овечкин С. Л., Свиридов Е. В. Перспективы повышения поперечной устойчивости автомобильной техники // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2014. Т. 1. С. 188–191.

74. ОНТП–01–91. РД 3107938–0176–91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта. М. : Росавтотранс, 1991. 76 с.

75. Осепчугов В. В. О влиянии двухосных прицепов. Конструктивные исследования, испытания автомобилей. М., 1956. 211 с.

76. Певзнер Я. М. Теория устойчивости. М. : Машгиз, 1947. 156 с.

77. Перечень неисправностей и условий, при которых запрещается эксплуатация транспортных средств : постановление Правительства Российской

Федерации от 21.02.2002 № 127 // Консультант Плюс. URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_35626/f7b2114f4e982f074aea9264d8bd9b744b3497df/

(дата обращения: 12.05.2023).

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

79. Поддубный В. И. Повышение эффективности использования колесных мобильных машин в АПК на основе улучшения их устойчивости и управляемости : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Барнаул, 2011. 34 с.

80. Подригало М. А., Полянский А. С., Клец Д. М. Оценка устойчивости против опрокидывания колесной машины с учетом влияния поддрессоренных масс // Механика и машинное оборудование. 2012. № 1. С. 65–70.

81. Поливаев О. И., Гребнев В. П., Ворохобин А. В. Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства : учебник. Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет, 2014. 319 с.

82. Поликутина Е. С. Повышение эффективности использования и снижение техногенного воздействия на почву средств механизации на полевых и транспортных работах : дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2018. 133 с.

83. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. М. : Транспорт, 1986. 73 с.

84. Посыпанов Г. С., Долгодворов В. Е. Энергетическая оценка экологии возделывания полевых культур : монография. М. : Московская сельскохозяйственная академия, 1995. 327 с.

85. Правила эксплуатации автомобильных шин : распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 21.02.2004 № АК-9-р // Гарант. URL: <http://base.garant.ru/6149003/> (дата обращения: 12.09.2021).

86. Прочность, устойчивость, колебания : справочник / под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. М. : Машиностроение, 1986. 438 с.

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

88. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615824 Российская Федерация. Программа расчета поперечной устойчивости и условий догружения энергетического средства на склоновых поверхностях : № 2020613127 : заявл. 19.03.2020 : опубл. 03.06.2020 / Щитов С. В., Кузнецова О. А., Марков С. Н., Вторников А. С. Бюл. № 6.

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

90. Система земледелия Амурской области / под ред. В. А. Тильба. Благовещенск : Приамурье, 2003. 302 с.

91. Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2011–2015 гг. / под ред. И. В. Бумбара. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2011. 263 с.

92. Скотников В. А., Маценский А. А., Солонский А. С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М. : Агропромиздат, 1986. 383 с.

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

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

95. Смильский В. В. Эффективность различных типоразмеров шин сель-

скохозяйственного назначения // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы междунар. науч.-техн. конф. Минск : Научно-производственный центр Национальной академии наук Республики Беларусь по механизации сельского хозяйства, 2014. С. 97–102.

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

97. Стратегия устойчивого развития сельских территорий до 2030 года : постановление Правительства Российской Федерации от 02.02.2015 № 151-р // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70761426/> (дата обращения: 02.09.2021).

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

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

100. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник / по ред. Е. С. Кузнецова. М. : Наука, 2001. 535 с.

101. Трепененков И. И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. М. : Машгиз, 1963. 224 с.

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

103. Фаробин Я. Е., Овчаров В. А., Кравцова В. А. Теория движения специализированного подвижного состава : учебное пособие. Воронеж : Воронежский государственный университет, 1981. 160 с.

104. Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 12.05.2023).

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

106. Щитов С. В. Влияние перераспределения сцепного веса между мостами трактора на ширину захвата, буксование и производительность машинно-тракторного агрегата // АгроЭкоИнфо. 2017. № 1 (27).

107. Щитов С. В. Пути повышения агротехнической проходимости колесных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока : дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 2009. 325 с.

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

109. Ateheme P. AGRIP des tracteurs 4×4 pour exploitation forestiere // Foret privee. 2001. No. 262. P. 230–231.

110. Kromholz K. Fahrmechanische Betrachtungen zum Feldhacksl ereinsatz am Hang // Deutsche Agrartechnik. 1964. No. 7. P. 310–314.

111. Macmillan R. H. The mechanics of tractor. University of Melbourne : Implement Performance, 2002.

112. Miller M. P., Singer M. J., Nielsen D. R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills // American Journal of Soil Science. 1988. Vol. 52. No. 4. P. 1133–1141.

113. Pyndak V. I., Fomin S. D., Dyashkin A. V. Complex indicators of efficiency in improvements of agricultural machinery // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 2. С. 81–83.

114. Schertz D. L. Conservation tillage: an analysis of acreage projections in the United States // Journal Soil and Water Conservation. 1988. Vol. 43. No. 3. P. 256–258.

115. Shchitov S. V., Bumbar I. V., Sennikov V. A., Sennikova N. N., Prisyazhnaya S. P., Kuznetsov E. E. Research of the influence of the hook load of the unstable character on the operating indicators of the energy means // Journal of

Mechanical Engineering Research and Developments. 2018. No. 41 (3). P. 47–50.

116. Shekhovtsov V. V., Sokolov-Dobrev N. S., Potapov P. V. Decreasing of the dynamic loading of tractor transmission by means of change of the reactive element torsional stiffness // *Procedia Engineering: International Conference on Industrial Engineering*, 2016. P. 1239–1244.

117. Tajanowskij G., Tanas W., Pawlowski T. Distribution of loadings in transmission of traction power means with all driving wheels and with system of pumping of tires at work with mounted instruments // *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2007. Vol. 52. No. 2. P. 30–34.

118. Wanki Ch., Jaewoong Ch., Chongkap K., Seibum Ch., Kyongsu Yi. Unified chassis control for the improvement of agility, maneuverability, and lateral stability // *Transactions on Vehicular Technology*. 2012. Vol. 61. No. 3. P. 1008–1029.

119. Wilkins D. E., Klepper B. L., Rasmussen P. E. Management of grain stubble for conservation-tillage systems // *Soil and Tillage Research*. 1988. Vol. 12. No. 1. P. 25–35.

120. Winkler C. B., Ervin R. D. Rollover of heavy commercial vehicles. Michigan : University of Michigan, 1999. 60 p.

Научное издание

Марков Сергей Николаевич, кандидат технических наук
Кузнецов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, доцент
Щитов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор
Кривуца Зоя Федоровна, доктор технических наук, доцент

**МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
УБОРОЧНЫХ РАБОТ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Монография

Подписано в печать 11.03.2024 г.
Формат 60х90/16. Усл. печ. л. – 9,28.
Тираж 500 экз. Заказ 71.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии
Дальневосточного государственного
аграрного университета
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86