

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»

На правах рукописи



Соловьев Евгений Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВО-ДОГРУЗОЧНОГО
УСТРОЙСТВА К ТРАКТОРНОМУ ПРИЦЕПУ**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – профессор,
доктор технических наук
Скурятин Николай Филиппович

Белгород – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Состояние вопроса и задачи исследования.....	9
1.1 Технологические схемы ТТА и их анализ.....	9
1.2 Технические решения по догрузке трактора со стороны прицепа и их анализ.....	17
1.3 Результаты исследований распределения веса ТТА по опорам.....	25
1.4 Выводы.....	35
2 Исследование распределения веса прицепного ТТА по его опорам.....	37
2.1 Определение допустимой вертикальной нагрузки на гидронавеску трактора со стороны прицепа.....	37
2.2 Разработка конструктивно-технологической схемы ТДУ к прицепу.....	42
2.3 Схема движения прицепного ТТА с ТДУ по пересеченной местности.....	44
2.4 Исследование силовых параметров ТДУ к прицепу.....	51
2.5 Определение рациональной грузоподъемности тракторного прицепа, оснащенного ТДУ.....	62
2.6 Исследование влияния ТДУ к прицепу на распределение его веса по опорам.....	59
2.7 Выводы.....	63
3 Методика проведения экспериментальных исследований.....	65
3.1 Выбор объекта исследования.....	65
3.2 Методика определения высоты неровностей, преодолеваемых прицепным ТТА.....	66
3.3 Определение буксования движителей трактора.....	68
3.4 Определение часового расхода топлива трактора.....	73
3.5 Методика определения распределения веса прицепа, оснащенного ТДУ, по его опорам.....	77

3.6 Оценка условий проведения эксперимента.....	80
4 Определение силовых и кинематических параметров прицепного ТТА с ТДУ.....	83
4.1 Определение кинематических параметров ТДУ к прицепу.....	83
4.2 Выбор параметров ТДУ, обеспечивающих допустимую догрузку трактора.....	86
4.3 Результаты экспериментальных исследований и их анализ.....	87
4.3.1 Лабораторные исследования влияния ТДУ на распределения веса прицепа по опорам.....	87
4.3.2 Оценка буксования и топливной экономичности базового и предложенного вариантов ТТА.....	89
4.4 Выводы.....	90
5 Техничко-экономическая оценка использования прицепного ТТА с ТДУ.....	92
5.1 Определение производительности прицепного ТТА.....	92
5.2 Расчет экономической эффективности использования прицепного ТТА.....	95
Заключение.....	101
Список литературы.....	103
Приложения.....	117

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Затраты труда и средств на транспортные работы составляют около 40 % от общих при возделывании сельскохозяйственных культур [42, 43]. Удельный вес перевозок тракторным транспортом составляет 50...60 % от общего объема внутрихозяйственных перевозок.

Наибольшее распространение по сравнению с седельной и полуприцепной схемой компоновки тракторных транспортных агрегатов получила прицепная, она отличается простотой агрегатирования и не зависит от конструкции ходовой и несущей части трактора.

Недостатком прицепной схемы агрегата являются его низкие сцепные свойства, что не позволяет достичь высокой степени загрузки двигателя трактора. Это особенно заметно при постоянно возрастающей мощности двигателей тракторов, степень загрузки которой на транспортных работах не превышает 75 % [43].

Поэтому большое народнохозяйственное значение приобретает повышение эффективности использования прицепных тракторных транспортных агрегатов (ТТА), для чего надо усовершенствовать тягово-догрузочное устройство (ТДУ) и исследовать распределение веса агрегата, оснащенного усовершенствованным ТДУ, по его опорам.

Работа выполнялась в соответствии с планом научно-исследовательской работы и внутренним грантом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина».

Степень разработанности темы. Значительный вклад в развитие проблемы повышения грузоподъемности и улучшение тягово-сцепных свойств тракторов и сельскохозяйственных машин сделали известные ученые: Гребнев В.П., Ворохобин А.В., Щитов С.В., Охотников Б.Л., Скурятин Н.Ф., Кутьков Г.М.,

Ксенович И.П., Завалишин Ф.С., Горшков Ю.Г., Атаманов Ю.Е., Волощенко А.Е., Гуськов Ю.А., Евтюшенков Н.Е., Егоров В.Н., Мацнев М.Г. и др.

В результате анализа литературных источников установлено, что предлагаемые технические решения по передачи части веса прицепа на прицепное устройство трактора малоэффективны из-за возникающей опасности ухудшения управляемости, необходимости изменения или включения дополнительных узлов к гидронавески трактора или дышлу прицепа, отсутствия возможности регулирования перераспределения части веса прицепа на гидронавеску трактора. Таким образом, устранение вышеотмеченных недостатков возможно при разработке нового технического решения по догрузке трактора со стороны прицепа, где сила сопротивления передвижению прицепа будет использоваться в качестве догружающей.

Цель исследований – повышение эффективности использования прицепного ТТА путем применения ТДУ к прицепу.

В соответствии с целью поставлены следующие **задачи исследования**:

- разработать новое техническое решение по догрузке трактора со стороны прицепа;
- разработать аналитические зависимости распределения веса прицепа, оснащенного предложенным ТДУ, по его опорам;
- теоретически обосновать параметры ТДУ к прицепу и его рациональную грузоподъемность;
- провести лабораторные и полевые испытания ТТА с ТДУ для подтверждения теоретических положений.

Объект исследований – прицепной тракторный транспортный агрегат.

Предмет исследований – закономерности распределения веса прицепного ТТА с ТДУ по его опорам.

Научную новизну диссертационной работы составляют:

- новое техническое решение по догрузке гидронавески трактора со стороны прицепа (патент России № 2497706 [95]);

- аналитические зависимости распределения веса прицепа, оснащенного предложенным ТДУ, по его опорам;
- зависимость рациональной грузоподъемности прицепа, учитывающая изменение условия эксплуатации ТТА и конструктивные параметры ТДУ;
- зависимости для определения основных конструктивных параметров ТДУ.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты теоретических исследований позволяют: определить догрузку гидронавески трактора со стороны прицепа, исключая ухудшение управляемости трактором, установить величину перегрузки задней оси прицепа и наметить пути ее исключения, найти рациональную грузоподъемность прицепного ТТА, обеспечивающую повышение его эффективности, обосновать основные геометрические параметры ТДУ, позволяющие использовать ТТА по пересеченной местности.

Практическая значимость выполненных исследований подтверждена использованием ТТА с ТДУ в условиях УНИЦ «Агротехнопарк» БелГАУ им. В.Я. Горина.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования распределения веса прицепа, оснащенного предложенным ТДУ, по его опорам и гидронавеску трактора проводили на основе математического моделирования с использованием законов теоретической механики.

Сравнительную оценку буксования трактора и топливную экономичность двигателя проводили на агрегате в составе: трактор – МТЗ-80, прицеп – 2ПТС-4 без ТДУ и с ТДУ при движении с грузом и в холостую на фоне – поле подготовленное под посев и грунтовой дороге. Плотность вероятностей высоты неровностей, преодолеваемых агрегатом, установили по экспериментальным данным, полученным на выездах с поля на грунтовые и профилированные дороги. Данные экспериментальных исследований обрабатывали статистическими методами. Техничко-экономическую оценку применения прицепного ТТА с ТДУ определили по принятой методике с использованием результатов, полученных при проведении испытаний прицепных ТТА.

На защиту выносятся:

- конструктивно-технологическая схема ТДУ к прицепу, позволяющая использовать крюковую силу в качестве догружающей;
- аналитические зависимости распределения веса прицепного ТТА, оснащенного ТДУ, по его опорам, позволяющие установить величину догрузки гидронавески трактора, нагрузку на передние и задние оси прицепа в зависимости от крюкового усилия и конструктивных параметров ТДУ;
- зависимость, позволяющая определить рациональную грузоподъемность прицепного ТТА;
- зависимости, позволяющие определить основные конструктивные параметры ТДУ.

Личный вклад автора. Автору принадлежит постановка проблемы и разработка программы исследований, а также непосредственное участие в разработке конструктивно-технологической схемы тягово-догрузочного устройства к прицепу, составлении заявок на предполагаемые изобретения, в разработке конструкторской документации ТДУ к прицепу, проведении лабораторных и полевых испытаний прицепных ТТА, в условиях кафедры «Технический сервис» в АПК и опытного поля ФГБОУ ВО БелГАУ им. В.Я. Горина, обработки результатов экспериментальных данных и их анализе, написании статей в журналы и сборники. Сделанные в диссертации выводы и практические рекомендации конкретны и обоснованы.

Реализация результатов исследований. Опытный образец ТДУ, установленный на прицеп 2ПТС-4, используется в УНИЦ «Агротехнопарк» БелГАУ им. В.Я. Горина. Отдельные результаты исследований включаются в дипломные проекты студентов инженерного факультета БелГАУ им. В.Я. Горина.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность подтверждена высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а общая средняя ошибка опытов равна 6,2%.

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на международных научно-производственных конференциях (2012-2013гг.) в Белгородском государственном аграрном университете им. В.Я. Горина, на международном форуме аграрной молодежи (2012 г) в Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства им. Петра Василенко, научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (2012 г.) в Воронежском Государственном аграрном университете им. императора Петра I, а также на международной научно-технической конференции (2014г.) в Воронежской государственной лесотехнической академии.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получен патент России на изобретение № 2497706.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка, включающего 110 наименований из них 4 на иностранных языках и 5 электронных сайтов. Диссертация изложена на 116 страницах машинописного текста, включает 2 таблицы, 41 рисунок и 14 приложений.

1 Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Технологические схемы ТГА и их анализ

Для перевозки сельскохозяйственных грузов используются как автомобили транспорт, так и тракторные прицепы и полуприцепы, а также технологические транспортные средства в виде разбрасывателей удобрений [13, 35].

Тракторный транспорт используют преимущественно на базе колесных тракторов, как наиболее приспособленных для транспортных работ. Эффективность применения колесных тракторов на внутрихозяйственных перевозках обосновывается, прежде всего, возможностью их движения как по асфальтированным, так и по грунтовым дорогам. Удельный вес перевозок тракторным транспортом составляет 50-60 % от общего объема внутрихозяйственных перевозок в сельском хозяйстве [4, 5, 20]. Колесные трактора используют на: уборке сахарной свеклы, вывозе навоза с животноводческих ферм, транспортировании соломы и силоса, подвозе семян, внесении удобрений, доставки кормов на животноводческие фермы и т.д. [34, 51].

В последнее время потребители сельскохозяйственных тракторов предпочитают приобретать модели все более высокой мощности [60, 69]. Проведенный анализ технических характеристик выпускаемых тракторов подтверждает возрастание их энергонасыщенности [2, 3, 6, 37].

На современном этапе развития сельского хозяйства существует проблема рационального использования тракторов. При работе двигателя на номинальном скоростном режиме развиваемая им мощность на некоторых сельскохозяйственных операциях используется не полностью [23, 61, 73]. Следовательно недоиспользование мощности приводит к снижению производительности МТА, увеличивается материалоемкость агрегатов и удельного расхода топлива, в итоге уменьшается экономическая эффективность [9, 14, 48, 71, 75, 110].

При работе тракторного транспортного агрегата (ТТА) неизбежно происходит воздействие движителей на почву. Давление движителей машин на почву негативно сказывается на урожайность сельскохозяйственных культур. Практика показывает, что суммарная площадь следов примерно в 2 раза превышает площадь поля, по этой причине недобор урожая достигает 40 % [15, 22, 54, 68, 96]. Существует ГОСТ 26955-86, который ограничивает давление движителей машин на почву, но у современных тракторов значение максимального давления на почву значительно больше допустимого.

Предотвращение негативного воздействия движителей на почву решается по трем направлениям: технологическое, агрономическое и конструкторское [10, 45].

Можно выделить три главных направления решения этой проблемы.

1. Технологическое, заключающееся в разработке рациональных маршрутов движения машин, устройстве постоянных полос для проезда техники, использовании перегрузочной технологии при взаимодействии с транспортными средствами и др. Эти меры широко используются в отечественной практике в последние годы (индустриальные технологии).

2. Агрономическое (касается почв, являющихся сельскохозяйственными угодьями), заключающееся в повышении способности почвы противостоять уплотняющим и сдвигающим нагрузкам и соблюдению качественных показателей при обработке почвы, введении дополнительных операций разуплотнения.

3. Конструкторское, заключающееся в совершенствовании техники и ее движителей, способствующих устранению или снижению негативных воздействий на почву. Благодаря этому направлению почву можно предохранить от переуплотнения, что приведет к сохранению ее потенциального и эффективного плодородия и позволит избежать также излишних затрат энергии на почвообработку, которые в настоящее время весьма значительны.

Конструкторское направление является эффективным средством решения проблемы, поскольку относительно легче (и дешевле) предотвратить

механическое воздействие движителей на почву, чем затем устранять его последствия [57].

При совершенствовании техники и ее движителей часто сталкиваются с проблемой проходимости колесных тракторов [58, 102, 105].

Способы повышения проходимости колесных тракторов неразрывно связаны с улучшением тягово-сцепных свойств. Основными мероприятиями, направленными на улучшение тяговых качеств и проходимости колесных тракторов являются: увеличение сцепной массы; применение рациональных размеров шин и рисунка протектора; установление оптимального давления воздуха в шинах; использование всех колес трактора в качестве ведущих; рациональное распределение по осям эксплуатационной массы; увеличение опорной поверхности и эффективности зацепления ведущих колес (применение дополнительных приспособлений); применение активных прицепов и рабочих органов сельскохозяйственных машин; блокировка дифференциалов ведущих колес [32, 108]. Все эти способы можно классифицировать по следующим признакам (рисунок 1.1):

1. Деление потока мощности двигателя;
2. Изменение сцепного веса трактора;
3. Совершенствование ходовой системы.

Самыми распространёнными способами улучшения тягово-сцепных свойств трактора являются способы, направленные на увеличение сцепной массы.

Увеличение сцепной массы осуществляют навешиванием на ведущие колеса дополнительных грузов, а также заполнение жидкостью шин ведущих колес [40, 52, 53, 100, 109]. Однако эти мероприятия увеличивают, с одной стороны, силу тяги, а с другой – энергию затрачиваемую двигателем на перемещение балласта.



Рисунок 1.1 - Классификация способов улучшения тягово-сцепных свойств колесных тракторов

В нашей стране для транспортирования грузов в сельском хозяйстве используют полуприцепы и прицепы, соединяемые с энергетическими средствами при помощи сцепного устройства, гидрокрюка или седельного устройства. Каждая из указанных компоновочных схем ТГА имеет свои положительные и отрицательные стороны.

Исследованием различных схем агрегатов занимались такие ученые, как Гребнев В.П. [29, 30, 31], Ворохобин А.В. [18, 29, 30, 31], Щитов С.В. [105], Охотников Б.Л. [65, 66, 67], Скурятин Н.Ф. [79, 81, 82], Кутьков Г.М. [56], Ксенович И.П. [51], Завалишин Ф.С. [38], Горшков Ю.Г. [24, 25], Атаманов Ю.Е.

[8], Волощенко А.Е. [16, 17], Гуськов Ю.А. [33], Евтюшенков Н.Е. [35], Егоров В.Н. [36, 65, 67], Мацнев М.Г. [59] и др.

Учитывая взаимосвязь эксплуатационных показателей, таких как: удельные затраты энергии, буксование, производительность, давление шин на почву, производят анализ эффективности различных схем ТТА.

Основу тракторного парка прицепов составляют прицепы общего назначения -70-75%, остальная доля приходится на разбрасыватели органических и минеральных удобрений – 25-30% [46]. Прицепной вариант ТТА наиболее распространен, так как он отличается простотой агрегатирования и не зависит от конструкции ходовой и несущей части трактора. Наибольшая эффективность применения прицепного ТТА достигается при увеличении его сцепного веса.

Исследование работы различных схем тракторного транспорта в труднопроходимых дорожных условиях представлено в работе [17]. Авторами были проведенные исследования эффективности полуприцепного ТТА, агрегируемого посредством гидрокрюка и седельного устройства. При движении седельной схемы агрегата, общей массы 6 т, по снегу буксование трактора достигало 35%, а у трактора соединенного с полуприцепом посредством гидрокрюка – 65%. У трактора, соединенного с полуприцепом посредством седельного устройства, в начальный момент движения происходит отрыв переднего моста от дороги. Связано это с тем, что высота присоединения дышла полуприцепа к трактору 1,4 м, а догрузка от полуприцепа составляет 1т. С увеличением грузоподъемности седельной схемы агрегата, при движении по переувлажненной грунтовой дороге, непрерывно возрастает и производительность, но при общей массе агрегата свыше 9 т рост производительности заметно снижается.

При движении по снегу наибольший рост производительности наблюдается при общей массе агрегата 5,5 т, дальнейшее увеличение массы транспортируемого груза приводит к резкому возрастанию буксования, а в следствии к снижению производительности ТТА.

Также в работе [17] проводились исследования по эффективности прицепного ТТА в труднопроходимых дорожных условиях. При движении по снегу глубиной 40-45 см трактор типа 4Х4 общей массой 3 т при массе груза в прицепе до 5 т, с распределением массы по осям - $1/3$ на переднюю и $2/3$ на заднюю, буксовал полностью. При движении по переувлажненной грунтовой дороге при массе груза 10 т буксование составило 50%. Авторы, оценивая эффективность прицепного ТТА, получили следующие результаты: при массе груза в прицепе более 8 т, при движении по переувлажненной грунтовой дороге, производительность ТТА уменьшается; при движении по снегу снижение производительности ТТА происходит при массе груза свыше 3 т. Объясняется это тем, что при увеличении массы груза в прицепе резко возрастает буксование трактора, а происходит это из-за недостатка сцепного веса.

На основании полученных результатов исследований различных схем ТТА при движении в труднопроходимых дорожных условиях можно сделать вывод, что производительность седельной схемы ТТА выше в сравнении с прицепной схемой ТТА. В свою очередь, грузоподъемность прицепной схемы ТТА лимитируется тягово-сцепными свойствами трактора, а седельной схемы ТТА устойчивостью и управляемостью.

В работе [59] рассматривается движение седельной схемы ТТА на склонах от 3 до 8 градусов, а по показателям управляемости и сцепления с опорной поверхностью определяются предельные значения масс транспортируемого груза. Тяговые качества трактора оцениваются возможностью поворота на подъемах и коэффициентом буксования. Автор рекомендует уменьшить высоту точки соединения машин и сместить ее в базу трактора для улучшения условий управляемости, так как высокое положение седла приводит к созданию опрокидывающего момента от силы тяги. Но стоит отметить, что для трактора ЛТЗ-145 уменьшение высоты точки соединения до значения менее 1,4 м и возможность сдвига точки прицепа вперед более чем на 0,4 м представляется маловероятным из-за конструкции трактора (мешает кабина). Полученные

результаты исследований помогли автору отметить ряд существенных недостатков: сложное присоединение седельного полуприцепа; плохая управляемость и устойчивость седельного варианта; большой по сравнению с гидрокрюком его вес; отсутствие специальных седельных полуприцепов к универсально-пропашным тракторам.

На основании проделанных исследований был сделан вывод, что снижение высоты точки соединения машин и смещение ее в базу трактора приведут к увеличению грузоподъемности агрегата.

Авторы работ [16, 38] указывают на необходимость догрузки трактора весом от полуприцепа. Для проведения исследований был взят ТТА состоящий из трактора Т-5 схемы 4Х4 с колесами одинакового диаметра с седельным полуприцепом 1ПТС-6С. При рассмотрении движения ТТА по полю, подготовленному под посев, начиная с общей массы полуприцепа 5,3 т, догрузка заднего моста трактора полуприцепом приводит к уменьшению буксования и удельных затрат энергии. Так при общей массе груза 10 т минимум затрат энергии будет достигаться при догрузке 2 т. Для полуприцепа общей массой 6 т увеличение догрузки приведет к уменьшению затрат энергии. И только для полуприцепа общей массой 4 т необходимости в догрузке нет, т.к. она влечет за собой незначительное увеличение затрат энергии. Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что снижение буксования и затрат энергии будет наблюдаться при общей массе груза от 5 т до 10 т. Стоит отметить, что показатели будут подобными при движении ТТА по переувлажненной грунтовой дороге.

При движении по снегу тенденция изменения буксования и затрат энергии будет сохраняться, но по сравнению с движением по переувлажненной дороге и полю подготовленному к посеву будет еще более резко выраженная. При общей массе груза 4,5 т и нулевой догрузке наступает полное буксование, а при общей массе полуприцепа 6 т и догрузке трактора 2 т буксование не превышает 35%.

На основании полученных результатов исследования были сделаны следующие выводы: при движении ТТА (в различных по проходимости

дорожных условиях) увеличение догрузки трактора от веса полуприцепа до 2 т способствует улучшению проходимости и снижению удельных энергозатрат; предельная величина догрузки трактора типа Т-5 лимитируется прочностными характеристиками трактора.

Использование полуприцепов, агрегируемых посредством гидрокрюка, позволяет увеличить сцепной вес ТГА за счет догрузки задних колес трактора от дышла полуприцепа и перераспределения веса с передней оси трактора. В результате частичной разгрузки переднего моста может наблюдаться ухудшение управляемости трактора, поэтому нагрузку на гидрокрюк от полуприцепа ограничивают. Например, для тракторов класса 1,4 нагрузка на гидрокрюк трактора составляет 1 т [52, 91]. Кроме того, с ростом грузоподъемности полуприцепного ТГА, в сравнении с прицепным вариантом, увеличивается давление ведущих колес на почву.

Использование седельных полуприцепов позволяет не допустить разгрузку передних колес трактора за счет действия догружающего усилия от полуприцепа. При этом седельное устройство смещают в базу трактора ближе к кабине или размещают над задним мостом. Для этого необходимы тракторы с распределением веса по осям – 1/3 на заднюю, 2/3 на переднюю и со смещенной от заднего моста к кабине. Ввиду особенностей конструкции большинства тракторов реализовать седельную схему ТГА не представляется возможным. Также у седельной схемы ТГА масса транспортируемого груза ограничена из-за высокого положения седла, ведущего к созданию большого опрокидывающего момента. По этим причинам седельная схема ТГА наименее распространена в сельскохозяйственном производстве и используется в основном при транспортировании крупнотоннажных грузов на тракторах класса 3 или на грузовых автомобилях.

Прицепной вариант тракторного транспортного агрегата менее эффективен, так как не осуществляется догрузка трактора, а следовательно исключается

возможность повышения грузоподъемности агрегата и снижение буксования ведущих колес.

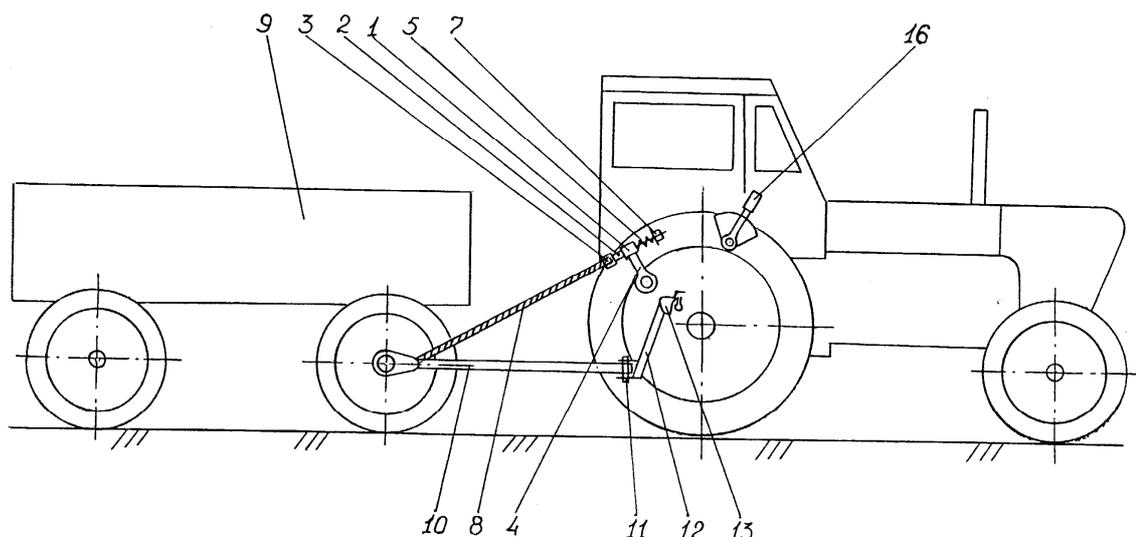
1.2 Технические решения по догрузке трактора со стороны прицепа и их анализ

Как было показано выше наиболее высокие возможности повышения грузоподъемности и управляемости у седельного агрегата, меньшие - у полуприцепного, т.к. увеличение вертикальной нагрузки на прицепное устройство трактора со стороны полуприцепа ограничивается прежде всего устойчивостью и управляемостью на подъемах. Прицепной вариант ТТА менее эффективен, так как не осуществляется догрузка трактора, а следовательно исключается возможность повышения грузоподъемности агрегата и снижение буксования ведущих колес.

С целью повышения эффективности прицепных ТТА предложен ряд тягово-догрузочных средств, рассмотрим их.

Известно устройство для повышения проходимости колесных тракторов при работе с прицепами [98]. Целью создания данного устройства является автоматическое регулирование сцепного веса, приходящегося на задние колеса трактора в зависимости от тягового сопротивления прицепа, снижение колебаний тяговой нагрузки на крюке трактора и улучшение управляемости агрегата.

Устройство содержит траверсу 1 и тягу 2 с роликом 3. Траверса 1 закреплена на подъемных рычагах 4 навесного механизма трактора. Тяга 2 имеет пружину 5 с опорной шайбой б и зафиксирована на траверсе 1 гайкой 7. Через ролик 3 пропущен гибкий элемент (трос) 8, который своими концами закреплён на передней оси прицепа 9. Дышло 10 прицепа соединено с прицепной планкой 11 рычага 12 серьги 13 силового датчика, пружина 14 которого через тягу 15 связана с золотниковым устройством регулятора, управляемого рукояткой 16. Рычаг 12 крепится на серьге 13 двумя пальцами 17.



1 – траверса, 2 – тяга, 3 – ролик, 4 – подъемные рычаги, 5 – пружина, 6 – опорная шайба, 7 – гайка, 8 – гибкий элемент (трос), 9 – передняя ось прицепа, 10 – дышло прицепа, 11 – прицепная планка, 12 – рычаг, 13 – серьга силового датчика, 14 – пружина, 15 – тяга, 16 – рукоятка, 17 – пальцы

Рисунок 1.2 - Общий вид транспортного средства с устройством для повышения проходимости колесных тракторов Патент России № 2137652

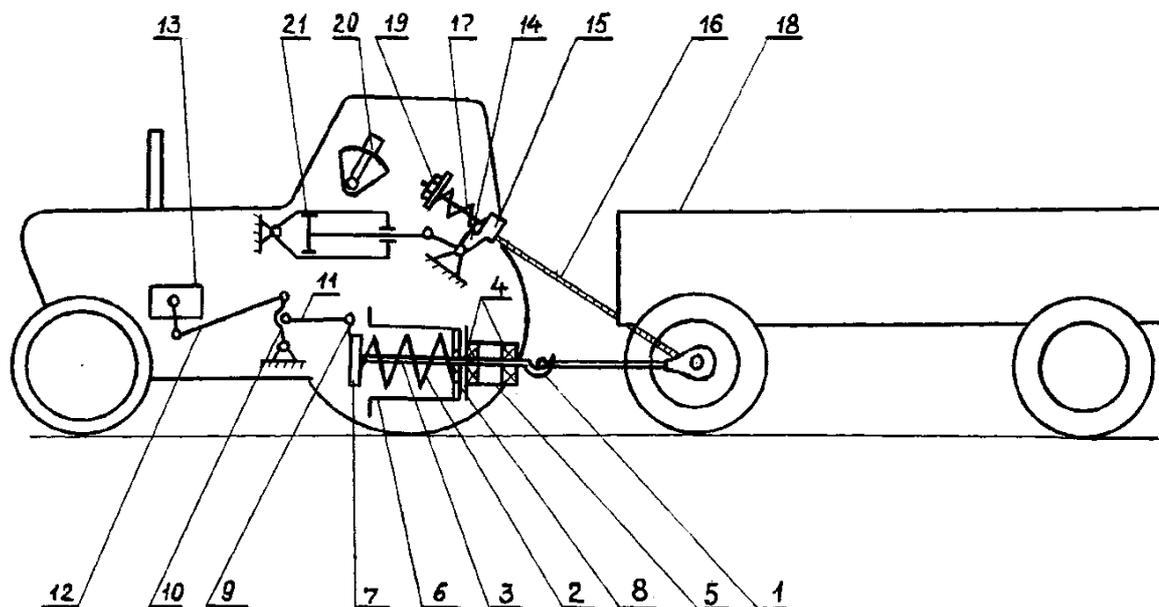
Устройство позволяет обеспечивать одинаковую разгрузку обоих передних колес прицепа, что улучшает управляемость транспортного средства при криволинейном движении, особенно на крутых поворотах.

Недостатком этого устройства является необходимость изменения конструкции гидронавески трактора или дышла прицепа.

Известно устройство для повышения проходимости колесных тракторов при работе с двухосными прицепами [97]. Изобретение относится к колесным тракторам, оборудованным автоматическим силовым регулятором навесной системы, а именно к устройствам для повышения проходимости и производительности колесных тракторов при агрегатировании их с двухосными прицепами. Оно содержит прицепной крюк 1 с пружиной 2. Дышло прицепа шарнирно соединено с прицепным крюком 1, выполненным заодно со штоком 3. Опорами штока являются подшипники качения 4, которые установлены в задней крышке 5 корпуса буксирного устройства 6.

Витая пружина 2 установлена между буфером 7 и упорной шайбой 8, расположенными в корпусе 6. Эта пружина выполняет функции силового датчика, так как шток 3 передним концом кинематически за счет рычагов 9 и 10 и тяг 11 и 12 связан с приводом золотника силового регулятора 13.

Для обеспечения догрузки задних колес трактора на подъемные рычаги 14 его навески установлена поперечная траверса 15, которая имеет гибкую связь (трос 16 с пружиной 17) с балкой переднего моста прицепа 18. Предварительный натяг пружины 17 обеспечивается за счет гайки 19.



1 – прицепной крюк, 2 – пружина, 3 – шток, 4 – подшипники качения, 5 – задняя крышка, 6 – корпус буксирного устройства, 7 – буфер, 8 – упорная шайба, 9,10 – рычаги, 11,12 – тяги, 13 – силовой регулятор, 14 – подъемные рычаги, 15 – поперечная траверса; 16 – трос, 17 – пружина, 18 – прицеп, 19 – гайка, 20 – рукоятка управления, 21 – гидроцилиндр

Рисунок 1.3 - Общий вид транспортного средства с устройством для повышения проходимости колесных тракторов при работе с двухосными прицепами Патент

России № 2190549

Устройством для повышения проходимости колесных тракторов при работе с двухосными прицепами снижается не только буксование задних колес трактора, но и колебание тягового сопротивления прицепа.

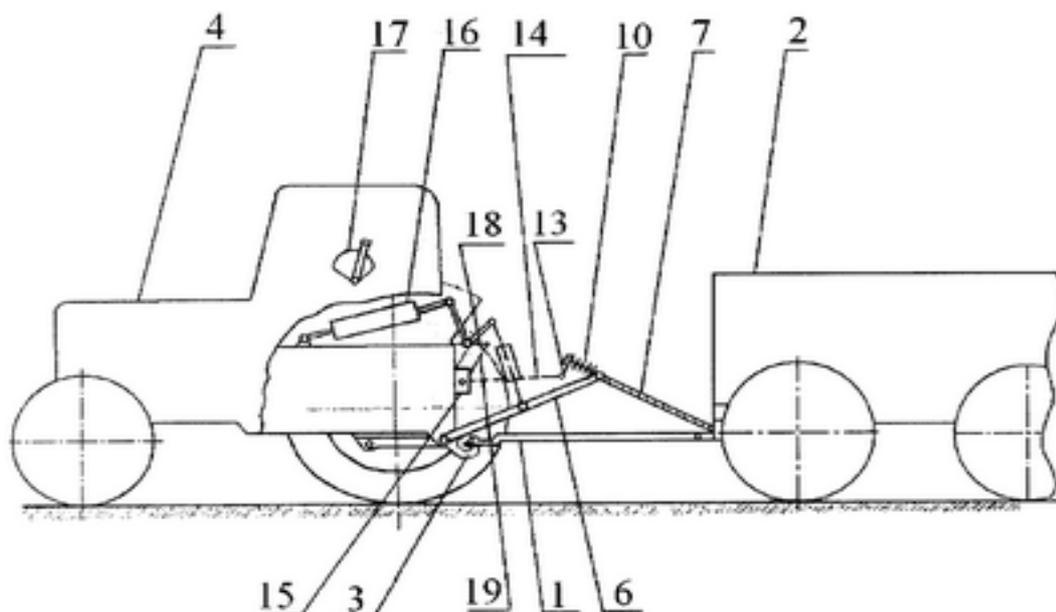
Недостатком этого устройства является значительное снижение управляемости трактора и необходимость изменения конструкции гидронавески трактора.

Известно сцепное устройство для соединения колесного трактора с прицепом [92]. Цель изобретения - создание устройства, позволяющего улучшить проходимость трактора при работе с двухосным прицепом за счет автоматического регулирования силы натяжения и угла наклона к горизонту гибкой силовой связи этого трактора с прицепом. Изобретение относится к колесному трактору, оборудованному позиционно-силовым регулятором навески, а именно к сцепным устройствам для соединения этого трактора с двухосным прицепом.

Устройство содержит жесткую силовую связь, соединяющую дышло 1 прицепа 2 с гидрокрюком 3 трактора 4 и гибкую силовую связь, соединяющую поперечину 5 нижних продольных тяг 6 навески трактора 4 с передней осью прицепа 2. Гибкая силовая связь поперечины 5 с передней осью прицепа 2 образована тросом 7, пропущенным через ролик 8. Ролик 8 закреплен на тяге 9, связанной с поперечиной 5 через пружину 10, которая имеет опорную шайбу 11 и зафиксирована на поперечине 5 гайкой 12. Пружина 10 через соединительное звено 13 и обратную связь 14 связана с силовым регулятором 15, который соединен с гидроцилиндром 16.

Управление регулятором 15 осуществляет рукоятка 17 его настройки. Поперечина 5 кинематически соединена с датчиком 18, связанным через обратную связь 19 с позиционным регулятором 15. Обратные связи 14 и 19 могут быть механического или электрического типа в зависимости от типа позиционно-силового регулятора.

Применение предлагаемого устройства способствует снижению буксования задних ведущих колес трактора, что ведет к улучшению его проходимости при работе с двухосным прицепом, увеличению грузоперевозок и улучшению управляемости рассматриваемого трактора.



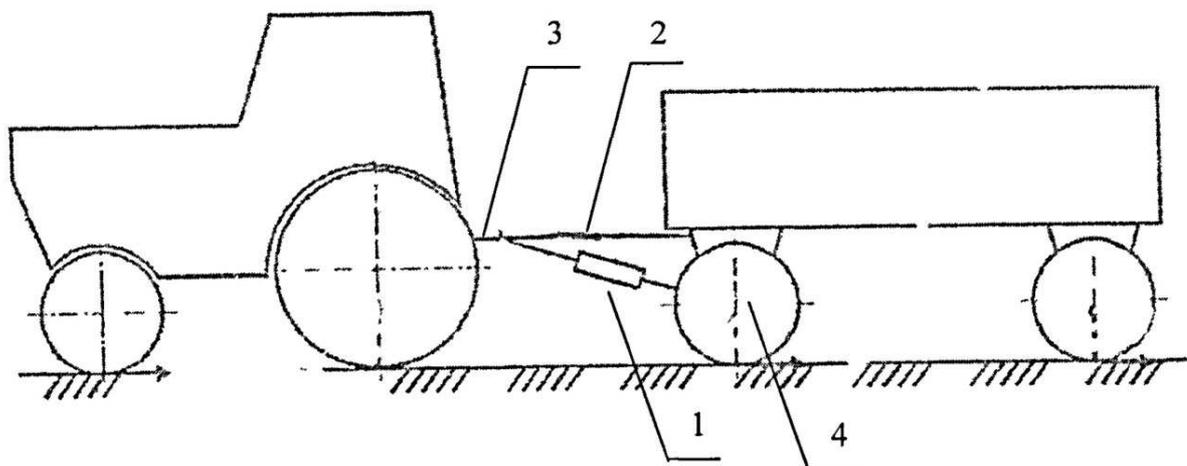
1 – дышло, 2 – прицеп, 3 – гидрокрюк, 4 – трактор, 5 – поперечина, 6 – продольные тяги навески трактора, 7 – трос, 8 – ролик, 9 – тяга, 10 – пружина, 11 – опорная шайба, 12 – гайка, 13 – соединительное звено, 14, 19 – обратная связь, 15 – силовой регулятор, 16 – гидроцилиндр, 17 – рукоятка, 18 – датчик

Рисунок 1.4 - Общий вид колесного трактора с прицепом, оснащенный сцепным устройством Патент России №2297938

Недостатком этого устройства является то, что из-за высокого расположения поперечины, к которой крепится траверса, происходит резкая разгрузка передних колес трактора.

Известно вспомогательное устройство – автоматический корректор сцепного веса колесных тракторов при их агрегатировании с двухосными прицепами [19]. Вспомогательное устройство - автоматический корректор сцепного веса колесных тракторов при их агрегатировании с двухосными прицепами, содержащее жесткую силовую связь, соединяющую дышло прицепа со сцепным устройством трактора, датчики буксования и распределения усилий и дополнительный гидроцилиндр, отличающееся тем, что дополнительный гидроцилиндр установлен под дышлом прицепа между сцепным устройством трактора и мостом (балкой) прицепа, дополнительный гидроцилиндр соединен с основной гидравлической системой трактора соединительными гидравлическими

шлангами, а датчики буксования и распределения усилий установлены на ведущих колесах задней оси трактора.



1 – автоматический корректор сцепного веса, 2 – дышло прицепа, 3 – сцепное устройство трактора, 4 – задняя ось прицепа

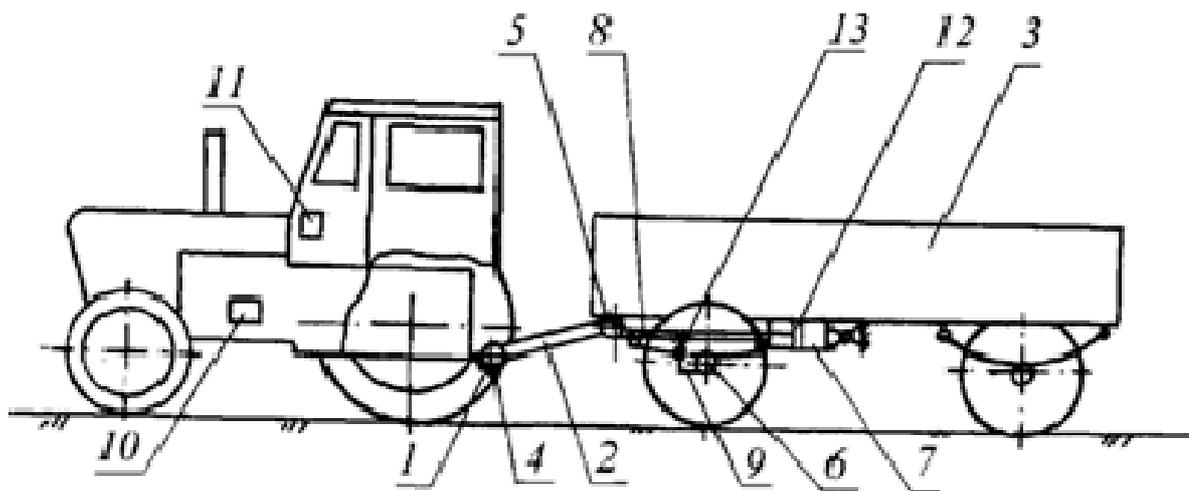
Рисунок 1.5 - Общий вид колесного трактора с прицепом, оснащенным автоматическим корректором сцепного веса Полезная модель №132414

Недостатком этого устройства является расположение предложенного тягового элемента под острым углом к дышлу прицепа, что требует больших усилий для передачи догружающей трактор силы и заставляет работать гидроцилиндр в нерациональном режиме.

Известно устройство для повышения проходимости колесного трактора с двухосным прицепом [99]. Изобретение относится к области транспортного машиностроения. Задача изобретения – повышение проходимости транспортного агрегата за счет увеличения сцепного веса ведущих колес трактора и уменьшения сопротивления на перекатывание прицепа.

Устройство содержит прицепной крюк 1. Дышло 2, которое шарнирно соединено с двухосным прицепом 3 и гидронавесной систему трактора 4, посредством шарнира 5. Переднюю ось прицепа 6 соединена с гидроцилиндром 7, который имеет шток 8 соединенный с рычагом 9. Датчик буксования ведущих колес трактора 10, связан с приводом золотника распределителя 11 гидронавесной системы 4. Гидронавесную систему трактора 4 соединена с гидроцилиндром 7

прицепа 3, имеющим поршень 12, который через систему рычагов связан с передней осью прицепа 13.



1 - прицепной крюк, 2 – дышло, 3 – прицеп, 4 – гидронавесная система трактора, 5 – шарнир, 6 – передняя ось прицепа, 7 – гидроцилиндр, 8 – шток, 9 – рычаг, 10 – датчик буксования ведущих колес трактора, 11 – привод золотника распределителя, 12 – поршень, 13 – передняя ось прицепа

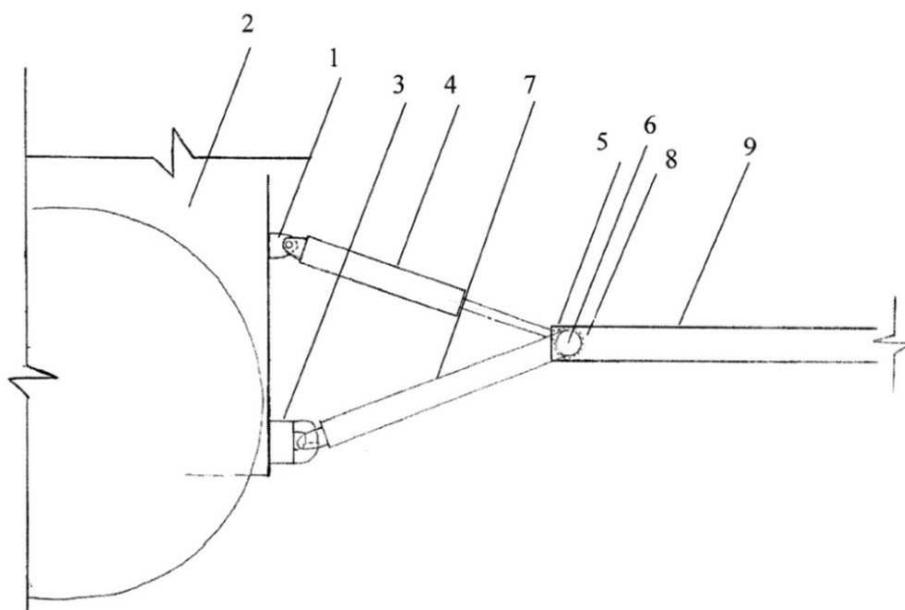
Рисунок 1.6 - Общий вид транспортного средства с устройством для повышения проходимости колесного трактора с двухосным прицепом Патент России № 2456194

Применение предлагаемого устройства делает возможным автоматически регулировать буксования ведущих колес трактора, тем самым повышать проходимость и снижать расхода топлива ТТА.

Недостатком этого устройства является сложность движения агрегата по пересеченной местности и невозможность корректирования вертикальных нагрузок на колеса ТТА.

Известен автоматический корректор сцепного веса для увеличения проходимости и повышения производительности колесных тракторов при их агрегатировании с прицепами [1]. Изобретение относится к сельскохозяйственному транспорту, а именно к дополнительно устанавливаемым вспомогательным устройствам для увеличения проходимости и повышения производительности колесных тракторов при их агрегатировании с прицепами в

условиях движения по скользкой дороге, бездорожью, малой несущей способности почв, наличия подстилающего мерзлотного слоя. Цель изобретения - увеличение проходимости и повышение производительности колесных тракторов при их агрегатировании с прицепами в условиях движения по скользкой дороге, бездорожью, малой несущей способности почв, наличия подстилающего мерзлотного слоя при достаточно простой конструкции вспомогательного устройства, простоте его изготовления, высокой надежности, удобстве в обслуживании и эксплуатации.



1 – кронштейн, 2 – трактор, 3 – сцепное устройство, 4 – гидроцилиндр, 5 – шток, 6 – крепежный шарнир, 7 – подвижное сочлененное дышло, 8 – возвратная пружина, 9 – балка основного дышла

Рисунок 1.7 - Принципиальная схема автоматического корректора сцепного веса для увеличения проходимости и повышения производительности колесных тракторов при их агрегатировании с прицепами Патент России №2482974

Устройство содержит кронштейн 1, имеющий вид карданного шарнира с крестовиной, установленный на корпусе трактора 2 выше его сцепного устройства 3, закрепленный на кронштейне 1 дополнительный гидроцилиндр 4, рабочая часть штока 5 которого упирается в крепежный шарнир 6 подвижного сочлененного дышла 7, подпружиненного горизонтальной возвратной пружиной 8 и входящего

в балку основного дышла 9 агрегируемого прицепа. Датчики буксования и распределения усилий, установленные на ведущих колесах задней оси трактора, эластичные соединительные гидравлические шланги подачи гидрожидкости.

Недостатком этого устройства является значительная разгрузка передних колес трактора из-за увеличения плеча приложения крюкового усилия.

1.3 Результаты исследований распределения веса ТТА по опорам

Проблема повышение грузоподъемности агрегируемых с трактором прицепов является основной при использовании ТТА. Одним из направлений решения данной проблемы, основанным на улучшении тягово-сцепных свойств колесных тракторов, является перераспределение веса тракторного транспортного агрегата по опорам.

Работа [49] посвящена определению допустимых значений коэффициента распределения тягового усилия между ведущими осями трактора и прицепа. Автором разработана математическая модель движения полноприводного ТТА, которая позволила установить взаимосвязь между технико-экономическими показателями ТТА и распределением мощности, а также с учетом конструктивных параметров агрегата, определить пределы рациональных значений коэффициентов тягового и кинематического рассогласования между движителями агрегата. В качестве энергетической оценки эффективности приняты расход топлива и производительность ТТА.

Результаты работы позволят на этапе проектирования определить рациональные параметры привода ходовых колес прицепа, обосновать предельную энергонасыщенность трактора в составе транспортного агрегата.

В работе [12] затронут вопрос по повышению проходимости универсальных пропашных колесных тракторов с прицепами за счет применения автоматических гидродогружающих устройств навесных систем. Помимо связи прицепа с трактором через буксирное устройство автор предлагает использовать

дополнительную силовую связь и рассматривает прицепной транспортный агрегат как полуприцепной. Представлены теоретические исследования по гидравлическому корректированию вертикальных нагрузок на колеса ТТА, уточнено уравнение тягового баланса. Обосновывается использование автоматических гидродогружающих устройств навесных систем с дополнительной силовой связью в различных полевых условиях, наибольший эффект получен от позиционного регулирования. Установлено, что применение в ТТА дополнительной силовой связи, кроме связи трактора с прицепом через дышло, обеспечивает догрузку задних колес трактора на 55 % и снижает нагрузку на передние колеса до 50% по отношению к работе без дополнительной связи. Данные условия обеспечивают возможность работы ТТА в дорожных и полевых условиях с низким коэффициентом сцепления. Использование разработанного тягово-сцепного устройства с позиционным регулированием навески трактора, для автоматической корректировки вертикальных нагрузок на колеса ТТА, позволит повысить производительность в среднем на 8,5%, а удельный расход топлива снизить на 13%.

Стоит отметить, что при хороших дорожных условиях значительного эффекта от применения тягово-сцепного устройства с универсальными регуляторами навески трактора не получено, а при максимальной гидродогрузке трактора происходит ухудшение поворотливости ТТА из-за разгрузки передних колес трактора.

На основании результатов исследований разработаны рекомендации по совершенствованию и наиболее эффективному использованию всех способов регулирования гидродогрузки, они также являются основой для повышения эффективности использования ТТА.

В работе не рассматривается кинематика движения агрегата по пересеченной местности.

В работе [104] автор ставит перед собой цель повысить эффективность использования колесного трактора класса 1,4 на полевых транспортных работах,

увеличить производительность, улучшить тягово-сцепные свойства, снизить техногенное воздействие ТГА на почву за счет применения активного ведущего моста прицепа. На основании анализа существующих технических решений по повышению тягово-сцепных свойств ТГА были поставлены следующие задачи исследований: теоретически обосновать схему привода активного моста прицепа на основании теории силового потока; выявить влияние ведущего моста прицепа на тягово-сцепные свойства ТГА; исследовать влияние ведущего моста прицепа на производительность ТГА; исследовать техногенное воздействие ходовой части ТГА на почву. Для решения поставленных задач предлагается включить в трансмиссию прицепа обгонную муфту, которая позволит автоматизировать процесс включения и выключения ведущего моста прицепа и исключить циркуляцию паразитной мощности между ведущими мостами трактора и прицепа. Для того чтобы определить каким образом происходит распределение веса ТГА по опорам, общую схему агрегата расчленяют и взаимное влияние трактора и прицепа заменяют соответствующими силами и моментами. При определении буксования ведущих колес трактора за основу берется касательная сила тяги, так как она способствует разгрузке ведущих колес трактора, когда является толкающей, а если является тормозящей силой, то догружает их.

Установлено, что применение активного ведущего моста прицепа позволяет повысить тягово-сцепные свойства, рабочую скорость на 33,1%, производительность на 16% и снизить расход топлива ТГА. Использование трактора МТЗ-80/82 с экспериментальным прицепом позволяет уменьшить техногенное воздействие ТГА на почву, твердость почвы уменьшилась на 11%, плотность на 10%, глубина колеи стала меньше на 48% по сравнению с серийным вариантом.

Полученные результаты работы позволят сократить затраты времени и материальных средств при конструировании, совершенствовании и доработки конструкции ведущих мостов транспортных средств. Методика

экспериментальных исследований нашла свое применение при испытаниях колесных сельскохозяйственных тракторов.

Корректирование вертикальных нагрузок на колеса ТТА, для повышения эффективности его использование является целью работы [18]. Автор ставит перед собой задачи: обосновать необходимость корректирования вертикальных нагрузок по опорам ТТА при его установившемся движении, в режиме торможения и разгона за счет дополнительной догружающей связи трактора с прицепом; разработать способ определения рациональной грузоподъемности тракторного прицепа при корректировании вертикальных нагрузок на колеса ТТА; применительно к трактору тягового класса 1,4 оценить работоспособность системы автоматического регулирования навески (САРН) и разработать метод ускоренной оценки ее работоспособности.

Для решения поставленных задач исследования предлагается использовать тягово-догрузочное устройство с САРН позиционно-силового типа для соединения трактора с прицепом, которое позволит рационализировать процесс догрузки задних колес трактора при работе с двухосными прицепами за счет использования гидрокрюка трактора, снизить разгрузку его передних колес и увеличить догружающие силы. ТДУ состоит из основной (тяговой) силовой связи, которая соединяет дышло прицепа с гидрокрюком трактора, дополнительной (догружающей) силовой связи, которая соединяет переднюю ось прицепа с нижними продольными тягами механизма навески трактора. В качестве критериев оценки эффективности использования ТДУ с САРН позиционно-силового типа при различных режимах движения ТТА приняты производительность и путь торможения при разной грузоподъемности прицепа и разной степени догрузки.

Проведенные теоретические исследования позволили сделать вывод, что корректирование вертикальных нагрузок на колеса ТТА при различных режимах его движения (установившееся движение, при торможении и разгоне) повысит эффективность использования ТТА за счет увеличения сцепного веса трактора, на

9-23% снизит путь и на 11-44% уменьшит время торможения в плохих по проходимости дорожных условиях и на 15-24% снизит время разгона ТТА до установившейся скорости.

Экспериментальные исследования показали, что применение ТДУ с САРН позволит повысить эффективность использования ТТА до 60 % для тракторов с колесной схемой 4К2, а для тракторов с колесной схемой 4К4а до 40%. При корректировании вертикальных нагрузок на колеса трактора, буксования его ведущих колес снизится до 40%, увеличится производительность ТТА в среднем на 12% , снизится удельный расход топлива в среднем на 15%.

Важно отметить, что САРН позиционно-силового типа для регулирования степени корректирования вертикальных нагрузок на колеса ТТА в принципе работоспособна, но малоэффективна.

Результаты проведенных исследований и разработанные рекомендации помогут конструкторам при разработке новых и модернизации старых тракторов, однако в работе не рассмотрены вопросы движения агрегата по пересеченной местности.

Работа [106] посвящена повышению производительности, улучшению тягово-сцепных свойств и снижению техногенного воздействия ТТА на почву за счет корректирования вертикальных нагрузок на колеса агрегата. Автор работы, для решения поставленной цели, предлагает провести модернизацию ТТА, в частности прицепа, т.е. установить на прицеп дополнительный гидроцилиндр (корректор сцепного веса) между передним мостом прицепа и прицепным устройством.

На основании анализа существующих исследований по увеличению сцепного веса и повышению его тягово-сцепных свойств ТТА в работе поставлены следующие задачи: теоретически обосновать эффективность установки на ТТА корректора сцепного веса; установить влияние корректора сцепного веса на тягово-сцепные свойства агрегата, в зависимости от тягово-

сцепных свойств трактора определить производительность ТТА; исследовать техногенное воздействие на почву от ТТА.

Задачи решаются по схеме: принципом возможных перемещений определяется реакция в шарнире сцепки, и приводятся зависимости реакции от угла и точки приложения дополнительной нагрузки; определяется касательная сила тяги трактора; рассчитывается коэффициент использования сцепного веса; величина буксования; по номограмме определяется производительность ТТА. При проведении экспериментальных исследований замерялись следующие показатели: тяговое усилие; пройденный путь; частота вращения ведущих колес; твердость, плотность, влажность, глубина колеи; время опыта.

В результате проделанной работы были получены следующие показатели: использование трактора МТЗ-82 и модернизированного прицепа 2ПТС-4 с корректором сцепного веса позволило снизить на 25-30% буксование, на 6,5-6,8% расход топлива на 1 т·км, на 19,6% твердость почвы, на 17,7% плотность почвы, на 12-30% глубину колеи по сравнению с серийным. С другой стороны возросла на 11,5-12,1% тяговая мощность, на 9,3-20,1% скорость движения, на 9,9-19,9% производительность. Все эти показатели изменились за счет переноса части веса тракторного прицепа через гидроувеличитель сцепного веса на ведущие колеса трактора.

Стоит отметить, что исследования по увеличению тягово-сцепных свойств колесного трактора класса 1,4 проводились в условиях Амурской области и на горизонтальном участке с ровным микрорельефом.

Полученные результаты исследований позволят сократить затраты времени и материальных средств при конструировании, модернизации и доработки ТТА. Методика экспериментальных исследований нашла свое применение при испытаниях сельскохозяйственных тракторов.

В работе [76] целью исследования является повышение эффективности использования ТТА за счет повышения тягово-сцепных свойств. Цель исследования обусловила необходимость решения следующих задач: разработать

устройство, позволяющее перераспределить часть нагрузки с колес прицепа на ведущие колеса ТТА и обосновать параметры его работы; установить влияние дополнительной нагрузки, приложенной на ведущие колеса трактора, на тягово-сцепные свойства ТТА; установить влияние положения точки прицепа транспортного агрегата с трактором; определить зависимость и закономерность изменения показателей работы ТТА.

Для разработки устройства, позволяющего перераспределить часть нагрузки с колес прицепа на ведущие колеса ТТА и изменять положение точки прицепа транспортного агрегата с трактором, были проведены теоретические исследования и установлены математические зависимости принятых показателей. Полученные аналитические выражения для определения величины касательной силы тяги ведущих колес ТТА позволили сделать вывод, что буксование и производительность ТТА зависит от величины смещения точки прицепа транспортного агрегата и изменения дополнительной нагрузки в шарнире сцепки. Была разработана номограмма для определения производительности ТТА в зависимости от дополнительной нагрузки в шарнире сцепки. Механизм перемещения точки прицепа состоит из ползуна сцепки, соединенного с рычагом перемещения ползуна, который в свою очередь соединен с гидроцилиндром, который перемещает точку прицепа автоматически.

Производственные испытания показали, что использование ТТА, состоящего из трактора МТЗ-80 и серийного прицепа 2ПТС-4 с корректором сцепного веса и меняющейся точкой прицепа позволяет увеличить на 31% транспортную скорость, на 30% тяговую мощность при различных дополнительных нагрузках по сравнению с использованием серийного транспортного агрегата без дополнительных приспособлений. С другой стороны снижается на 5% буксование, на 11,67% уплотнение почвы, на 18% твердость почвы. Экономия эксплуатационных издержек составит 37%, а полных энергозатрат 21,75 МДж/т·км.

Важно отметить, что исследования проводились в условиях переувлажненной почвы при слабой несущей способности.

Полученные результаты могут быть использованы при конструировании, совершенствовании конструкций ходовых систем ТТА, а также при проектировании и эксплуатации ТТА.

Работа [36] посвящена повышению тягово-сцепных свойств ТТА за счет перераспределения нагрузок между его осями в результате действия силовой гидросистемы трактора. Задачи исследования: установить закономерности процесса перераспределения нагрузок между осями ТТА от параметров агрегата и системы увеличения сцепного веса; исследовать влияние неровностей поверхности движения ТТА на тягово-сцепные свойства трактора в условиях лесных почво-грунтов, при перераспределении нагрузок между осями агрегата; разработать методику проведения экспериментальных исследований.

Автор предлагает увеличить сцепной вес путем воздействия на подъем передней оси прицепа через удлинители нижних тяг навески и дышло прицепа с использованием штатной гидросистемы трактора. Догрузка осуществляется через перенос части нагрузки с передних осей трактора и прицепа. Полученные зависимости касательной силы по сцеплению и прироста общей массы прицепа от величины догрузки ведущей оси трактора показывают, что с увеличением догрузки ведущих колес (сцепного веса) трактора улучшаются его тягово-сцепные свойства и повышается тяговая мощность (мощность на крюке). Также в работе представлены исследования влияния длины буксирного устройства трактора на эффективность догрузки, получены зависимости перераспределения нагрузок между осями ТТА от длины буксирного устройства и действия силы, создаваемой на концах удлинителей навесного устройства трактора, на дышло прицепа. Их анализ помогает сделать вывод, что максимальная догрузка задней оси трактора достигается при одновременном увеличении расстояния до точки присоединения к раскосам и уменьшении длины продольных нижних тяг навески с удлинителями. При проведении экспериментальных исследований была

проведена оценка дорожной проходимости, замерялись следующие показатели: время опыта, число оборотов ведущих колес трактора, расход топлива, давление в гидросистеме трактора.

В результате проделанной работы, показатели эффективности применения системы догрузки выглядят следующим образом: снизилось на 60% буксование, на 20% расход топлива на тонно-километр, увеличилась на 8,8% скорость движения ТГА, на 24% производительность ТГА в составе МТЗ-80+2ПТС-4, на 36% - МТЗ-80+2ПТС-6. При оценке дорожной проходимости был сделан вывод, что на давление в гидросистеме трактора главным образом оказывает влияние характер преодоления препятствия типа выступ.

Необходимо отметить, что исследования по повышению тягово-сцепных свойств ТГА проводились применительно к лесопарковым зонам, где имеет место высокое сопротивление перемещению транспортных средств, а над экономическими показателями преобладают экологические.

Можно сделать вывод, что перераспределение нагрузок между осями предотвращает разрушение почвенного покрова в лесопарковых зонах, снижает эксплуатационные расходы по обслуживанию лесопарковых зон и делает их более привлекательными для посещения людей.

В статье [29] затронут вопрос по повышению эффективности использования прицепных ТГА. Для распределения веса ТГА по опорам и его регулирования авторы предлагают конструкцию двухпоточного тягово-сцепного устройства, которое включает в себя тяговую и догружающую силовые связи. В работе представлена схема прицепного ТГА с действующими на него силами и оборудованного предлагаемым тягово-сцепным устройством. Для определения вертикальных реакций дороги на передние и задние колеса трактора и прицепа составлены математические выражения, приведена зависимость веса трактора, его распределения по осям и высоты оси подвеса от угла наклона дополнительной силовой связи. Анализ этих зависимостей показывает, что чем больше

догружающая сила и угол наклона к горизонту дополнительной силовой связи, тем выше сцепной вес трактор и тем лучше его тягово-сцепные свойства.

Проведенные дорожные испытания конструкции тягово-сцепного устройства на трех почвенных фонах (песок, грунтовая дорога после дождя, сухая грунтовая дорога) показали, что наибольшая эффективность от его применения достигается при движении прицепного ТТА в сложных по проходимости дорожных и полевых условиях. Применение тягово-сцепного устройства, регулирующего сцепной вес трактора, позволит повысить производительность прицепного ТТА в среднем на 15% и снизить удельный расход топлива до 20%.

Стоит отметить, что исследования по повышению эффективности использования прицепных ТТА проводились на горизонтальном участке с ровным микрорельефом.

Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колеса полуприцепных ТТА рассмотрена в статье [30]. Авторами предлагается вариант регулирования степени корректирования вертикальных нагрузок (степени догрузки), основанный на изменении вертикальных реакций на передних колесах прицепа. Рассмотрен вариант прицепного агрегатирования с возможностью его преобразования в полуприцепной путем подъема передней оси прицепа. Анализ графической зависимости изменения вертикальных реакций на передние и задние колеса трактора при регулировании реакции на передние колеса прицепа, которая переходит на ведущие колеса трактора в виде части веса прицепа показывает, что при увеличении части веса прицепа приходящегося на ведущие колеса трактора наблюдается рост вертикальной реакции на передние и задние колеса трактора.

Для подтверждения результатов теоретических исследований были проведены стендовые испытания, замерялись следующие величины: вертикальные нагрузки на передние и задние колеса трактора, а также вертикальная реакция на передние колеса полуприцепа. В результате проведения стендовых испытаний была получена зависимость вертикальных нагрузок на колеса трактора от степени разгрузки передней оси полуприцепа, анализ которой

показывает, что с увеличением разгрузки передней оси полуприцепа нагрузка на передние и задние колеса трактора увеличивается, что приводит к росту эксплуатационного веса трактора в целом.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают, что путем регулируемого корректирования вертикальных нагрузок на колеса полуприцепного ТГА следует ожидать рост производительности и снижение расхода топлива на единицу перевозимого груза.

Необходимо уточнить, что исследования по корректированию вертикальных нагрузок на колеса полуприцепных ТГА проводились на горизонтальном участке с ровным микрорельефом.

Таким образом анализ работ по исследованию влияния распределения веса ТГА по опорам на технико-экономические и экологические параметры процесса показал, что данное направление перспективно, т.к. открываются возможности повышения производительности труда, снижения расхода топлива, уменьшения буксования, снижения уплотнения почвы, колееобразования, но не решаются вопросы оптимизации перераспределения общего веса агрегата по его опорам и не определяется в связи с этим рациональная грузоподъемность прицепа.

1.4 Выводы

Анализ использования тракторных транспортных агрегатов различной компоновки, влияние распределения веса агрегата по опорам на технико-экономические показатели транспортного процесса, а также технических решений, обеспечивающих догрузку трактора со стороны прицепа, показал, что [89]:

- прицепная схема ТГА в сравнении с седельной и полуприцепной имеет преимущество по управляемости и устойчивости движения, однако уступает в возможности повышения грузоподъемности агрегата и наличии значительного буксования ведущих колес трактора;

- предлагаемые технические решения по передачи части веса прицепа на прицепное устройство трактора малоэффективны из-за возникающей опасности ухудшения управляемости, необходимости изменения или включения дополнительных узлов к гидронавески трактора или дышлу прицепа, отсутствия возможности регулирования перераспределения части веса прицепа на гидронавеску трактора;

- не достаточно полно разработана методика рационального распределения общего веса агрегата по опорам, а также определения грузоподъемности ТГА прицепной компоновки с ТДУ;

- не в достаточной мере исследовалась кинематика движения ТГА с ТДУ по пересеченной местности.

2 Исследование распределения веса прицепного ТГА по его опорам

2.1 Определение допустимой вертикальной нагрузки на гидронавеску трактора со стороны прицепа

Преодоление подъема и движение ТГА по пересеченной местности – это наиболее сложные условия при взаимодействии сцепного устройства трактора с прицепом. Рассмотрим элементы движения ТГА на подъеме.

В этом случае, в продольной плоскости на агрегат в составе трактор 4Х2 кл. 1,4 агрегатируемым с прицепом посредством сцепного устройства, действуют следующие силы, см. рисунок 2.1.

А. в прицепе:

1. Вес груженого прицепа $G_{\text{ПР}}$ с координатами $(a_{\text{ПР}}, h_{\text{ПР}})$.
2. Z_{T1}, Z_{T2} - реакции опорной поверхности на колеса прицепа.
3. X_{T1}, X_{T2} - силы сопротивления качению колес прицепа.
4. $P_{i\text{ПР}}$ - сила инерции поступательно движущихся масс прицепа с координатами $(a_{\text{ПР}}, h_{\text{ПР}})$.
5. $R_{\text{КР}}$ - реакция взаимодействия трактора и прицепа приложена в точке их соединения, с координатами $(L_{\text{КР}}, h_{\text{КР}})$.

Б. в тракторе:

1. Вес трактора $G_{\text{ТР}}$ приложенный в центре масс с координатами $(a_{\text{ТР}}, h_{\text{ТР}})$.
2. Реакция опорной поверхности $Z_{\text{К}}$ - на передние, Z_j - на задние колеса.
3. X_j - движущая сила; $X_{\text{К}}$ - сила сопротивления качению управляемых колес.
4. $P_{\text{КР}}$ - сила взаимодействия трактора и прицепа приложена в точке их соединения, с координатами $(h_{\text{КР}}, L_{\text{КР}})$.

5. P_{iTP} - суммарная сила инерции поступательно движущихся масс трактора, с координатами (a_{TP}, h_{TP}) .

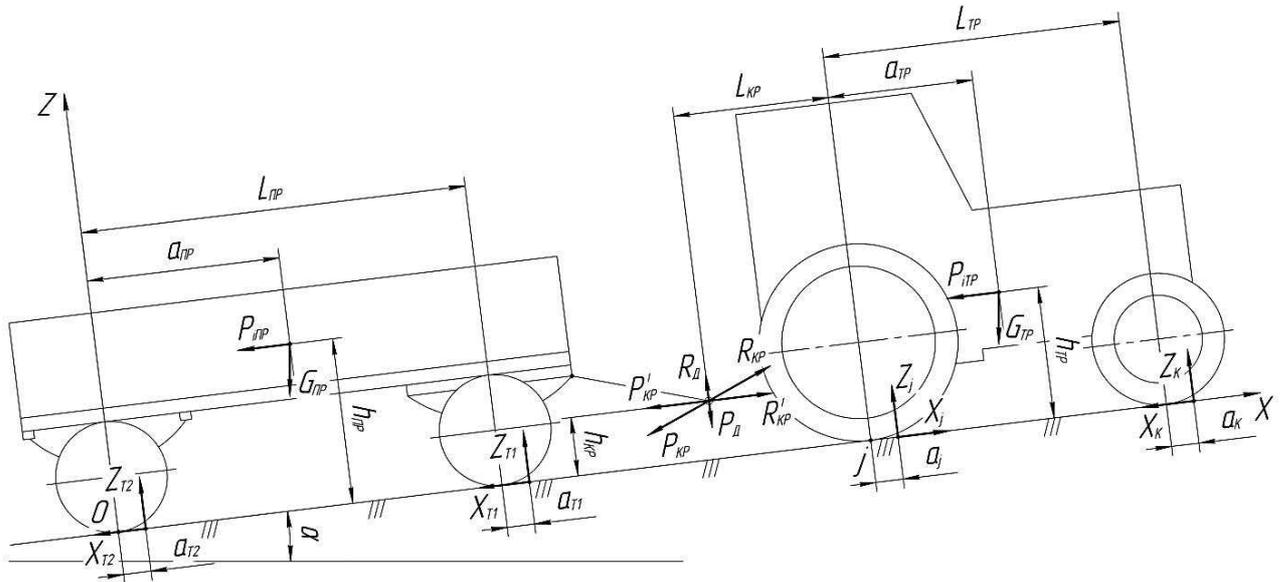


Рисунок 2.1 - Силы, действующие на тракторный транспортный прицепной агрегат в продольной плоскости

Также в продольной плоскости действуют касательные силы инерции вращающихся деталей размещенных на поперечных валах: детали трансмиссии, колеса. Моментами, создаваемыми указанными касательными силами инерции, а также сопротивлением воздуха, пренебрегаем ввиду их относительно небольшого влияния на общую динамику агрегата [77, 103].

Сила P_{KP} , приложенная в точке соединения трактора с прицепом, характеризует их взаимодействие. Для определения силы P_{KP} отбросим связь прицепа с трактором, а силу P_{KP} заменим равной по модулю, но обратной по направлению реакцией R_{KP} . Реакцию R_{KP} разложим на две составляющие: $R_{д}$ - действующую вдоль оси Oz (вертикальную) и R_{KP}' - действующую вдоль оси Ox (горизонтальную).

Для определения реакции R_{KP}' , запишем уравнение проекций сил на ось абсцисс, действующих в прицепе. Уравнение проекция сил имеет вид:

$$R_{KP}' - X_{T1} - X_{T2} - G_{TP} \cdot \sin \alpha - P_{iTP} = 0,$$

где $X_{T_1} + X_{T_2}$ - сила сопротивления качению прицепа $P_{f_{ПП}} = G_{ПП} \cdot f_{ПП} \cdot \cos \alpha$; здесь α – угол склона опорной поверхности; $f_{ПП}$ – коэффициент сопротивления передвижению прицепа.

Выражение для определения реакции R_{KP}^I :

$$R_{KP}^I = G_{ПП} \cdot f_{ПП} \cdot \cos \alpha + G_{ПП} \cdot \sin \alpha + P_{i_{ПП}}. \quad (2.1)$$

При установившемся режиме движения, т.е. при отсутствии инерционных воздействий ($P_{i_{ПП}} = 0$), выражение для определения реакции R_{KP}^I примет вид:

$$R_{KP}^I = G_{ПП} \cdot f_{ПП} \cdot \cos \alpha + G_{ПП} \cdot \sin \alpha. \quad (2.2)$$

Из выражения 2.2 следует, что реакция R_{KP}^I зависит от веса прицепа, коэффициента сопротивления качению прицепа, угла склона опорной поверхности. Увеличение любого слагаемого приведет к росту реакции R_{KP}^I . Направление P_{KP}^I зависит от вида движения агрегата. На спуске, при торможении двигателем сила направлена к трактору, а на подъеме, при разгоне или торможении рабочей тормозной системой, сила направлена от трактора.

Чтобы определить допустимую догрузку сцепного устройства трактора со стороны прицепа P_D , составим уравнение моментов сил относительно точки j . Для этого, отбрасываем связь трактора с прицепом и прикладываем силу взаимодействия трактора и прицепа P_{KP}^I равную по модулю реакции R_{KP}^I , но имеющую противоположное направление. Силу P_{KP}^I разложим на две составляющие: P_D - действующую вдоль оси Oz (вертикальную) и P_{KP}^I - действующую вдоль оси Ox (горизонтальную).

Составим уравнение моментов сил при установившемся режиме движения относительно точки j :

$$Z_K \cdot L_{TP} - G_{TP} \cdot (a_{TP} \cdot \cos \alpha - h_{TP} \cdot \sin \alpha) + P_D \cdot L_{KP} + P_{KP}^I \cdot h_{KP} = 0, \quad (2.3)$$

где L_{TP} - продольная база трактора.

Зная, что по показателям безопасности движения агрегата [26] нагрузка на переднюю ось трактора Z_K при движении на подъем составляет $0,2G_{TP}$, а

$P_{KP}^I = R_{KP}^I = G_{ПП} \cdot f_{ПП} \cdot \cos \alpha + G_{ПП} \cdot \sin \alpha$, выражение для определения P_D примет вид:

$$P_D = \frac{G_{ТР} \cdot (a_{ТР} \cdot \cos \alpha - h_{ТР} \cdot \sin \alpha) - 0,2G_{ТР} \cdot L_{ТР} - G_{ПП} \cdot h_{KP} \cdot (f_{ПП} \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)}{L_{KP}}. \quad (2.4)$$

Следовательно, в общем виде допустимая догрузка сцепного устройства трактора со стороны прицепа может быть представлена в виде функции:

$$P_D = F(G_{ТР}; G_{ПП}; f_{ПП}; \alpha). \quad (2.5)$$

Если вес трактора и прицепа возможно принять постоянным, то коэффициент сопротивления передвижению прицепа и угол наклона опорной поверхности величины переменные и случайные, вероятно они подчиняются определенным законам распределения, т.е.

$$f_{ПП} = F(f) \text{ и } \alpha = F(\alpha).$$

Поэтому среднее значение допустимой догрузки сцепного устройства трактора со стороны прицепа должно определяться с учетом случайного характера изменения аргументов $f_{ПП}$ и α т.е. в виде математического ожидания функции [84]:

$$\overline{P_D} = \int_{\alpha_H}^{\alpha_K} \int_{f_{ППH}}^{f_{ППK}} F(G_{ТР}; G_{ПП}; f_{ПП}, \alpha) z(f_{ПП}) z(\alpha) df_{ПП} d\alpha, \quad (2.6)$$

где $f_{ППH}; f_{ППK}; \alpha_H; \alpha_K$ - начальное и конечное значение диапазонов изменения соответственно коэффициентов сопротивления передвижению прицепа и углов наклона опорной поверхности.

Для известного прицепного ТТА переменными являются лишь коэффициент сопротивления передвижению и угол наклона поля, которые варьируются довольно в широких пределах. Исследованиями [39] установлен закон плотности вероятностей распределения углов наклона полей по Белгородской области и определены его основные параметры: $\bar{\alpha} = 2,5^\circ$; $\delta = 1,65$. Закон плотности вероятностей коэффициента сопротивления передвижения транспортного агрегата не установлен, поэтому провести расчеты по зависимости (2.6) не представляется возможным. В первом приближении ограничиваемся

расчетами по средним значениям переменных, а именно $\bar{\alpha} = 2,5^\circ$; $\bar{f} = 0,12$ [101], т.е. допустимую вертикальную нагрузку на гидронавеску трактора МТЗ-80 со стороны прицепа 2ПТС-4 при номинальной его грузоподъемности 4 т определим для средних условий: $\bar{\alpha} = 2,5^\circ$; $\bar{f} = 0,12$.

Результаты расчетов представлены на рисунке 2.2.

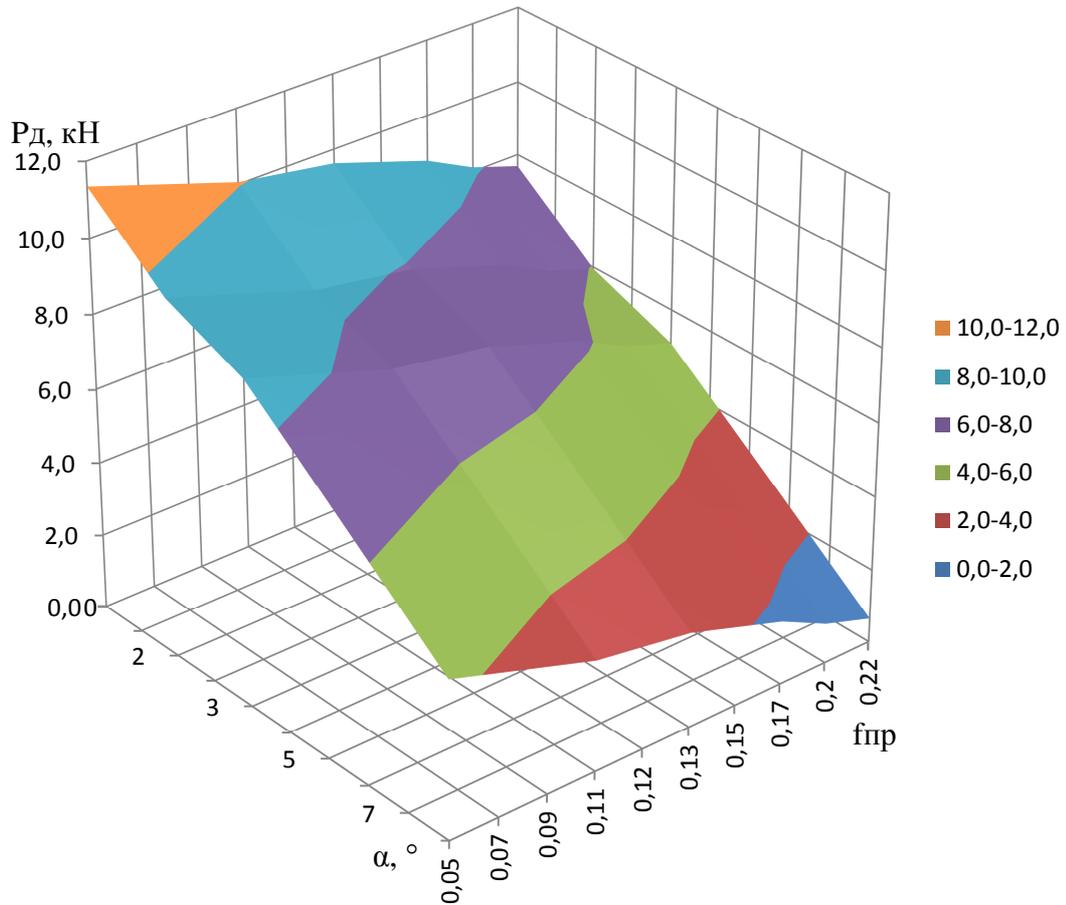


Рисунок 2.2 - Изменение догрузки трактора МТЗ-80 со стороны прицепа 2ПТС-4 от угла склона и коэффициента сопротивления передвижению прицепа

Анализ рисунка 2.2 показывает, что с увеличением коэффициента сопротивления передвижению и угла склона поля допустимая вертикальная нагрузка P_d на гидронавеску трактора уменьшается. Для средних значений угла склона полей и коэффициента сопротивления передвижению прицепа она равна 7,7 кН.

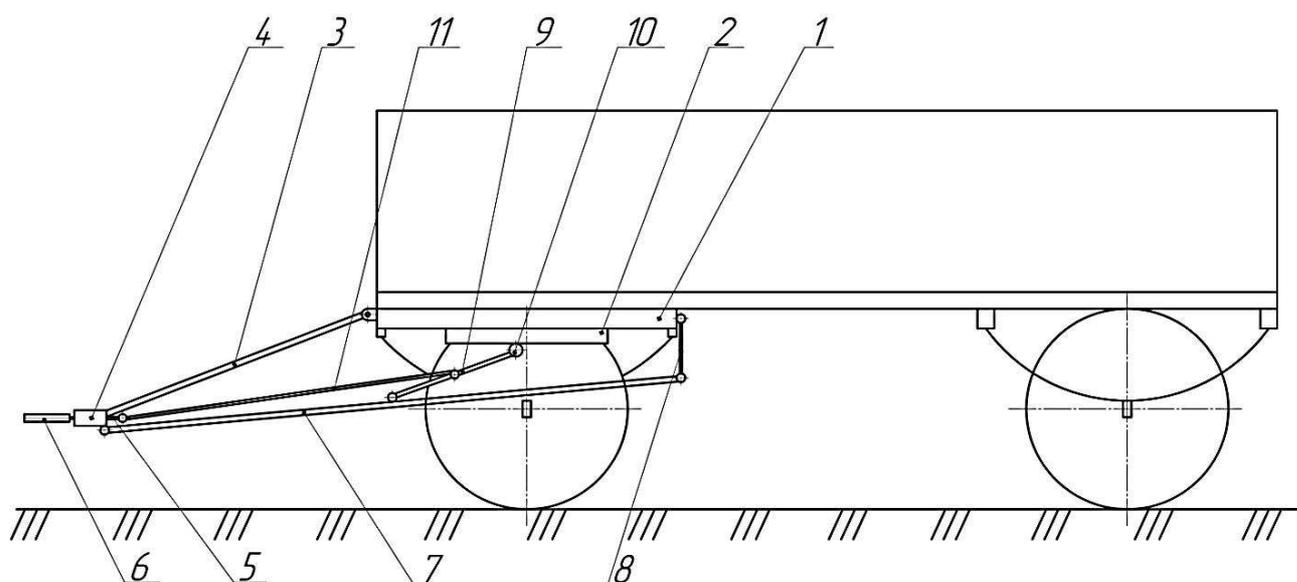
Когда прицепной ТТА движется при угле склона близком нулю, а коэффициент сопротивления передвижению прицепа равен 0,05, то вертикальная нагрузка на гидронавеску трактора равна 11,2 кН. Согласно руководству по эксплуатации вертикальная нагрузка на гидронавеску трактора типа МТЗ – 80 не должна превышать 14 кН [74]. Полученные результаты расчета не противоречат руководству по эксплуатации трактора МТЗ-80.

2.2 Разработка конструктивно-технологической схемы ТДУ к прицепу

Исследования, проведенные нами в первом параграфе раздела, показали, что при соблюдении управляемости трактора, когда на передние колеса приходится не менее 20% веса трактора, на его гидронавеску, для средних коэффициента сопротивления передвижению прицепа и угла склона полей, возможно прикладывать силу до 7,7 кН. Это указывает на то, что при агрегатировании прицепа с трактором он может быть также грузонесущим, т.е. необходимо использовать ТДУ к прицепу. Обзор технических решений по догрузке трактора со стороны прицепа показал многообразие конструктивных решений, их недостатки отмечены в первом разделе, но общим недостатком является отсутствие использования силы сопротивления передвижению прицепа в качестве догружающей гидронавеску трактора.

Нами предложено ТДУ к прицепу, где сила сопротивления его передвижения $P_{кр}$ догружает трактор [83, 85, 88]. Оно состоит (рисунок 2.3) из рамы 1 поворотной тележки прицепа, к нижней части которой в продольном направлении по центру жестко закреплен упор 2, а к передней шарнирно закреплено дышло 3. К противоположному концу дышла 3 жестко прикреплена муфта 4, куда с возможностью продольного перемещения помещен кронштейн 5, передний конец которого жестко соединен с тяговым кольцом 6. К муфте 4 шарнирно прикреплена балка 7, помещенная под рамой 1 поворотной тележки прицепа, причем задний конец балки 7 посредством серьги 8 шарнирно соединен

со серединой задней части рамы 1 поворотной тележки прицепа. К балке 7 в средней ее части с возможностью продольного перемещения шарнирно закреплен маятник 9, верхний конец которого оснащен роликом 10, контактирующим с упором 2, причем маятник 9 относительно упора 2 размещен под острым углом. Задний конец кронштейна 5 шарнирно соединен с тягой 11, противоположный конец которой с возможностью продольного перемещения шарнирно соединен со средней частью маятника 9.



1 – рама поворотной тележки прицепа; 2 – упор; 3 – дышло; 4 – муфта; 5 – кронштейн; 6 – тяговое кольцо; 7 – балка; 8 – серьга; 9 – маятник; 10 – ролик; 11 – тяга

Рисунок 2.3 - Конструктивно – технологическая схема ТДУ к прицепу

Взаимодействие конструктивных элементов ТДУ друг с другом и влияние их в конечном итоге на гидронавеску трактора осуществляется следующим образом: силу сопротивления передвижению прицепа P_{KP} (см. рисунок 2.3) трактор преодолевает путем воздействия на тяговое кольцо 6, кронштейн 5, шарнирно прикрепленную к кронштейну 5 тягу 11, противоположный конец которой шарнирно соединен со средней частью маятника 9. В точке крепления тяги 11 к маятнику 9 возникает реакция силы R_M , равная значению P_{KP} , но направленная в противоположную сторону, которая распределяется на две

составляющие силы: R_o и $R_{ш}$ (рисунок 2.4). Реакция опоры R_o в точке D действует перпендикулярно упору 2, а в точке A , лежащей на балке 7, $R_{ш}$ - направлена горизонтально.

Сила $R_{ш}$ есть составляющая суммарной силы, действующей со стороны нижнего конца маятника 9 на балку 7. Вертикальная составляющая сила R_B в точке A равна по величине силе R_o и направлена вниз, она уравнивается реакциями сил, возникающих в тяговом кольце 6 – сила P_d и серьге 8 – сила P_c (рисунок 2.4).

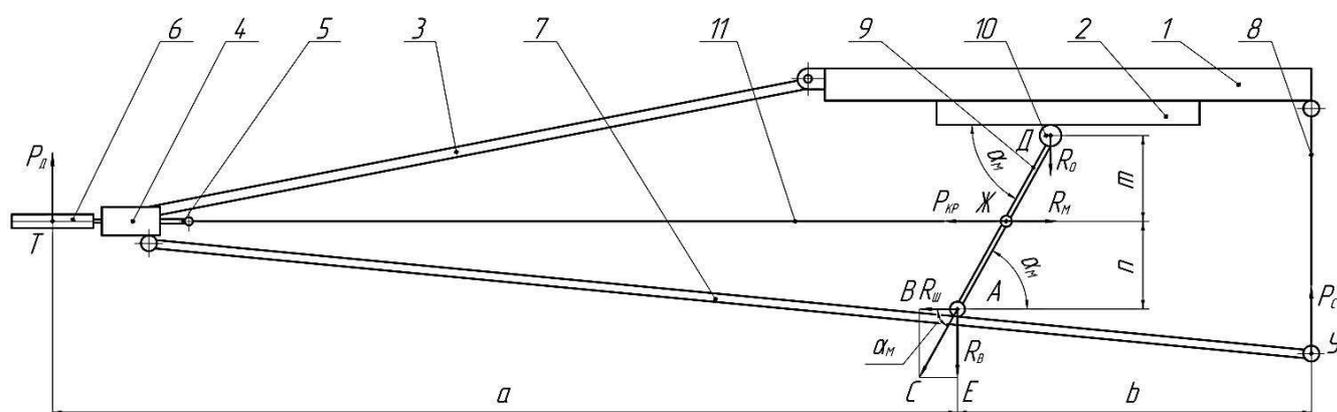


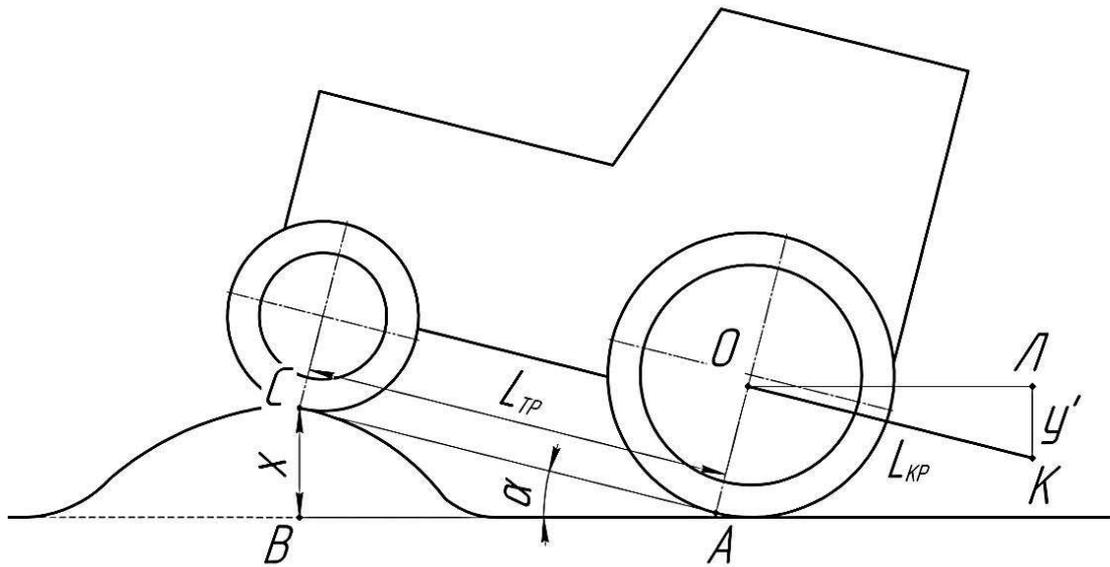
Рисунок 2.4 - Схема сил, действующих на ТДУ к прицепу

Таким образом, применение предложенного тягово-догрузочного устройства к прицепу позволяет использовать крюковую силу $P_{кр}$ в качестве догружающей трактор силы P_d , но при этом наблюдается разгрузка передней оси прицепа, что указывает на возможность корректирования номинальной его грузоподъемности.

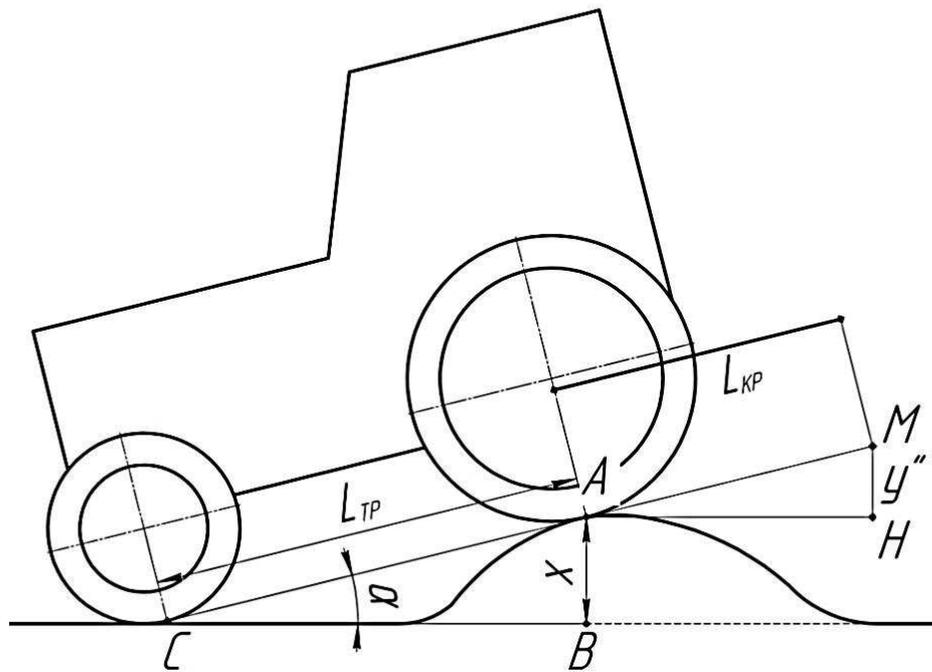
2.3 Схема движения прицепного ТТА с ТДУ по пересеченной местности

При движении прицепного тракторного транспортного агрегата по проселочной дороге, выезде его с поля на проселочную или профилированную дорогу трактор и прицеп находятся не в одной плоскости, поэтому и

конструктивные элементы тягово-догрузочного устройства также изменяют свое положение относительно друг друга [78].



а)



б)

Рисунок 2.5 - Схема преодоления неровности трактором

а) наезд передними колесами;

б) наезд задними колесами;

L_{KP} - кинематическая длина трактора;

L_{TP} - база трактора;

x - высота преодолеваемой неровности;

y' и y'' - соответственно величина опускания или подъема тягового кольца прицепа относительно исходного положения над опорной поверхностью.

Гидронавеску трактора в «запертом» положении гидросистемы возможно рассматривать как единое целое с трактором, поэтому при наезде трактора передними колесами на неровность задний конец гидронавески – «гидрокрюк» будет опускаться вниз, а вместе с ним и тяговое кольцо дышла прицепа (см. рисунок 2.5). Когда на препятствие наезжают задние колеса трактора, тяговое кольцо дышла прицепа поднимается на некоторую высоту относительно исходного положения (когда трактор и прицеп находятся в одной плоскости).

Установим зависимость изменения положения тягового кольца относительно плоскости, где находится агрегат при переезде неровности трактором, а также параметры конструктивных элементов ТДУ к прицепу.

Схема преодоления неровности, когда трактор наезжает на нее передними колесами, показана на рисунке 2.5а. Величину опускания тягового кольца дышла прицепа относительно опорной поверхности определим из условия, что треугольник OLK подобен треугольнику ABC т.к. они прямоугольные и угол α образован взаимно перпендикулярными сторонами.

Тогда:

$$\frac{x}{y'} = \frac{L_{TP}}{L_{KP}}, \text{ откуда } y' = \frac{x \cdot L_{KP}}{L_{TP}}. \quad (2.7)$$

При наезде трактора на неровность задними колесами тяговое кольцо относительно исходного положения поднимается на величину y'' (см. рисунок 2.5 б), ее значение найдем из условия подобия треугольников SAB и AMH :

$$\frac{x}{y''} = \frac{L_{TP}}{L_{KP}}, \text{ откуда } y'' = \frac{x \cdot L_{KP}}{L_{TP}}. \quad (2.8)$$

Т.е. тяговое кольцо дышла прицепа при преодолении агрегатом неровности высотой x изменяет свое исходное положение относительно опорной поверхности на величину:

$$y = y' + y'' = \frac{2x \cdot L_{KP}}{L_{TP}}. \quad (2.9)$$

Поскольку тяговое кольцо посредством кронштейна и тяги соединено с маятником, шарнирно закрепленным в средней части балки, которая также шарнирно соединена с передней частью дышла прицепа и задним концом рамы поворотной тележки, то названные конструктивные элементы ТДУ к прицепу будут совершать перемещения относительно друг друга и узлов поворотной тележки [7]. Это обуславливает необходимость нахождения их основных геометрических параметров с целью обеспечения кинематики при движении прицепного тракторного транспортного агрегата по пересеченной местности. Установим в первом приближении их геометрические параметры.

Анализ конструктивно-технологической схемы ТДУ (рисунок 2.6) показывает, что длина балки должна равняться сумме длин дышла и рамы поворотной тележки, причем, если окажется, что тяговое кольцо дышла прицепа при определенных условиях будет выше точки ее крепления к раме поворотной тележки, то следует предусмотреть ее изгиб в вертикальной плоскости, т.е:

$$l_o = m_o + r, \quad (2.10)$$

где l_o, m_o, r - длина соответственно балки, дышла прицепа и рамы поворотной тележки.

Когда передние колеса трактора находятся на преодолеваемой неровности тяговое кольцо дышла расположено в крайнем нижнем положении, но т.к. балка размещена между рамой поворотной тележки и осью передних колес прицепа, возникает необходимость в определении длины серьги l_c , шарнирно соединяющей задний конец балки и рамы поворотной тележки, для этого необходимо знать расстояния от опорной поверхности до верхней части оси l_o передних колес, до рамы поворотной тележки l_p и ее длину r , а также расстояние от опорной поверхности до тягового кольца дышла прицепа l_o (см. рисунок 2.6), когда трактор и прицеп находятся на одной плоскости.

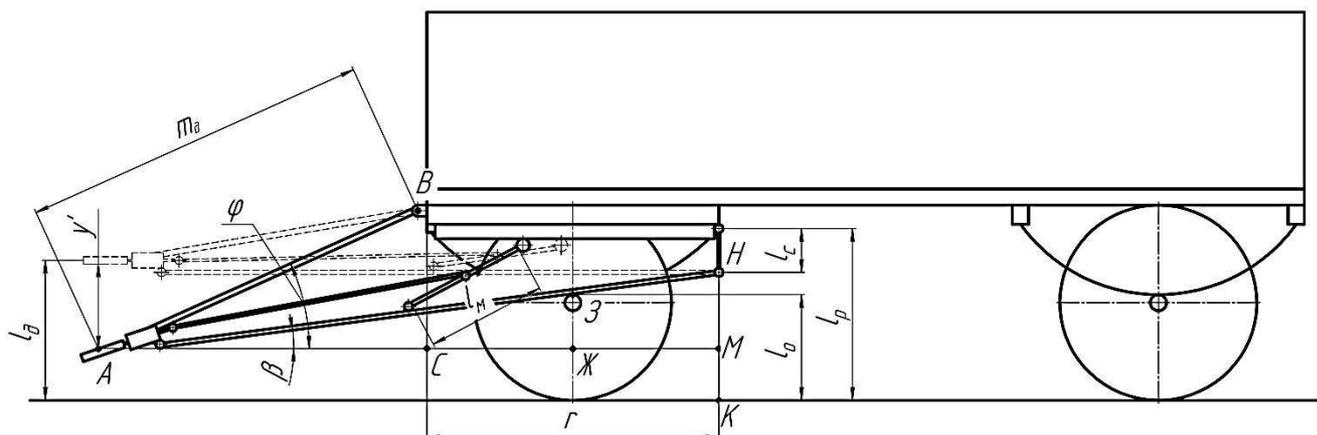


Рисунок 2.6 - Схема перемещения конструктивных элементов ТДУ при преодолении неровности агрегатом

Для нахождения величины l_c необходимо знать проекцию дышла прицепа на горизонтальную ось. Установим ее величину из треугольника ABC , для этого надо знать угол CAB , он равен:

$$\frac{BC}{AB} = \sin \varphi, \quad \varphi = \arcsin \frac{l_p + y' - l_o}{m_o}, \quad \text{тогда} \quad \frac{AC}{m_o} = \cos \varphi, \quad AC = m_o \cdot \cos \varphi. \quad (2.11)$$

Длина серьги l_c равна (см. рисунок 2.6):

$$l_c = l_p - HM - MK \quad (2.12)$$

Как видно из рисунка 2.6 величина MK равна:

$$MK = l_o - y'. \quad (2.13)$$

Длину отрезка HM находим из подобия треугольников $AЗЖ$ и AHM :

$$\frac{HM}{ЗЖ} = \frac{AM}{AЖ} \quad \text{или} \quad \frac{HM}{l_o - MK} = \frac{AC + r}{AC + \frac{r}{2}}, \quad (2.14)$$

но MK равно $MK = l_o - y'$, тогда:

$$\frac{HM}{l_o + y' - l_o} = \frac{m_o \cdot \cos \varphi + r}{m_o \cdot \cos \varphi + \frac{r}{2}}, \quad \text{откуда} \quad HM = (l_o + y' - l_o) \cdot \frac{m_o \cdot \cos \varphi + r}{m_o \cdot \cos \varphi + \frac{r}{2}}. \quad (2.15)$$

Следовательно:

найдем из прямоугольного треугольника $ЛНН$, причем, его угол $ЛНШ$ равен углу $НАМ$ в треугольнике $АМН$, как накрест лежащие углы, но угол $НАМ$ равен:

$$\frac{HM}{AM} = \operatorname{tg}\beta; \quad \beta = \operatorname{arctg}\frac{HM}{AM}, \quad (2.18)$$

Значения отрезков HM и AM при фиксированном нижнем положении дышла прицепа легко устанавливаются посредством применения тригонометрических функций, следовательно, отрезок $ЛНШ$ равен:

$$\frac{ЛНШ}{r} = \operatorname{tg}\beta; \quad ЛНШ = r \cdot \operatorname{tg}\beta, \quad (2.19)$$

тогда минимальная длина маятника составит:

$$ТШ = l_m = l_c + r \cdot \operatorname{tg}\beta. \quad (2.20)$$

Заметим, что место крепления маятника к балке определим после того как будет установлена зависимость, связывающая крюковую силу и геометрические параметры ТДУ к прицепу.

На рисунке 2.8 показано влияние высоты x преодолеваемой неровности на длину серьги l_c и маятника l_m ТДУ к прицепу 2ПТС-4.

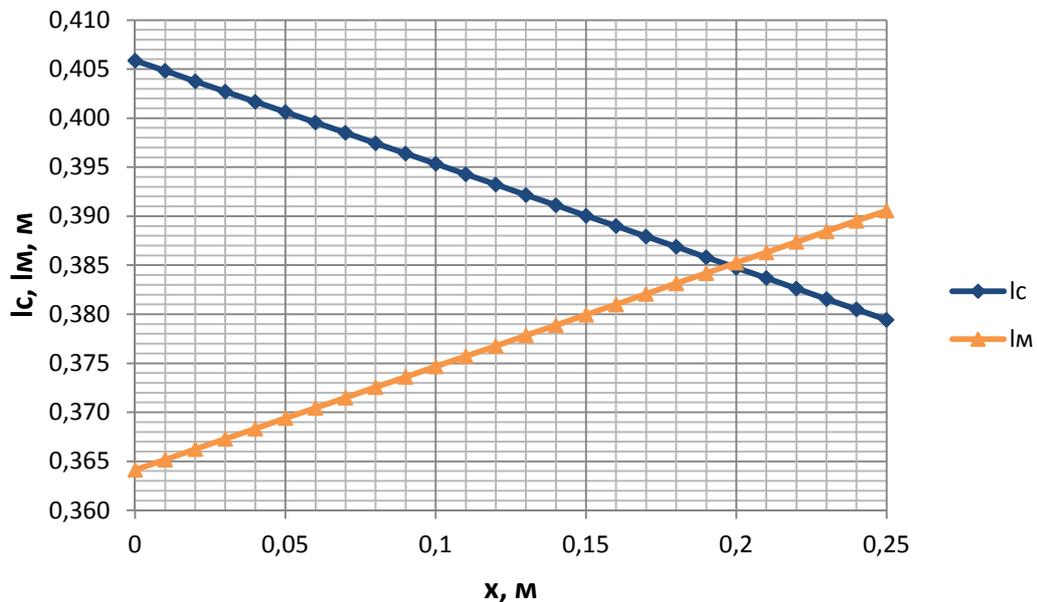


Рисунок 2.8 - Влияние высоты преодолеваемой неровности на длину серьги и маятника ТДУ к прицепу

Из рисунка 2.8 следует, что при изменении высоты x преодолеваемой неровности от 0 до 0,25 м длина серьги l_c и маятника l_m изменятся лишь на 0,026 м, что указывает на целесообразность их изготовления длиной соответствующей наибольшему значению высоты x преодолеваемой неровности.

2.4 Исследование силовых параметров ТДУ к прицепу

В первом подразделе обоснована допустимая вертикальная нагрузка на гидронавеску трактора со стороны прицепа, а во втором и третьем была разработана конструктивно-технологическая схема ТДУ к прицепу и рассмотрена кинематика движения прицепного тракторного транспортного агрегата по пресеченной местности.

Необходимо определить ряд силовых и геометрических параметров ТДУ, которые позволят реализовать допустимую вертикальную нагрузку трактора со стороны прицепа. Определим влияние крюкового усилия и основных конструктивных параметров ТДУ на величину вертикальной нагрузки гидронавески трактора.

Как было отмечено в подразделе 2.1, в точке крепления тяги 11 к маятнику 9 возникает реакция силы R_M , равная значению P_{KP} (см. рисунок 2.4), но направленная в противоположную сторону, которая распределяется на две составляющие силы: R_O и R_{III} . Реакция опоры R_O в точке D действует перпендикулярно упору 2, а в точке A , лежащей на балке 7, R_{III} - направлено горизонтально. Значение реакции опоры R_{III} находим из уравнения моментов сил относительно точки D (рисунок 2.4).

$$R_{III} \cdot (m + n) - R_M \cdot m = 0, \quad (2.21)$$

откуда

$$R_{III} = \frac{R_M \cdot m}{(n + m)}, \quad (2.22)$$

но $R_M = P_{KP}$, тогда

$$R_{ш} = P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}}, \quad (2.23)$$

где m и n – проекции верхней и нижней части маятника на вертикаль.

Сила $R_{ш}$ есть составляющая суммарной силы, действующей на балку 7. Вертикальную составляющую силу R_B в точке A находим из силового треугольника ABC (рисунок 2.4). В треугольнике ABC сторона $AB = R_{ш}$, а сторона $BC = AE = R_B$, тогда

$$\frac{BC}{AB} = \operatorname{tg} \alpha_M, \quad (2.24)$$

откуда

$$BC = AB \cdot \operatorname{tg} \alpha_M \text{ или } R_B = P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M, \quad (2.25)$$

где α_M - угол наклона маятника к горизонтали.

Вертикальная сила R_B , действующая на балку 7 в точке A (рисунок 2.4), уравнивается реакциями сил, возникающих в тяговом кольце 6 - сила P_D и серьге 8 - сила P_C . Реакцию силы P_D определим из уравнения моментов относительно точки Y (см. рисунок 2.4).

$$P_D \cdot (a + b) - R_B \cdot b = 0.$$

откуда

$$P_D = R_B \cdot \frac{b}{a + b} = P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M. \quad (2.26)$$

В свою очередь реакция силы P_C в серьге 8 равна:

$$P_C = R_B - P_D = P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M - P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} = P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \right), \quad (2.27)$$

где a и b – длина соответственно переднего и заднего концов балки.

Таким образом сила, догружающая гидронавеску трактора P_d прямо пропорциональна крюковому усилию $P_{кр}$ и тангенсу угла наклона маятника к упору и обратно пропорциональна отношениям нижней и верхней частей маятника, и переднего и заднего концов балки [80, 86].

Для условий: грузоподъемность прицепа $Q_{пр} = 4t$, угол склона поля $\bar{\alpha} = 2,5^\circ$, коэффициент сопротивления передвижению прицепа $\bar{f} = 0,12$, т.е. $P_{кр} = 8,83$ кН построены графики зависимости влияния отношения переднего a и заднего b концов балки a/b , а также нижней n и верхней m частей маятника n/m на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при различных углах наклона α_M маятника к упору (см. рисунок 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 и приложение А).

Анализ рисунка 2.9 и 2.10 показывает, что допустимая догрузка трактора $P_d = 7,7$ кН при угле наклона маятника α_M к упору равному 60° , не обеспечивается ни при каких соотношениях a/b и n/m .

Из анализа рисунка 2.11 видно, что при угле наклона маятника к упору равному $\alpha_M = 75^\circ$ с увеличением отношения a/b сила, догружающая гидронавеску трактора снижается при значениях отношения n/m в диапазоне от 0,1 до 1, так с ростом отношения a/b от 1 до 3 при отношении n/m равном 0,1 догрузка гидронавески трактора снижается с 15 кН до 7,5 кН.

Аналогичное влияние на догрузку гидронавески трактора оказывает и изменение отношения нижней и верхней частей маятника n/m (см. рисунок 2.12). Так с увеличением отношения n/m в диапазоне 0,1-1 при значении $a/b = 3$ догрузка снижается от 7,5 до 4,1 кН.

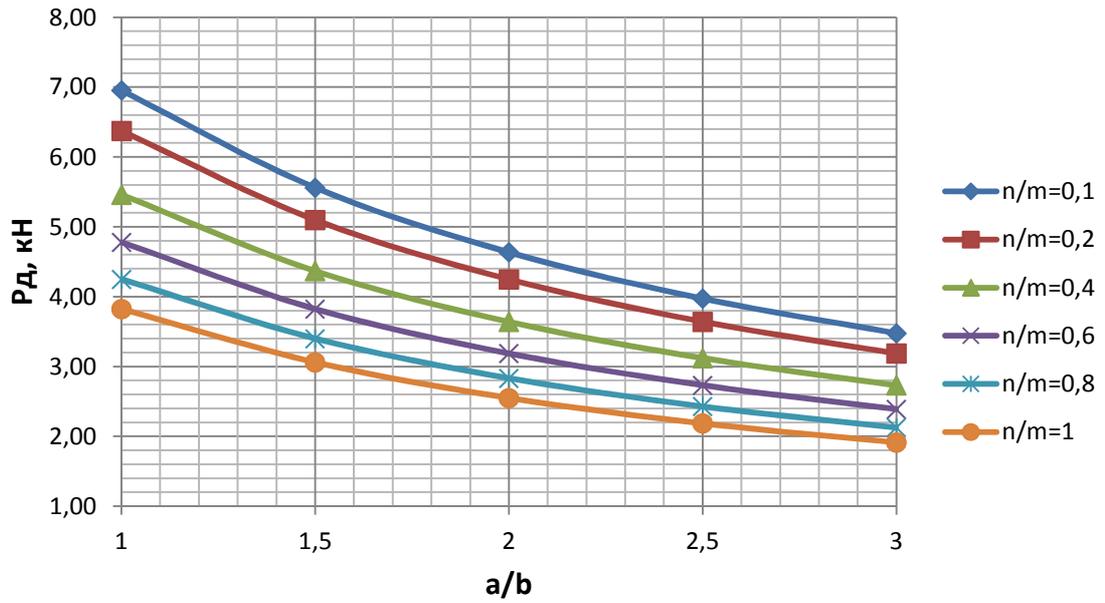


Рисунок 2.9 - Влияние соотношения плеч балки a/b на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 60^\circ$

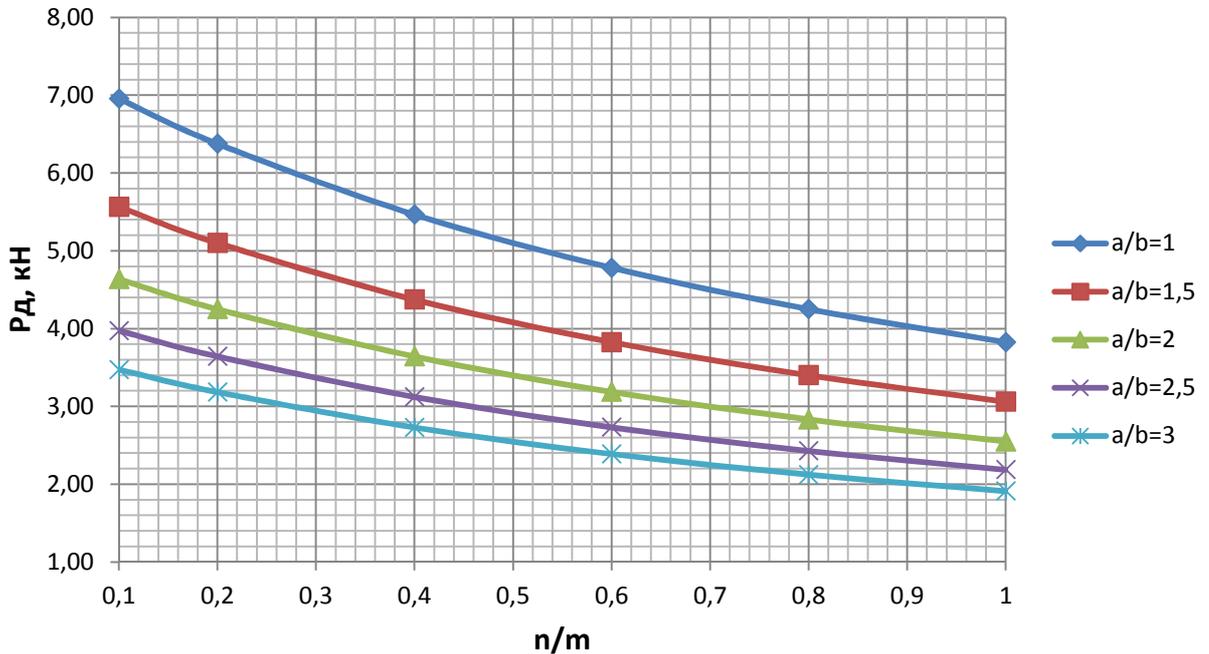


Рисунок 2.10 - Влияние соотношения плеч маятника n/m на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 60^\circ$

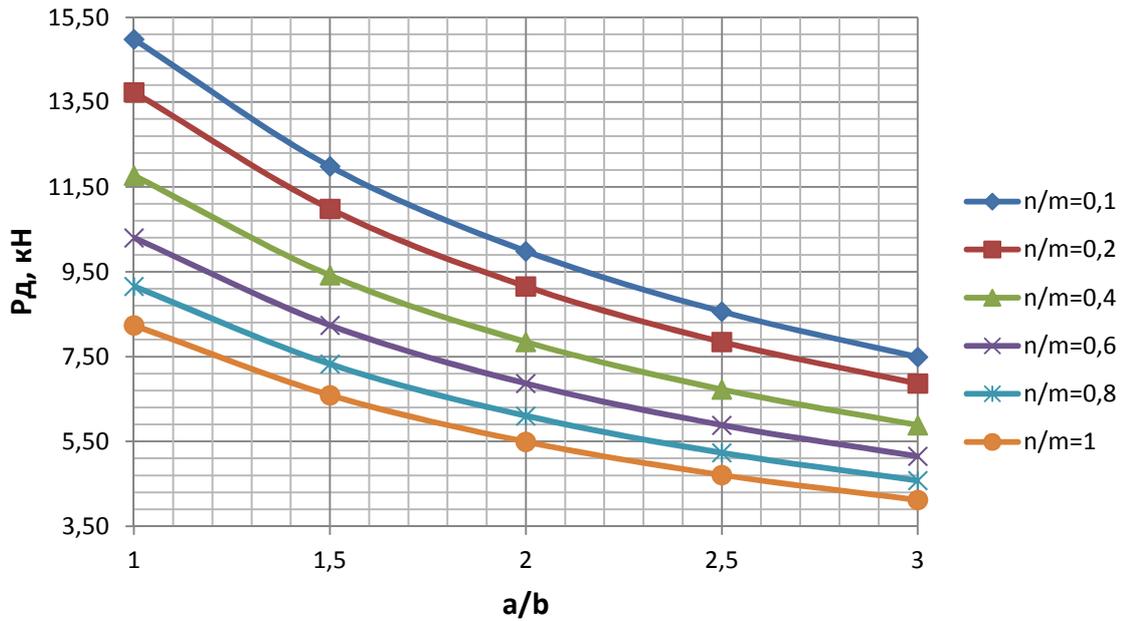


Рисунок 2.11 - Влияние соотношения плеч балки a/b на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 75^\circ$

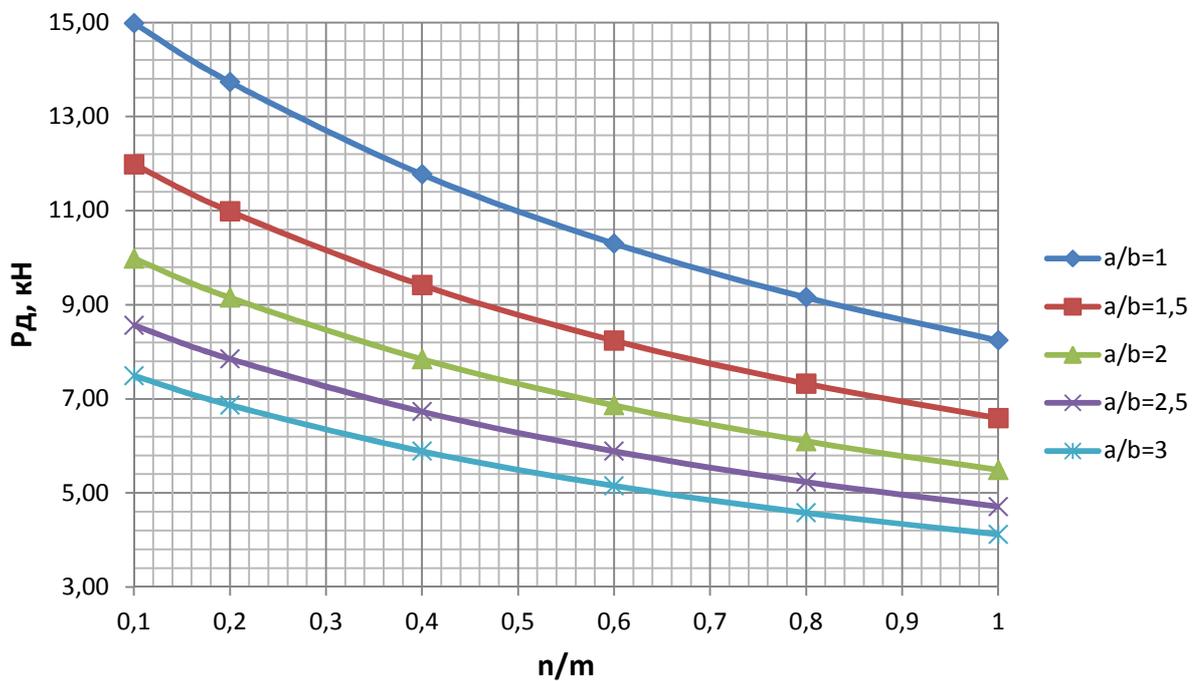


Рисунок 2.12 - Влияние соотношения плеч маятника n/m на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 75^\circ$

Характер совместного влияния отношений a/b и n/m на величину догрузки гидронавески трактора виден на трехмерном графике (рисунок 2.13).

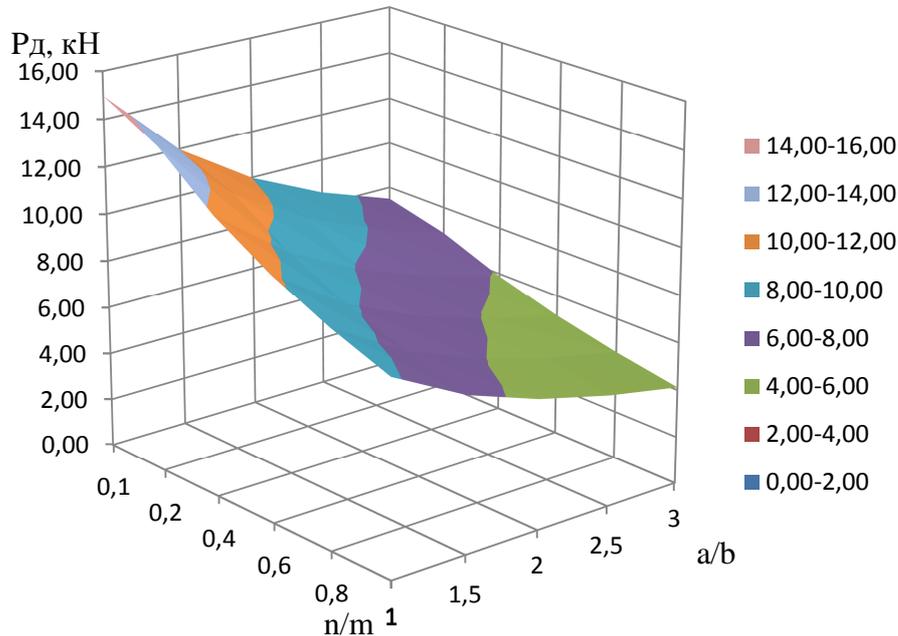


Рисунок 2.13 - Влияние соотношения плеч балки a/b и концов маятника n/m на величину догрузки трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 75^\circ$

Анализ приложения А и рисунков 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 указывает на то, что:

- при крюковом усилии равном 8,83 кН, изменении отношений a/b и n/m соответственно в диапазонах от 1 до 3 и от 0,1 до 1, а угла α_M наклона маятника к упору от 60° до 80° догрузку на гидронавеску трактора изменяют от 1,9 кН до 22,8 кН;

- угол наклона маятника к упору оказывает существенное влияние на величину догрузки гидронавески трактора, это подтверждает рисунок 2.14, где наблюдается резкое увеличение догружающей силы. Так при увеличении угла наклона маятника к упору с 60° до 65° догружающая сила гидронавески трактора возросла на 0,87 кН, но при увеличении угла наклона маятника к упору от 75° до 80° увеличение догружающей силы составляет уже 4,07 кН.

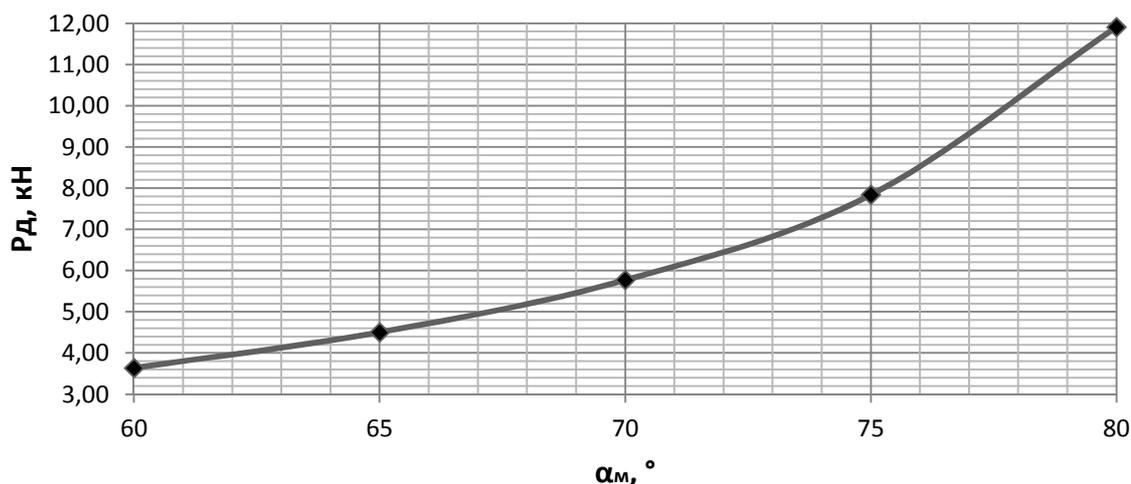


Рисунок 2.14 - Изменение догружающего усилия P_d от угла наклона маятника к упору α_m (при $a/b=2,5$; $n/m=0,2$)

Проведенный анализ зависимости 2.26 указывает на широкие возможности регулирования догрузки гидронавески трактора со стороны прицепа в зависимости от условий использования прицепного ТГА, оснащенного предложенным ТДУ.

2.5 Определение рациональной грузоподъемности тракторного прицепа, оснащенного ТДУ

Выше было сказано, что предложенное ТДУ к прицепу обеспечивает догрузку гидронавески трактора, величина которой определяется зависимостью (2.26). Другими словами ТДУ разгружает прицеп на величину равную P_d и делает трактор грузонесущим транспортным средством. Следовательно открывается возможность увеличения номинальной грузоподъемности прицепа на величину P_d , т.е.:

$$Q_{\text{ПР}}^* = Q_{\text{ПР}} + P_d, \quad (2.28)$$

где $Q_{\text{ПР}}^*$ - значение рациональной грузоподъемности прицепа, оснащенного ТДУ;

$Q_{\text{ПР}}$ - грузоподъемность прицепа.

В общем виде с учетом зависимости (2.26) выражение (2.28) запишется так:

$$Q_{\text{ПР}}^* = Q_{\text{ПР}} + P_{\text{КР}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \text{tg} \alpha_M, \quad (2.29)$$

но значение крюкового усилия определяется формулой (2.2).

Тогда в общем виде рациональная грузоподъемность прицепа, оснащенного ТДУ, будет определяться зависимостью:

$$Q_{\text{ПР}}^* = Q_{\text{ПР}} + G_{\text{ПР}} (f_{\text{ПР}} \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \text{tg} \alpha_M. \quad (2.30)$$

Т.е. рациональная грузоподъемность прицепа есть функция параметров, характеризующих условия эксплуатации - $f_{\text{ПР}}$, α и конструкцию ТДУ - a , b , n , m , α_M . Для выбранных значений отношений $a/b=2,5$, $n/m=0,2$ и $\alpha_M = 75^\circ$ изменение рациональной грузоподъемности в зависимости от коэффициента сопротивления передвижению прицепа и угла склона полей представлено на рисунке 2.15.

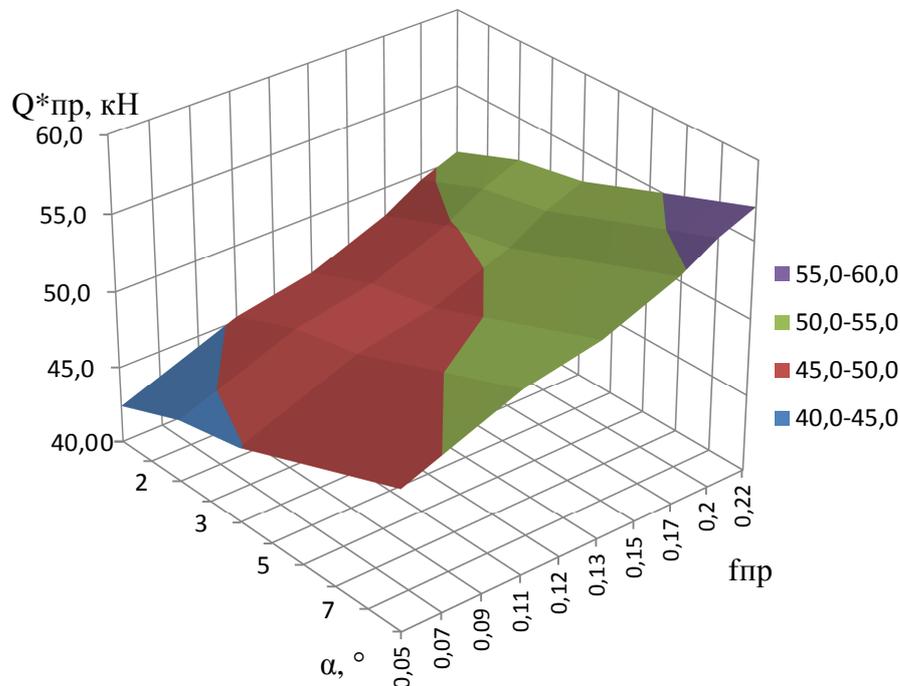


Рисунок 2.15 – Зависимость грузоподъемности прицепа 2ПТС-4, оснащенного ТДУ, от коэффициента сопротивления передвижению и угла склона поля (при $a/b=2,5$; $n/m=0,2$; $\alpha_M = 75^\circ$)

Для средних значений угла склона поля $\bar{\alpha} = 2,5^\circ$ и коэффициента сопротивления передвижению прицепа $\bar{f} = 0,12$ рациональная грузоподъемность прицепа 2ПТС-4, оснащенного ТДУ равна, $Q_{\text{ПП}}^* = 4,785m$.

2.6 Исследование влияния ТДУ к прицепу на распределение его веса по опорам

Перенос части веса прицепа на гидронавеску трактора позволяет увеличить количество перевозимого груза агрегатом при той же номинальной грузоподъемности прицепа.

Заметим, что все предлагаемые ТДУ к прицепу [18, 29, 33, 36, 76, 106] обеспечивают разгрузку передней оси прицепа, но увеличивают на некоторую величину нагрузку на задние колеса, а при увеличении количества перевозимого груза, с равномерным его распределением по платформе кузова, задние колеса будут испытывать еще большую нагрузку. Определим величину перегрузки задних колес.

Схема сил, действующих на прицеп при движении агрегата, показана на рисунке 2.16.

Составим уравнения моментов сил относительно точки B (рисунок 2.17) [87]:

$$P_d \cdot AB - P_c \cdot BC + G_{\text{ПП}} \cdot BD - R_B \cdot KB - R_o \cdot B\Gamma - P_3 \cdot BE = 0. \quad (2.31)$$

Так как вертикальная составляющая силы R_B равна по величине силе R_o (рисунок 2.4), а отрезок $KB+B\Gamma=Z$, то нагрузка на заднюю ось прицепа P_3 , равна:

$$P_3 = \frac{P_d \cdot AB - P_c \cdot BC + G_{\text{ПП}} \cdot BD - R_B \cdot Z}{BE}. \quad (2.32)$$

Обозначим величину BE в уравнении (2.31) символом $L_{\text{ПП}}$.

Тогда значение перегрузки задних колес прицепа запишется так:

$$\Delta P_3 = \frac{P_D \cdot AB - P_C \cdot BC + G_{\text{ПП}} \cdot BD - R_B \cdot Z}{L_{\text{ПП}}} - \frac{G_{\text{ПП}}}{2}. \quad (2.33)$$

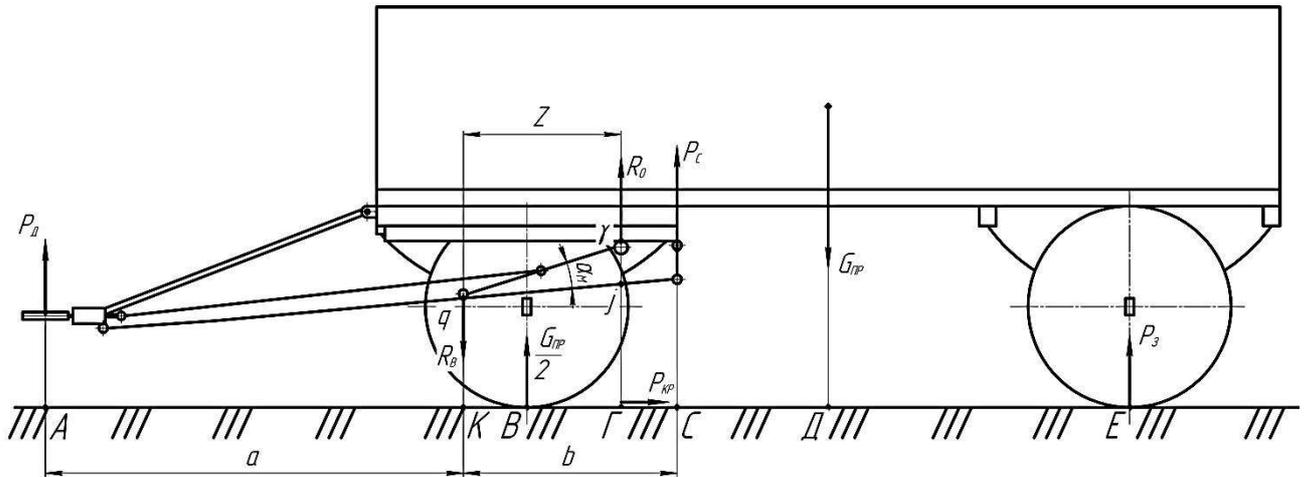
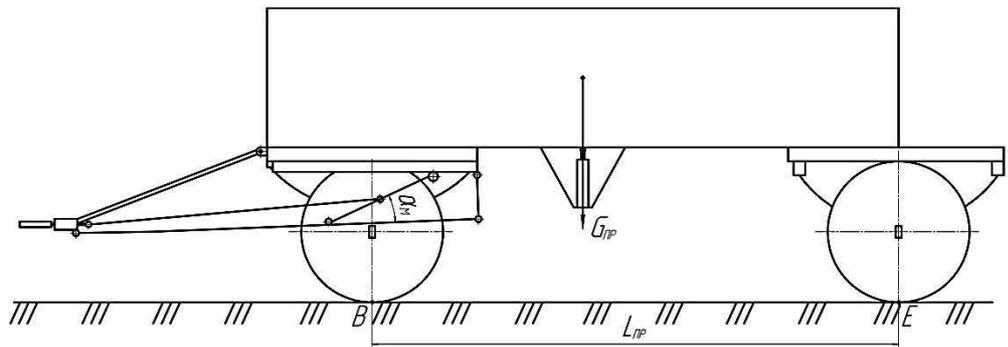


Рисунок 2.16 - Схема сил действующих на прицеп при движении агрегата

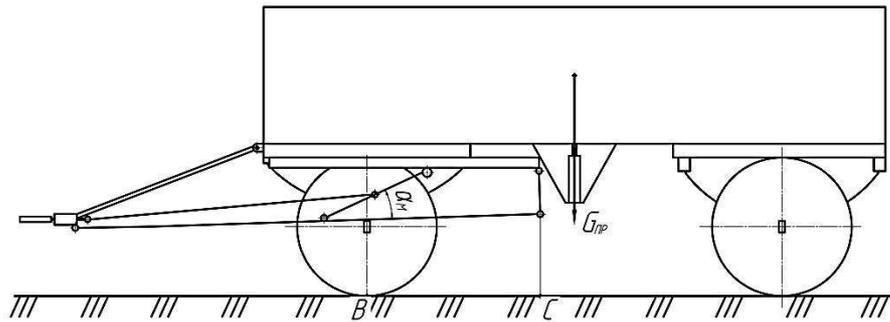
Анализ зависимости (2.33) показывает, что нагрузку на задние колеса прицепа, используемого с ТДУ, возможно снизить несколькими способами:

- увеличить базу прицепа, при сохранении исходного положения кузова относительно рамы (рисунок 2.17 а);
- увеличить длину балки и упора (рисунок 2.17 б);
- сместить центр массы груза ближе к передней оси прицепа, путем изменения формы кузова (рисунок 2.17 в);
- увеличить длину маятника (рисунок 2.17 г).

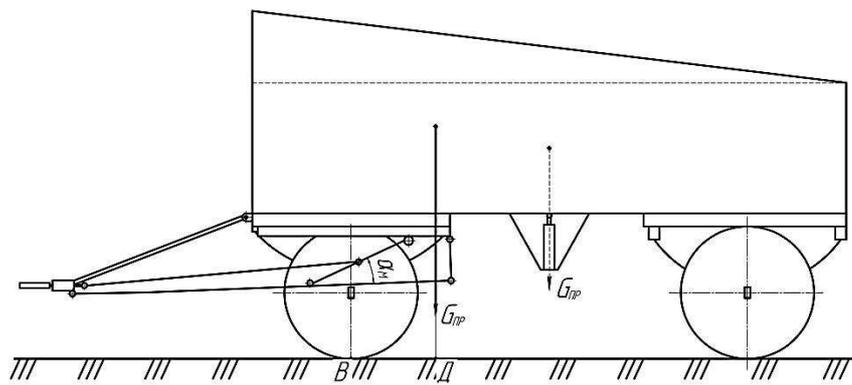
Так как значение базы прицепа $L_{\text{ПП}}$ в выражении (2.33) находится в знаменателе, то наиболее эффективным способом снижения перегрузки задних колес прицепа является первый из предложенных вариантов, при условии, что кузов остается в исходном положении относительно рамы.



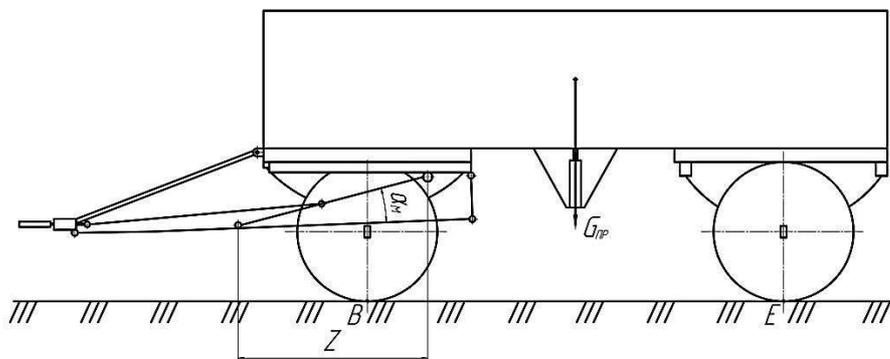
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.17 - Схемы способов снижения нагрузки на задние колеса прицепа при использовании его с тягово-догрузочным устройством

Влияние базы прицепа на величину перегрузки задних колес показано на рисунке 2.18.

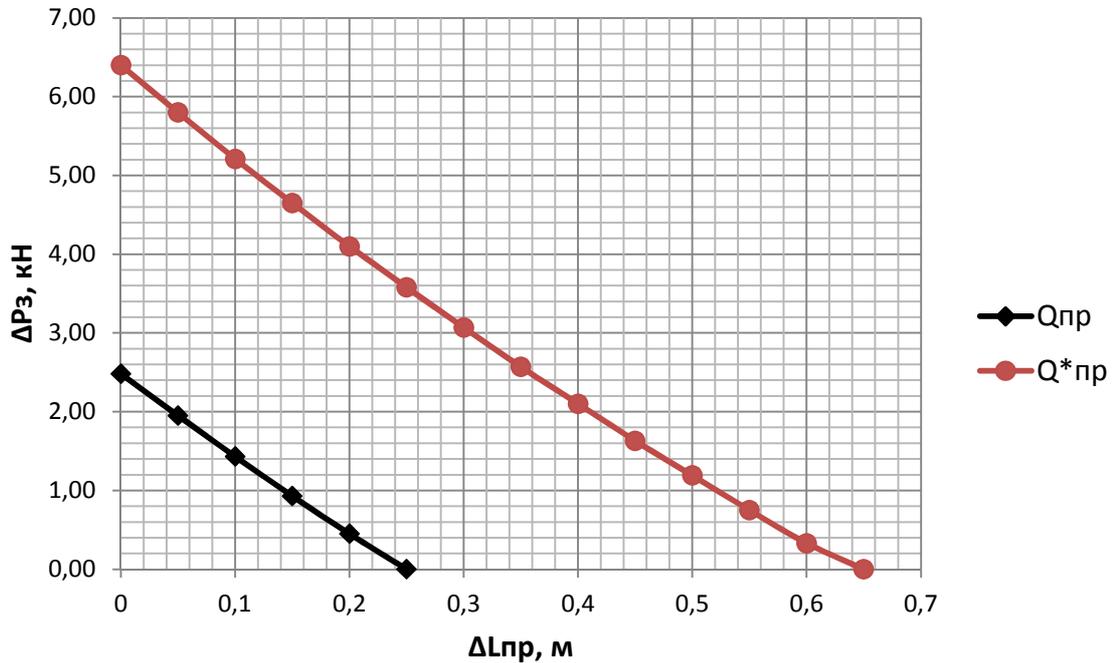


Рисунок 2.18 – Влияние увеличения базы $\Delta L_{пр}$ прицепа 2ПТС-4 на перегрузку его задних колес при грузоподъемности $Q_{пр} = 4m$ и $Q^*_{пр} = 4,785m$

Как видно из рисунка 2.18 перегрузка задних колес прицепа, оснащенного ТДУ, при исходной его базе $L_{пр} = 2,7m$ равна 2,5 кН (при $Q_{пр} = 4m$) и 6,4 кН (при $Q^*_{пр} = 4,785m$), с увеличением базы она снижается и достигает нулевого значения при $\Delta L_{пр}$ равном 0,25 м (при $Q_{пр} = 4m$) и 0,65 м (при $Q^*_{пр} = 4,785m$), т.е. исключить перегрузку задних колес прицепа 2ПТС-4 возможно путем увеличения его базы на 0,25 м (при $Q_{пр} = 4m$) и 0,65 м (при $Q^*_{пр} = 4,785m$).

Однако следует заметить, что увеличение базы прицепа ведет к вмешательству в конструкцию его ходовой системы.

Увеличение длины балки и упора имеют ограниченные возможности из-за наличия гидроцилиндра подъема кузова, размещенного ниже рамы прицепа.

Смещение центра масс груза ближе к передней оси прицепа ведет также к изменению конструкции прицепа.

Увеличение длины маятника и перенос точки его крепления на балке ведет к уменьшению угла его наклона к горизонтали, а как следует из выражения (2.26) уменьшение угла наклона маятника ведет к уменьшению догружающего усилия на трактор со стороны прицепа.

Не исключая возможность использования каждого из предложенных способов снижения нагрузки на задние колеса прицепа и их сочетаний, считаем более эффективным способом замену шин задних колес на шины с большей грузонесущей способностью (например: шины Я-324 А, устанавливаемые в настоящее время на прицеп 2ПТС-4 с грузонесущей способностью 1650 кг [11, 44], заменить на шины Ф-277 с максимальной нагрузкой 2240 кг [43]). В целях незначительного удорожания прицепа замену шин следует производить только на задних колесах.

2.7 Выводы

На основании выполненных исследований установлено:

1. Предельная допустимая нагрузка на гидронавеску трактора МТЗ-80, исключая ухудшение устойчивости и управляемости трактора для средних значений коэффициента сопротивления передвижению 0,12 и угла склона полей $2,5^\circ$ равна 7,7 кН.

2. При изменении высоты неровностей от 0 до 0,25 м длина серьги и маятника ТДУ изменяются незначительно - на 0,026 м.

3. Предложенное ТДУ к прицепу позволяет крюковую силу использовать в качестве догружающей гидронавеску трактора, причем величина догрузки находится в прямой зависимости от силы сопротивления передвижению прицепа, тангенса угла наклона маятника к упору и обратно пропорциональна отношениям переднего и заднего концов балки a/b , а также нижней и верхней частей маятника n/m , так при угле наклона маятника к упору равному 75° , увеличение отношения a/b от 1 до 3 при отношении n/m равном 0,1 ведет к уменьшению догрузки

гидронавески трактора от 15 кН до 7,5 кН. Аналогичное снижение догрузки гидронавески трактора наблюдается и при увеличении отношения n/m , если увеличить отношения n/m от 0,1 до 1, при отношении $a/b=3$, величина догрузки гидронавески трактора уменьшается от 7,5 до 4,1 кН.

4. Увеличение угла наклона маятника к упору ведет к резкому повышению догружающей силы, при изменении угла наклона маятника к упору от 60° до 65° догружающая сила гидронавески трактора возросла на 0,87 кН, а при увеличении его от 75° до 80° уже на 4,07 кН.

5. Оснащение прицепа ТДУ ведет к перегрузке его задних колес, величина которой зависит от конструктивных параметров прицепа и ТДУ. Наибольшее влияние на снижение перегрузки задних колес оказывает увеличение базы прицепа при исходном размещении кузова. Перегрузка задних колес прицепа 2ПТС-4 исключается, если увеличить базу прицепа на 0,25 м (при $Q_{пр} = 4m$) и 0,65 м (при $Q_{пр}^* = 4,785m$), при исходном положении кузова относительно рамы. Наиболее эффективный способ исключаящий перегрузку шин задних колес – замена их на шины с большей грузонесущей способностью.

3 Методика проведения экспериментальных исследований

В целях определения: кинематических параметров тягово-догрузочного устройства к прицепу, допустимой нагрузки на гидронавеску трактора, а также оценки технико-экономической эффективности применения предложенного технического решения необходимо провести следующие экспериментальные исследования:

1. Установить характер распределения высоты неровностей преодолеваемых прицепным ТТА, при выезде с поля на дорогу;
2. Определить величину буксования движителей трактора при работе ТТА на деформируемых грунтах без ТДУ, с ТДУ при пустом прицепе, при номинальной грузоподъемности прицепа, а также при увеличении ее на величину равную догрузки трактора со стороны прицепа;
3. Определить часовой расход топлива трактором для шести вариантов прицепного ТТА;
4. Определить распределение веса прицепного ТТА с ТДУ по его опорам;
5. Дать оценку условиям проведения эксперимента: твердость и влажность почвы.

3.1 Выбор объекта исследования

В состав прицепных транспортных агрегатов входит энергетическое средство (трактор) и прицеп.

Из отечественных тракторов на транспортно-технологических и транспортных работах используются тракторы тяговых классов 9; 14; 20; 30; 50 кН. Кроме того за последнее десятилетие наблюдается поступление на рынок зарубежных тракторов различных фирм.

В Белгородской области наибольшее распространение получили тракторы Минского тракторного завода, а также фирмы John Deere [21]. На рисунке 3.1 показано их наличие.

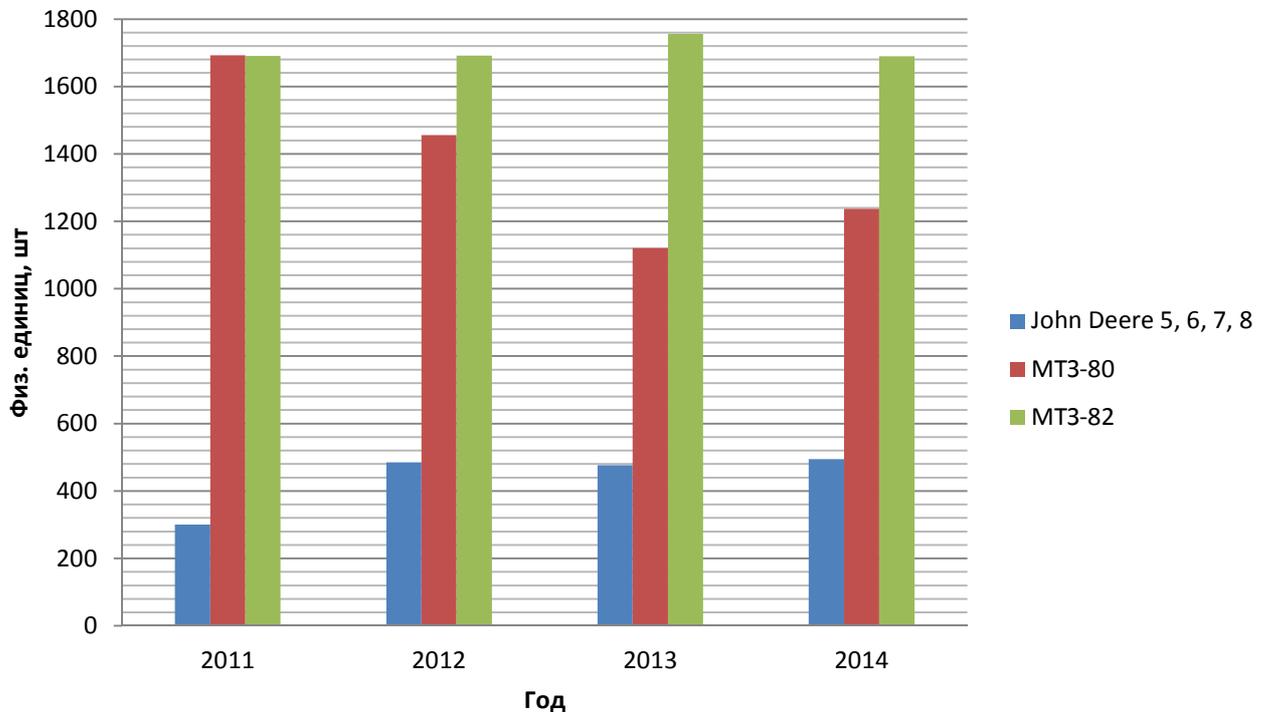


Рисунок 3.1 - Оперативное наличие техники в сельскохозяйственных предприятиях Белгородской области

Из рисунка 3.1 видно, что количество тракторов МТЗ-82 и МТЗ-80 больше чем тракторов марки John Deere соответственно в три и четыре раза, поэтому в качестве объекта исследования был выбран прицепной тракторный транспортный агрегат типа МТЗ-80+2ПТС-4.

3.2 Методика определения высоты неровностей, преодолеваемых прицепным ТТА

Для выявления характера распределения высоты неровностей преодолеваемых прицепным ТТА МТЗ-80+2ПТС-4 при выезде с поля на дорогу необходимо провести их замеры.

При проведении замеров было использовано следующее оборудование:

1. Металлический профиль, ПП 60x27 длиной 3 м;
2. Рулетка длиной 5 м, с ценой деления 1 мм;
3. Линейка по ГОСТ 17435-72 50 см, с ценой деления 1мм;
4. Перманентный маркер ALUMATE P-200.

Эксперимент проводился на выездах с полей на дорогу в колхозе им. Фрунзе Белгородской области, Белгородского района.

Замеры проводились следующим образом:

1. На металлическом профиле перманентным маркером были проведены три линии, расстояние между двумя крайними равно длине продольной базы трактора МТЗ-80 (2370 мм) [74], а центральная линия является ее серединой.

2. Металлический профиль прижимают к препятствию в точке, где проходит центральная линия;

3. Используя линейку, проводится замер расстояния от нижней части металлического профиля до поверхности поля в вертикальном направлении в двух крайних точках, отмеченных на профиле (рисунок 3.2);

4. Полученные данные заносятся в таблицу (см. приложение Б).

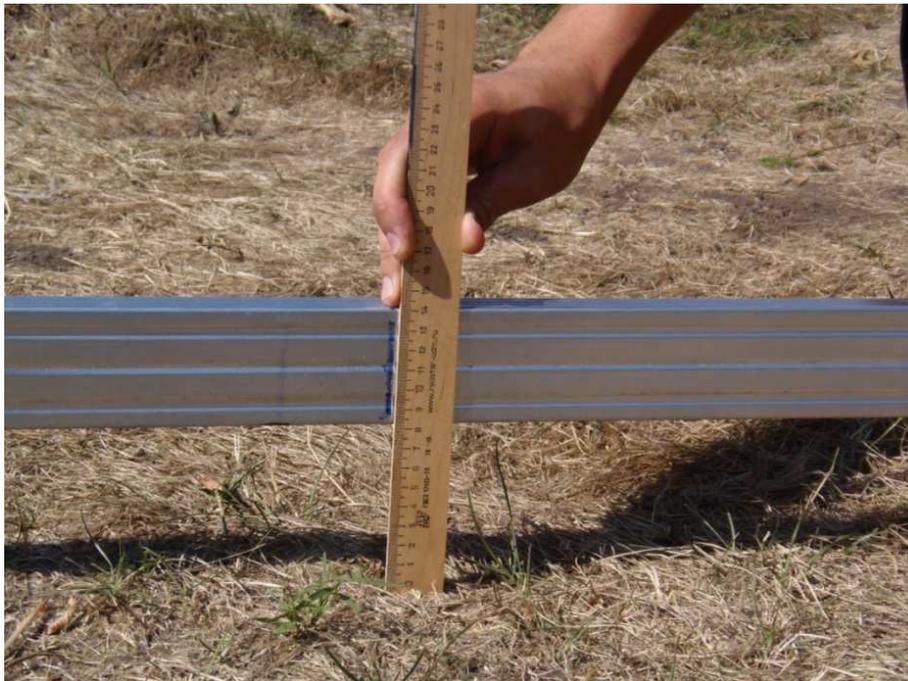


Рисунок 3.2 – Измерение высоты неровностей преодолеваемых прицепным ТГА при выезде с поля на дорогу

Высоту преодолеваемой неровности определяли как среднюю величину двух расстояний от левого и правого концов металлического профиля до поверхности дороги.

3.3 Определение буксования движителей трактора

Буксования движителей трактора МТЗ-80 определялось при работе ТГА МТЗ-80+2ПТС-4 на деформируемых грунтах без ТДУ и с ТДУ при пустом прицепе, при его номинальной грузоподъемности, а также при увеличении ее на величину равную догрузки гидронавески трактора со стороны прицепа (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Прицепной ТГА в составе МТЗ-80+2ПТС-4

Вес пустого прицепа равен 14 кН, номинальная грузоподъемность - 40 кН [72], при увеличении на 7,85 кН она составляла 47,85 кН. Эксперимент проводился на поле УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО БелГАУ им. В.Я. Горина, п. Майский, Белгородская область.

В качестве груза использовался растительный грунт влажностью 60%. Для создания веса прицепа в соответствии с планом эксперимента, 40 кН грунта распределили равномерно в кузове прицепа, а дополнительный груз равный 7,85 кН загрузили в 16 мешков по 500 Н. Расфасовку производили на платформенных весах ВСП4-3000А, максимальная грузоподъемность их равна 3т. Мешки использовались для увеличения общего веса прицепа до 61,85 кН.

Буксование движителей трактора определяли по формуле:

$$\delta = \left(1 - \frac{200}{n_o \cdot l} \right), \quad (3.1)$$

где n_o - число импульсов датчика, шт;

l - длина дуги на ободе колеса, соответствующая одному импульсу датчика, м.

Длина дуги на ободе колеса равна:

$$l = \frac{\pi \cdot D_k}{K_{\text{болтов}}}, \quad (3.2)$$

где D_k - диаметр ведущего колеса трактора, м;

$K_{\text{болтов}}$ - число выступов (болтов) на полуоси трактора, шт.

Замер буксования движителей трактора производили на зачетном участке длиной 200 м в одном направлении затем 200 м в противоположном. Замер участка производился электронным дорожным измерительным колесом (курвиметром) ADA Wheel 100 Digital (рисунок 3.4). Для обозначения места начала и окончания измерения использовалась стрелка-отвес, которой оборудовано дорожное измерительное колесо ADA Wheel 100 Digital. Результаты измерений фиксировались на дисплее.

Измерения по грунтовой дороге производили на зачетном участке 2000 м, замер участка производили при помощи навигатора NAVITEL.

Для ведущего колеса трактора на участке 400 м по полю и 2000 м по грунтовой дороге определяли среднее число оборотов, затем вычисляли буксование по формуле (3.1).

При проведении эксперимента контролировали следующие параметры:

1. $n_{дв}$ - частоту вращения коленчатого вала двигателя, об/мин;
2. n_o - число оборотов ведущего колеса трактора, шт;
3. t - время движения агрегата на зачетном участке, с.

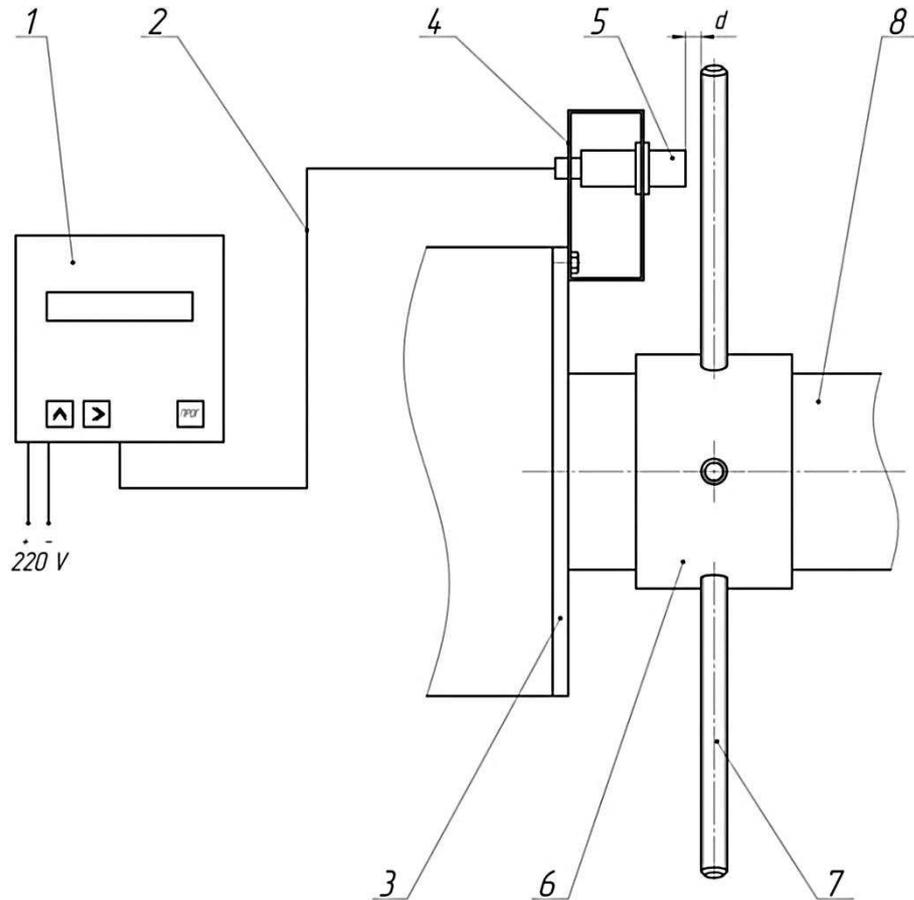


Рисунок 3.4 - Электронное дорожное измерительное колесо (курвиметр) ADA Wheel 100 Digital

Частоту вращения коленчатого вала двигателя контролировали по тракторному тахоспидометру. Управляя рукояткой подачи топлива, удерживали частоту вращения коленчатого вала примерно 2200 об/мин. Задаваемая частота вращения коленчатого вала на пятой передаче обеспечивает скорость движения равную 10 км/ч, что соответствует агротехнологическим требованиям.

Число оборотов ведущего колеса трактора на зачетных участках определяли счетчиком, разработанным на основе микропроцессорного счетчика импульсов СИ 8 и индуктивного датчика Autonics PRCM18-8DN. Принципиальная схема счетчика представлена на рисунке 3.5. Для обеспечения необходимой точности измерения числа оборотов в соответствии с требованиями ГОСТ 7057-81 [27] (0,2 оборота колеса) на полуось при помощи хомута из полосовой стали закрепили

пять выступов симметрично расположенных относительно центра вращения колеса.

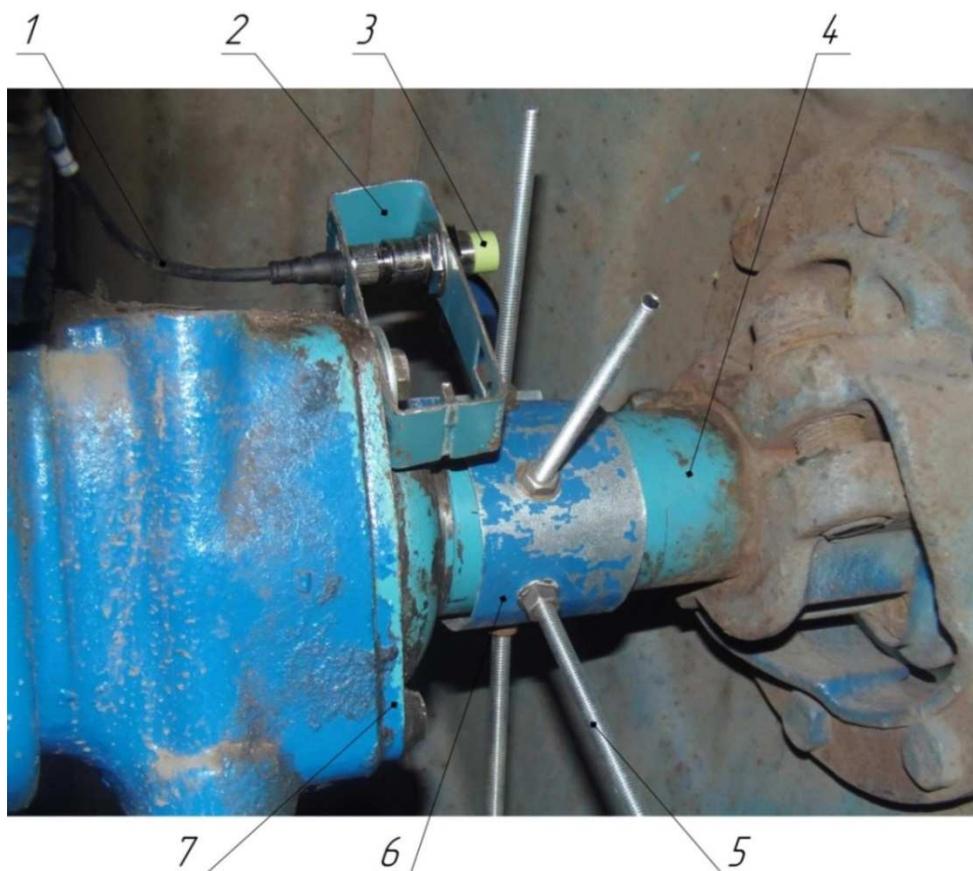


1 - микропроцессорный счетчик импульсов СИ 8; 2 – соединительный кабель; 3 – крышка рукава полуоси; 4 – корпус-держатель индуктивного датчика; 5 - индуктивный датчик Autonics PRCM18-8DN; 6 – хомут; 7 – выступы; 8 – полуось трактора

Рисунок 3.5 - Принципиальная схема счетчика числа оборотов колеса

Счетчик содержит следующие элементы. Микропроцессорный счетчик импульсов 1 соединен с индуктивным датчиком 5 кабелем 2. В свою очередь индуктивный датчик 5 установлен в корпусе-держателе 4, который закреплен на крышке рукава полуоси 3. На полуоси 8 установлен хомут 6 с закрепленными на нем выступами 7. При этом индуктивный датчик закреплен на минимально возможном расстоянии от выступов. Надежная работа индуктивного датчика обеспечивается при расстоянии $d=8$ мм.

Счетчик импульсов счетчика оборота колеса, установленный на трактор МТЗ-80 показан на рисунке 3.6.



1 – соединительный кабель; 2 – корпус-держатель индуктивного датчика; 3 - индуктивный датчик Autonics PRCM18-8DN; 4 - полуось трактора; 5 - выступы; 6 – хомут; 7 - крышка рукава полуоси

Рисунок 3.6 - Счетчик импульсов счетчика оборота колеса, установленный на трактор МТЗ-80

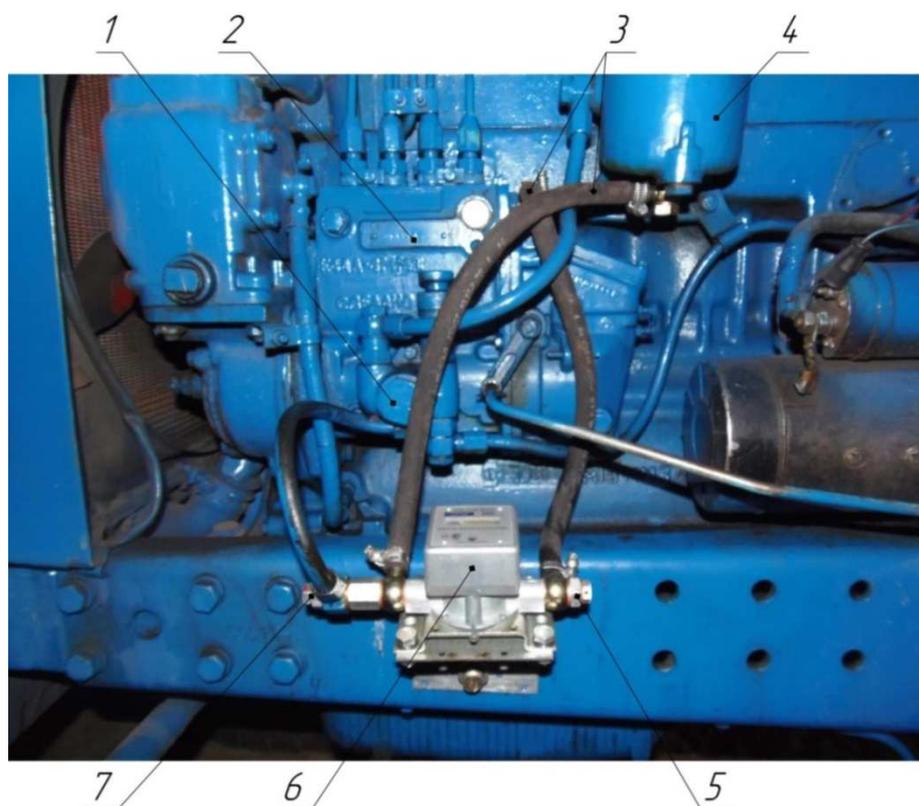
Счетчик работает следующим образом. Для начала отсчета числа оборотов микропроцессорный счетчик импульсов СИ 8 включают в источник бесперебойного питания. Для прекращения отсчета микропроцессорный счетчик импульсов отключают от источника бесперебойного питания. Стоит отметить, что при отключении питания происходит сохранение результатов счета. Также счетчик оснащен функцией сброса данных. При движении трактора полуось вращается, а закрепленные на ней выступы проходят через индуктивный датчик

Autonics PRCM18-8DN, который чувствителен к материалам из металла. В результате срабатывания датчика, рабочее состояние которого отображается красным индикатором, сигнал через соединительный кабель подается на микропроцессорный счетчик импульсов. Микропроцессорный счетчик импульсов при подаче сигнала выполняет элементарную арифметическую операцию сложения подаваемых на его входы импульсов. На экране микропроцессорного счетчика импульсов число оборотов отображается постоянно.

Результаты исследований представлены в приложении В.

3.4 Определение часового расхода топлива трактора

С целью определения часового расхода топлива в топливную систему двигателя трактора МТЗ-80 был установлен расходомер DFM 50С (рисунок 3.7).



1 – помпа; 2 – ТНВД; 3 – топливопроводы; 4 – фильтр тонкой очистки; 5 – перепускной клапан; 6 – расходомер DFM 50С; 7 – обратный клапан

Рисунок 3.7 - Расходомер DFM 50С, установленный в топливную систему двигателя трактора МТЗ – 80

Принцип действия расходомера заключается в преобразовании объема протекающего топлива в количество электрических импульсов. Питание DFM 50С осуществляется от встроенной батареи.

Установка DFM включала в себя следующие основные элементы:

1. Оценка состояния трактора.
2. Монтаж.
3. Проверка работоспособности.

Перед началом установки DFM 50С было оценено состояние трактора, сделан вывод о возможности проведения такой установки.

Осмотр трактора включал следующие проверки:

а) Заводку двигателя и проверку его работы в течение 5...10 минут на холостом ходу и 5...10 минут в движении под нагрузкой. Двигатель должен работать равномерно, не глохнуть, под нагрузкой не должна ощущаться потеря мощности.

б) Осмотр всех топливопроводов на наличие повреждений и подтекания топлива.

Недостатков выявлено не было.

Монтаж. Общие указания по монтажу.

При монтаже DFM 50С выполнялись следующие правила:

1. Топливопроводы на тракторе должны быть надежно защищены от внешних разрушающих воздействий.

2. Не допускается уменьшение внутреннего сечения топливопроводов при их изгибе.

3. Крепление топливопроводов на трактор должно производиться стяжками каждые 0,5м.

4. Топливопроводы по длине должны иметь небольшой запас для компенсации температурных изменений длины.

5. Не рекомендуется устанавливать DFM 50C на элементах, подверженных сильной вибрации и нагреву.

6. При соединении топливопроводов необходимо следить за чистотой фланцев и резьбовых соединений.

7. Для всех уплотнений обязательно использовать только новые медные уплотнительные шайбы из монтажного комплекта.

8. Резиновые топливопроводы следует подключать к элементам топливной системы с помощью поворотных угольников и закреплять хомутами необходимого диаметра.

9. После установки DFM необходимо удалить воздух из топливной системы.

Для измерения расхода топлива трактора необходимо обеспечить, чтобы через DFM 50C протекло только топливо, потребляемое двигателем.

Для установки счетчика требуется:

- DFM 50C;
- монтажный комплект;
- кронштейн для монтажа DFM 50C;
- инструменты.

Для прохождения топлива через DFM 50C под давлением и уменьшения нагрузки на помпу расходомер был установлен в топливную систему трактора по схеме «на давление». Схема установки «на давление» приведена на рисунке 3.8.

DFM 50C был установлен после штатного фильтра тонкой очистки. Помпа засасывает топливо из бака через фильтр грубой очистки и закачивает его в фильтр тонкой очистки и далее через DFM 50C в ТНВД.

Для правильного учета топлива в схеме было изменено место сброса избыточного топлива в обратку таким образом, чтобы оно не подсчитывалось повторно. Для этого перепускной клапан с ТНВД был перенесен на участок топливной магистрали между помпой и DFM 50C. В противном случае большая часть прошедшего через DFM 50C топлива будет возвращаться в бак и поступать

в DFM 50С повторно. При этом расход будет завышен в 3-6 раз. Чаще всего перепускной клапан переносится на фильтр тонкой очистки. Обратка с него может идти в бак или в другое штатное место. Вместо перепускного клапана устанавливается пробка из монтажного комплекта. В нашем случае перепускной клапан был перенесен на вход DFM 50С, а обратка пошла на помпу.

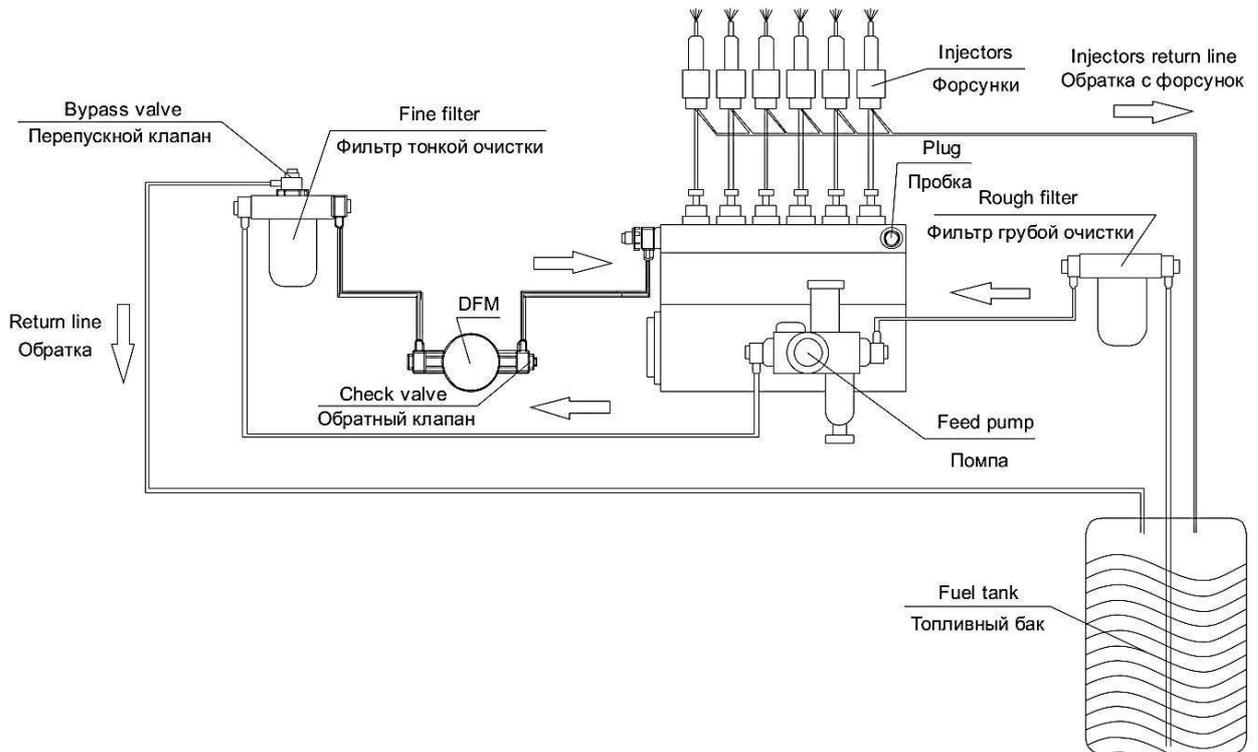


Рисунок 3.8 - Схема установки DFM 50С на давление

На выходе DFM 50С устанавливается обратный клапан. Схема сброса обратки форсунок не меняется и не учитывается.

Фактический расход топлива рассчитывают по наблюдениям за агрегатом. Дело в том, что в разных климатических и физических условия трактор использует разное количество дизельного топлива [50, 69, 107].

Часовой расход топлива $G_{\text{ч}}$, л/ч, определяют по формуле [94]:

$$G_{\text{ч}} = 0,7 \cdot R \cdot N, \quad (3.3)$$

где R - удельный расход топлива, гкВт/ч;

N - мощность двигателя, л. с.

Расход топлива зависит от степени загрузки двигателя, от качества дорог и грузоподъемности тракторного прицепа. При перевозках обычно расходуется 8,5-13 л/ч [90, 94].

Эксперимент по определению часового расхода топлива также проводился на поле УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО БелГАУ им. В.Я. Горина, п. Майский, Белгородская область.

Для начала, при помощи курвиметра ADA Wheel 100 Digital, был произведен замер участка поля длиной 400 м, 200 м в одном направлении затем 200 м в противоположном. Затем при помощи навигатора NAVITEL произвели замер участка грунтовой дороги длиной 2000 м.

На двух зачетных участках фиксировалось по шесть значений часового расхода топлива (G_q , л/ч):

1. Для прицепного ТТА без ТДУ. Общий вес прицепа 54 кН;
2. Для прицепного ТТА с ТДУ. Общий вес прицепа 54 кН;
3. Для прицепного ТТА без ТДУ. Общий вес прицепа 61,85 кН;
4. Для прицепного ТТА с ТДУ. Общий вес прицепа 61,85 кН;
5. Для прицепного ТТА без ТДУ, без груза. Вес прицепа 14 кН;
6. Для прицепного ТТА с ТДУ, без груза. Вес прицепа 14 кН;

Результаты исследований представлены в приложении Г.

3.5 Методика определения распределения веса прицепа, оснащенного ТДУ, по его опорам

Во второй главе было установлено, что величины реакции опорной поверхности на гидронавеску трактора и оси прицепа зависят от изменения соотношения нижней и верхней частей маятника (n/m), изменения соотношения переднего и заднего концов балки (a/b), а также изменения угла наклона маятника к упору (α_M). Для установления указанных зависимостей и определения рациональных значений этих величин проведены экспериментальные исследования.

Они проводились в мастерской кафедры технического сервиса в АПК ФГБОУ ВО БелГАУ им В.Я. Горина в статике на горизонтальной поверхности.

При проведении экспериментов было использовано следующее оборудование и инструменты:

1. ТДУ к прицепу;
2. Весы платформенные ВСП4-3000А, до 3т;
3. Рулетка длиной 9 м, с ценой деления 1мм;
4. Динамометр ДПУ-20-1, соответствует 1-му классу точности. Измерение усилия производится в килоньютонах (кН) ГОСТ 13837-79, цена деления 0,2 кН;
5. Домкрат гидравлический 12 т (ШААЗ);
6. Талреп М16 кольцо-крюк, предельная рабочая нагрузка – 1,6 т.

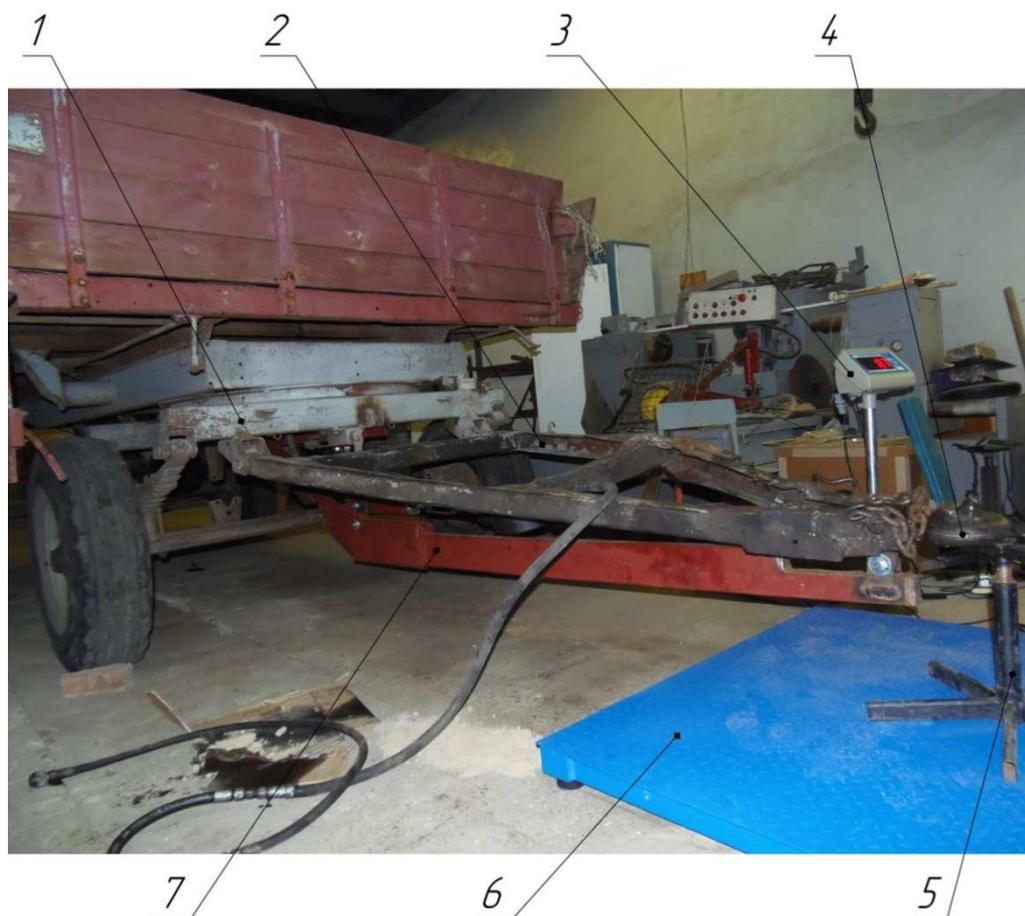
Экспериментальные исследования проводились для четырех точек на балке тягово-догрузочного устройства: 1- $a/b=2$; 2 - $a/b=2,2$; 3- $a/b=2,4$; 4- $a/b=2,5$ и для трех точек на маятнике тягово-догрузочного устройства: 1 - $n/m=0,2$; 2 - $n/m=0,4$; 3 - $n/m=0,6$. Общий вес прицепа с ТДУ составил 54660 Н.

Величину силы догружающей трактор определяли следующим образом.

На грузоприемную платформу весов через металлическую подставку устанавливалось тяговое кольцо дышла прицепа (рисунок 3.9).

При закручивании талрепа, встроенного в тягу ТДУ, создавалось необходимое крюковое усилие в интервале от 3000 до 9000 Н. Численное значение крюковой силы показывал динамометр, установленный между талрепом и концом тяги. Выбранный интервал был разбит на 4 диапазона по 1500 Н.

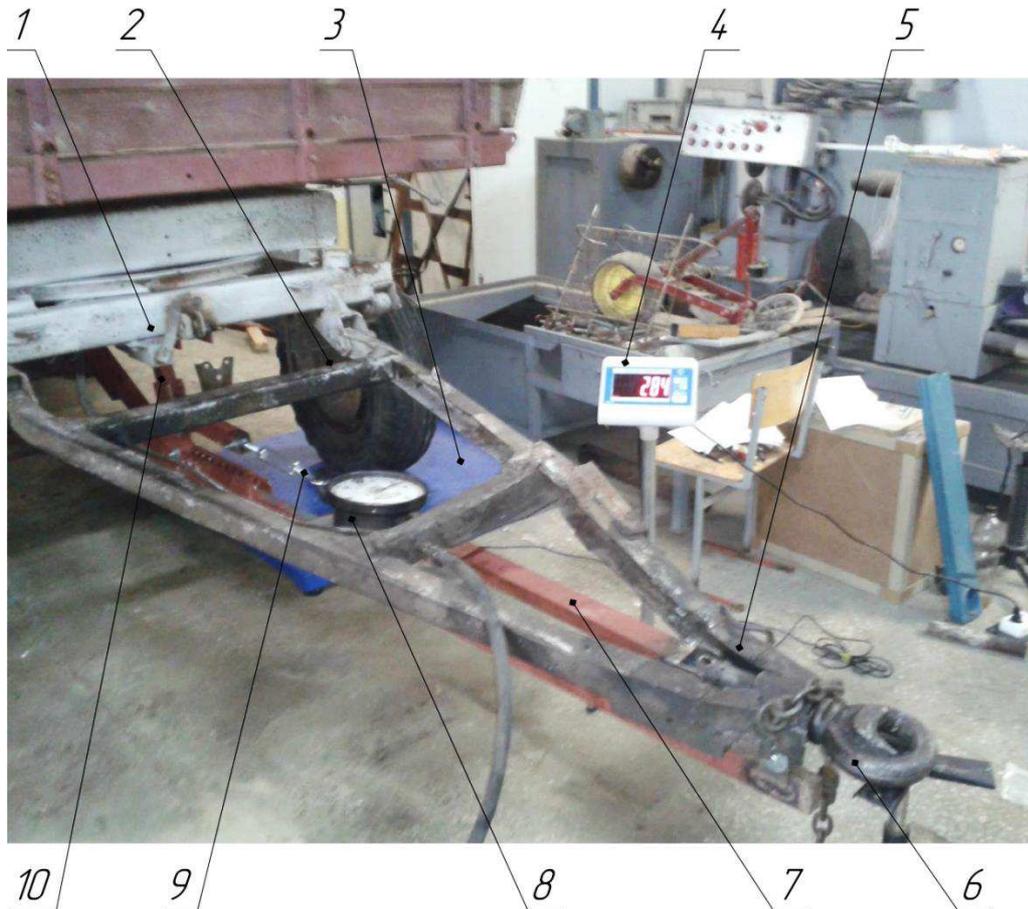
Эксперимент проводился во всех диапазонах усилий для всех сочетаний a/b и n/m . Получено 72 значения силы, догружающей гидронавеску трактора.



1 – рама поворотной тележки прицепа; 2 – дышло; 3 - вторичный измерительный прибор весов; 4 – тяговое кольцо дышла прицепа; 5 – металлическая подставка; 6 – платформа весов; 7 – тягово-догрузочное устройство

Рисунок 3.9 – Определение нагрузки на гидронавеску трактора

Величину реакции опорной поверхности на переднюю ось определяли следующим образом. Используя гидравлический домкрат, под левое переднее колесо прицепа были установлены весы (рисунок 3.10), а для того чтобы все колеса прицепа находили на одном уровне под остальные подкладывали деревянные бруски толщиной 100 мм (высота платформы весов). Тяговое кольцо дышла прицепа устанавливали на высоте 580 мм от опорной поверхности. Посредством талрепа создавали требуемую величину крюкового усилия при тех же комбинациях точек, что и при определении величины силы, догружающей трактор. Аналогично определялась реакция опорной поверхности и на задние колеса прицепа.



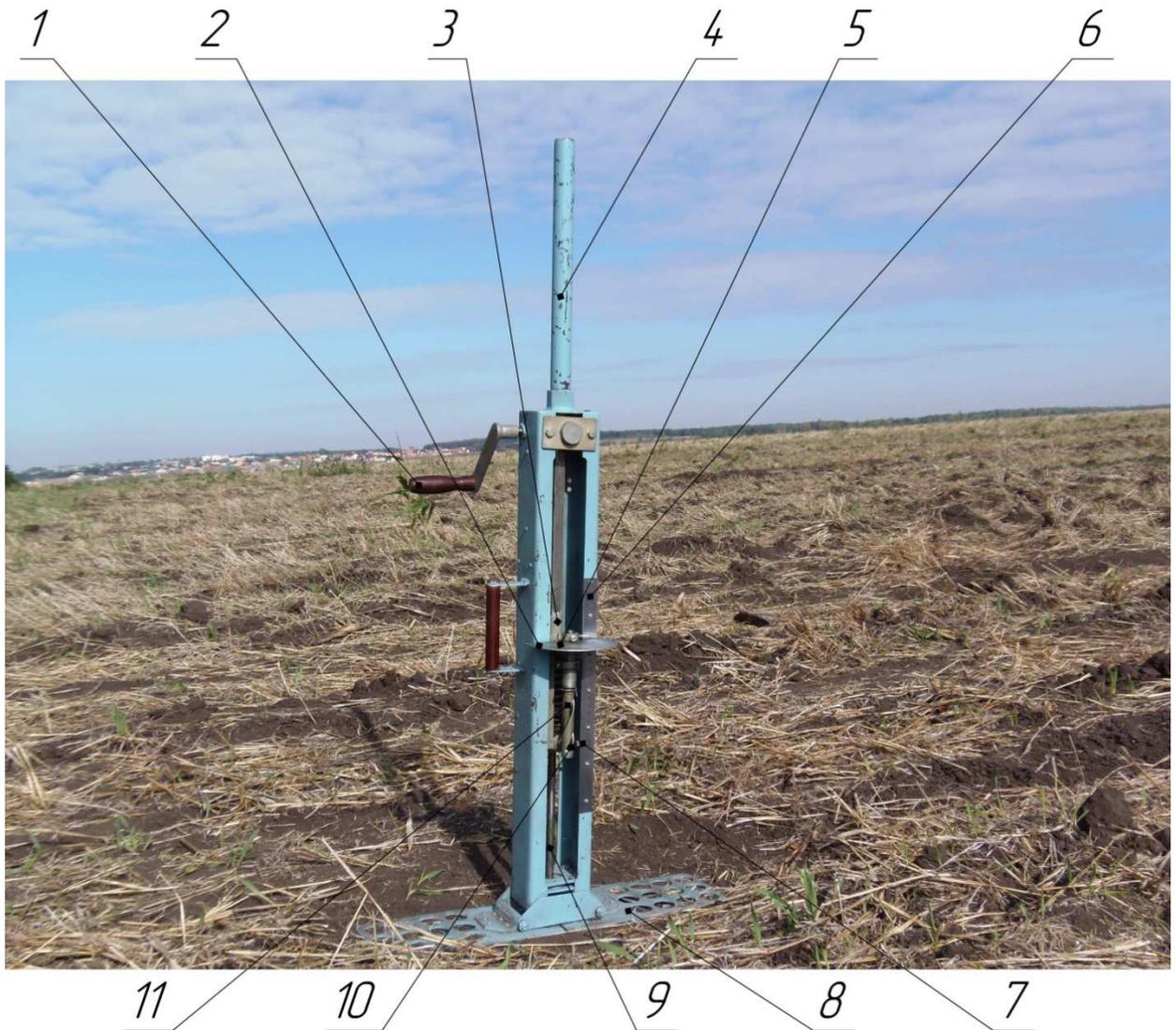
1 – рама поворотной тележки прицепа; 2 – передняя ось прицепа; 3 - платформа весов; 4 - вторичный измерительный прибор весов; 5 – дышло; 6 – тяговое кольцо дышла прицепа; 7 – тяга; 8 – динамометр; 9 – талреп; 10 – маятник

Рисунок 3.10 - Определение нагрузки на передние колеса прицепа

Результатом проведенного опыта являются экспериментальные данные распределения веса агрегата по его опорам при изменении соотношений нижней и верхней частей маятника (n/m) и переднего и заднего концов балки (a/b), они представлены в приложении Д.

3.6 Оценка условий проведения эксперимента

Твердость почвы определяли прибором ИП 232 РЭ (рисунок 3.11) по методике ГОСТ 20915-2011.



1 – рукоятка; 2 – шкала усилий; 3 – стакан; 4 – чехол; 5 – стрелка; 6 – измерительная линейка; 7 – указатель глубины; 8 – откидные упоры; 9 – штанга; 10 – шпилька; 11 – валик винтовой

Рисунок 3.11 – Прибор для измерения твердости почвы ИП 232 РЭ

Прибором ИП 232 РЭ пользуются следующим образом: установить прибор опорной площадкой на выбранный для опыта участок почвы. Стоя на откидных упорах 8, держась за головку чехла 4, медленным вращением приводной рукоятки 1 по часовой стрелке приступить к заглаблению штанги 9 с плунжером в почву. Одновременно с подачей звукового сигнала прекратить вращение рукоятки 1 и записать показания стрелки 5, которая фиксирует максимальную твердость почвы

на данном интервале погружения плунжера. Затем отвести стрелку 5 в положение “0” и продолжить заглубление плунжера на следующий интервал.

По завершению опыта по измерению твердости, вращением рукоятки 1 вернуть штангу 9 в исходное положение, затем перенести прибор на другой участок почвы.

Результаты замеров твердости почвы сведены в таблицу (приложение Е).

Влажность почвы 8 %, определяли согласно методики ГОСТ 20915-2011.

Атмосферное давление, температуру воздуха, скорость ветра не учитывали.

Влажность воздуха 32 %.

Характеристика фона: поле подготовленное под посев; поперечный уклон 2°; тип почвы – чернозем.

4 Определение силовых и кинематических параметров прицепного ТТА с ТДУ

4.1 Определение кинематических параметров ТДУ к прицепу

При выезде с поля на проселочную или профилированную дорогу трактор и прицеп оказываются на разных опорных плоскостях, в результате чего прицепное кольцо дышла прицепа совершает перемещение в вертикальном направлении, но так как к муфте дышла шарнирно прикреплена балка, а задний конец балки посредством серьги шарнирно соединен с задним концом рамы поворотной тележки, то маятник, шарнирно прикрепленный к верхней части балки, к середине которого прикреплена тяга, также шарнирно соединенная с тяговым кольцом дышла прицепа, будет изменять угол наклона к упору, жестко соединенному с рамой поворотной тележки. Анализ взаимодействия конструктивных элементов ТДУ к прицепу указывает на необходимость определения их конструктивных размеров с учетом технических параметров прицепа и характеристики дорожных условий.

Зависимости (2.7), (2.8), (2.9), (2.10), (2.16), (2.17), (2.20) показывают, что для определения конструктивных размеров тягово-догрузочного устройства необходимо знать следующие величины:

- кинематическую длину трактора $L_{KP} = 1,2 м$;
- базу трактора $L_{TP} = 2,37 м$;
- длину дышла прицепа $m_{\partial} = 2,105 м$;
- длину рамы поворотной тележки прицепа $r = 1,1 м$;
- расстояние от поверхности опоры до верхней части передней оси прицепа $l_{\partial} = 0,38 м$;
- высоту расположения прицепного устройства трактора над опорной поверхностью $l_{\partial} = 0,48 м$;

- высоту расположения нижней плоскости рамы поворотной тележки над поверхностью опоры $l_p = 0,765 м$.

А также установить максимальную высоту преодолеваемой неровности.

По 50 замерам высоты неровностей при выезде прицепного ТТА МТЗ-80+2ПТС-4 (см. приложение Б) построена гистограмма их распределения (рисунок 4.1) и установлен закон нормального распределения случайной величины x - высоты неровностей [47, 70] со следующими параметрами: минимальное значение высоты неровностей $x_{\min} = 0,01 м$, среднее - $\bar{x} = 0,05 м$, максимальное - $x_{\max} = 0,12 м$.

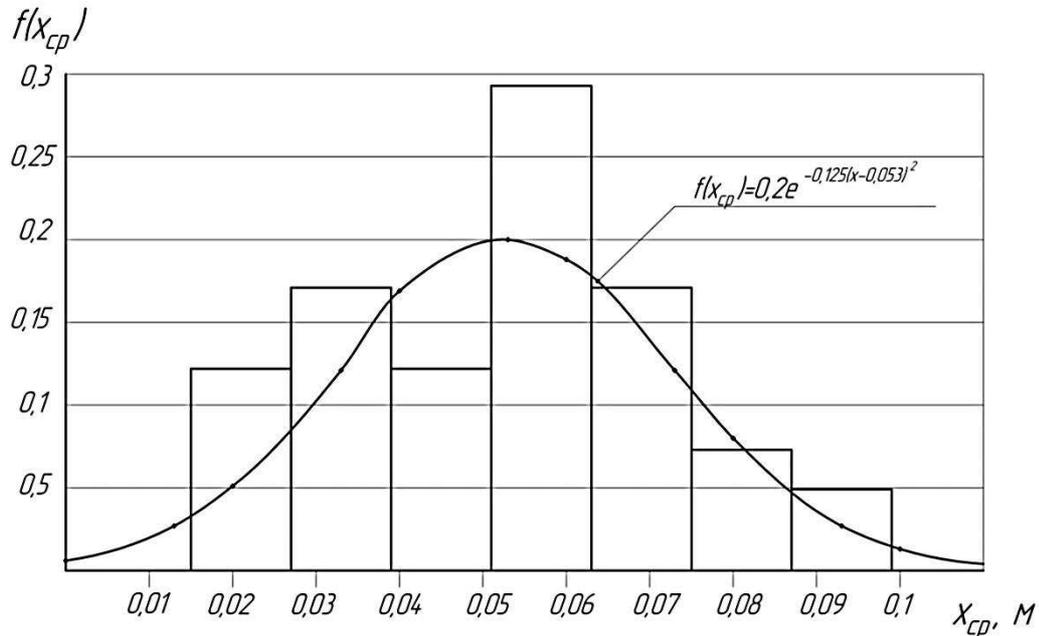


Рисунок 4.1 - Гистограмма и кривая распределения высоты преодолеваемых неровностей при движении прицепного ТТА МТЗ-80+2ПТС-4

На основании полученных зависимостей и геометрических параметров прицепа 2ПТС-4 определены основные конструктивные параметры ТДУ, а именно:

- изменение высоты расположения тягового кольца дышла прицепа при преодолении неровности над опорной поверхностью (2.8), когда дышло опущено

$$\text{вниз } y' = x \cdot \frac{L_{KP}}{L_{TP}} = 0,0607 м;$$

- длина балки (2.10) $l_o = m_o + r = 3,205\text{м}$;

- длина серьги (2.16) $l_c = l_p - (l_o + y' - l_o) \cdot \frac{m_o \cdot \cos\varphi + r}{m_o \cdot \cos\varphi + \frac{r}{2}} + y' - l_o = 0,393\text{м}$;

- минимальная длина маятника $l_m = l_c + r \cdot \text{tg}\beta = 0,377\text{м}$, здесь β - угол наклона балки к поверхности опоры.

На рисунке 4.2 показано изменение высоты расположения тягового кольца дышла прицепа над опорной поверхностью y' , когда оно опущено вниз, т.е. когда передние колеса трактора находятся на неровности, а также длины серьги l_c и минимального размера маятника l_m , от высоты преодолеваемой неровности x .

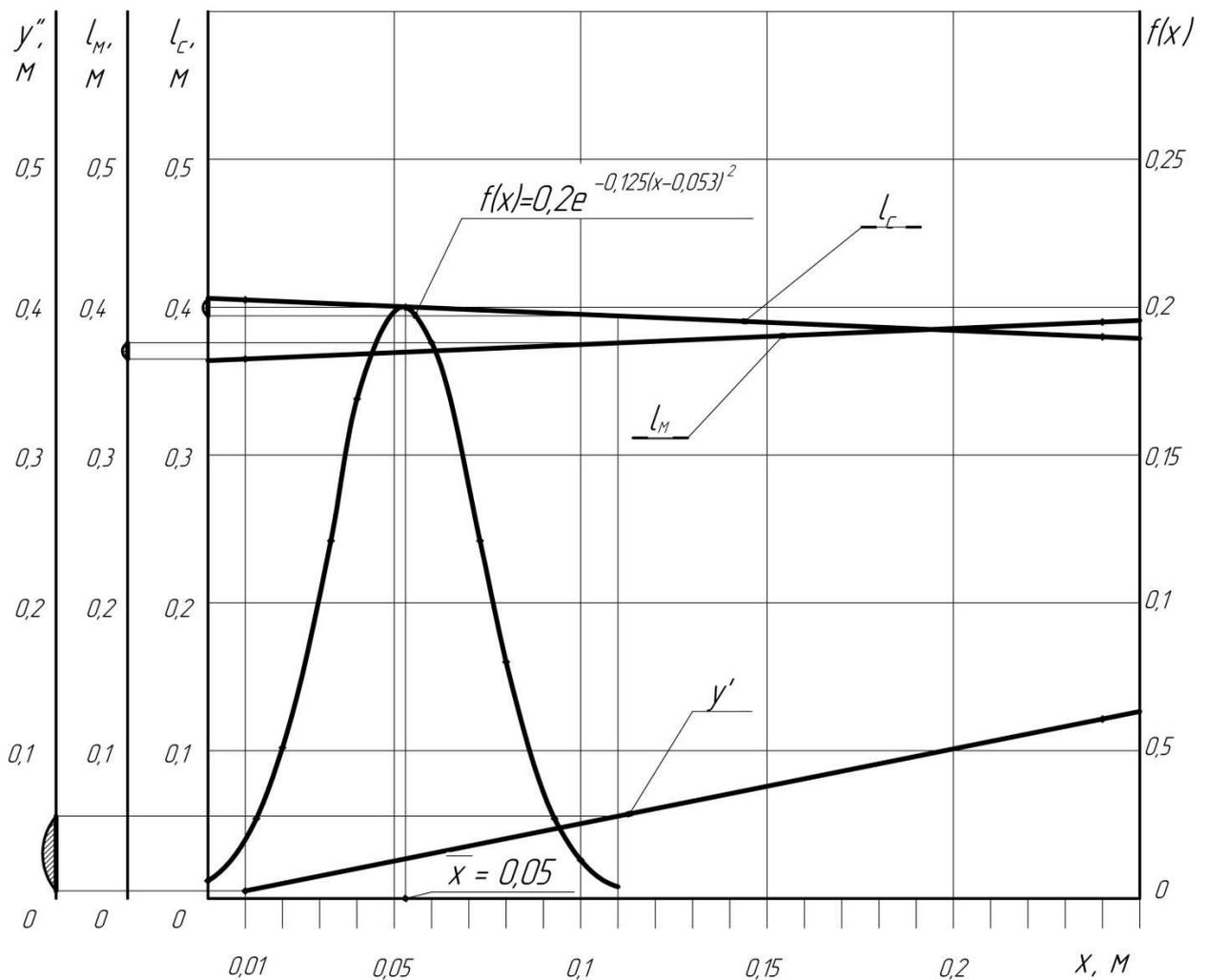


Рисунок 4.2 - Изменение диапазона вертикального колебания тягового кольца дышла y' , длины маятника l_m и длины серьги l_c в зависимости от высоты преодолеваемой неровности x

Видим, что при размахе варьирования высоты преодолеваемых неровностей равном 0,11 м изменение длины серьги l_c и минимального значения длины маятника l_m не превышают 0,012 м. Это указывает на возможность изготовления серьги и маятника по их размерам, соответствующим максимальному значению преодолеваемой неровности, а именно длина серьги $l_c = 0,393 м$, длина маятника $l_m = 0,377 м$.

4.2 Выбор параметров ТДУ, обеспечивающих допустимую догрузку трактора

В параграфе 2.4 на основании исследования функционирования ТДУ к прицепу, преобразующего силу на крюке в догружающую гидронавеску трактора, было установлено, что догружающая сила P_d (2.26) пропорциональна крюковому усилию $P_{кр}$, тангенсу угла наклона маятника к упору и обратно пропорциональна отношениям переднего и заднего концов балки, а также нижней и верхней частей маятника.

Установим количественную оценку влияния каждого параметра на величину догружающей гидронавеску трактора силы.

Как уже отмечалось выше, объектом исследований является прицепной тракторный транспортный агрегат в составе: трактор МТЗ-80, прицеп 2ПТС-4. При номинальной грузоподъемности прицепа 4 т, коэффициенте сопротивления передвижению $f = 0,12$ угол склона поля $\alpha = 2,5^\circ$ крюковое усилие трактора равно $P_{кр} = 8,83$ кН.

В приложениях А и Ж показано влияние отношения переднего и заднего концов балки, и нижней и верхней частей маятника на величину догружающей гидронавеску трактора силы P_d , при углах наклона маятника к упору 60° , 65° , 70° , 75° и 80° .

Из рисунков 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 и приложения А следует, что допустимая догрузка трактора $P_d = 7,7$ кН при угле наклона маятника α_m к упору равному 60° , не обеспечивается ни при каких соотношениях (a/b) и (n/m) . Когда угол наклона маятника равен 65° , допустимая догрузка достигается при условии $(a/b=1)$ и $(n/m=0,2)$. С увеличением угла до 70° , допустимую догрузку возможно обеспечить при значениях $(a/b=1)$, а $(n/m=0,6)$. Если установить угол наклона маятника равным 75° , то догрузка на трактор в $7,7$ кН будет достигнута при двух сочетаниях (a/b) и (n/m) , а именно: $(a/b=2)$; $(n/m=0,4)$ и $(a/b=2,5)$; $(n/m=0,2)$. Аналогичный результат достигается и при угле $\alpha_m = 80^\circ$ т.е. догрузка трактора в $7,7$ кН достигается при $(a/b=2,5)$; $(n/m=0,6)$ и $(a/b=2)$; $(n/m=0,8)$.

В целях обеспечения более равномерного распределения суммарной нагрузки по концам балки и маятника, и учитывая особенности конструктивно-технологической схемы тягово-догрузочного устройства, выбираем рациональные соотношения $a/b=2,5$, а $n/m=0,2$.

4.3 Результаты экспериментальных исследований и их анализ

4.3.1 Лабораторные исследования влияния ТДУ на распределения веса прицепа по опорам

С учетом установленных рациональных параметров ТДУ к прицепу был изготовлен его опытный образец и смонтирован на прицепе 2ПТС-4. Исследования проводились в соответствии с методикой, изложенной в третьем разделе. Цель эксперимента - показать адекватность аналитических зависимостей, описывающих распределение веса прицепа по его опорам, с фактическими данными.

Результаты эксперимента приведены в приложении Д и на рисунке 4.3.

Заметим, что показания весов при определении нагрузки на оси увеличивались в два раза, так как на платформу помещалось одно колесо прицепа.

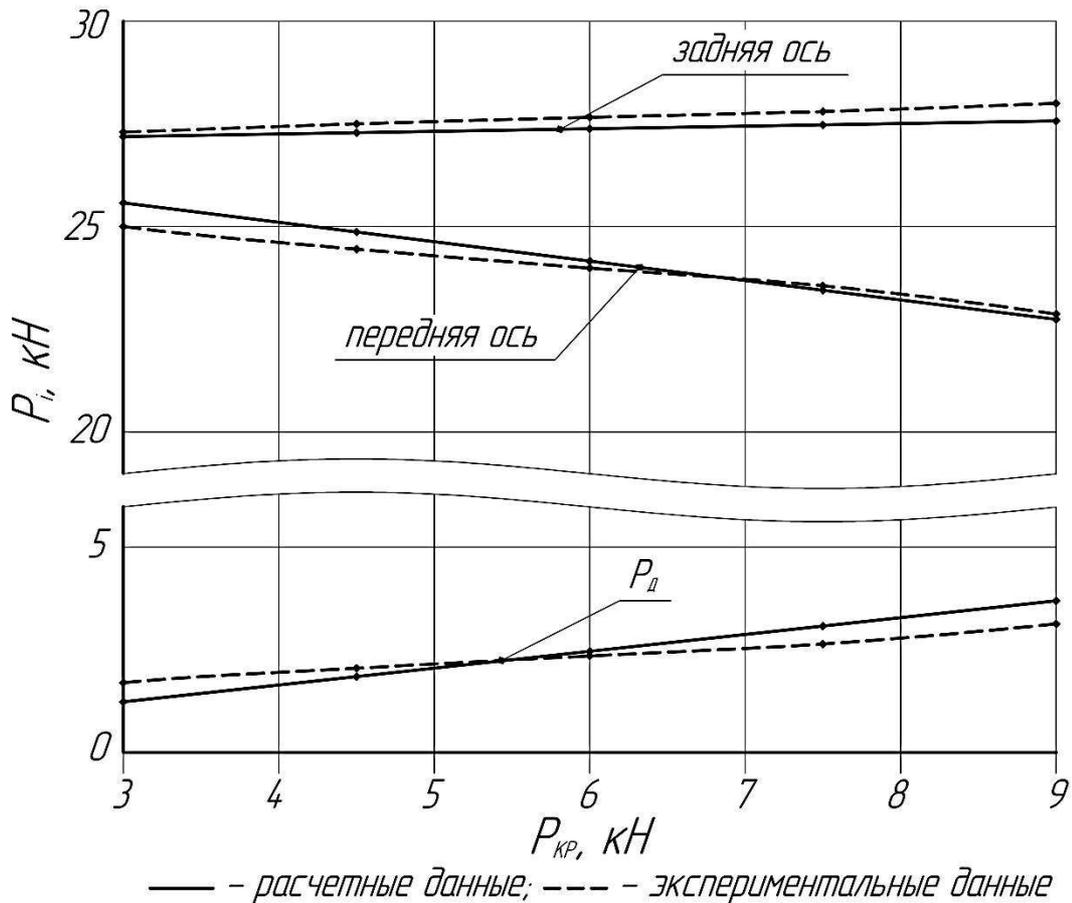


Рисунок 4.3 – Изменение значения догружающего усилия P_d со стороны прицепа на гидронавеску трактора, нагрузки на передние P_{II} и задние колеса P_3 прицепа, в зависимости от крюкового усилия $P_{кр}$ (при $a/b=2,5$; $n/m=0,2$; $\alpha_M = 60^\circ$)

Анализ рисунка 4.3 показывает, что сходимость расчетных значений нагрузки с фактической по всем трем исследуемым точкам высокая. При силе сопротивления на крюке 9 кН догрузка гидронавески трактора со стороны прицепа, для принятых параметров ТДУ, составляет 3,13 кН, а перегрузка задней оси прицепа не превышает 1 кН, что составляет 3,7 %, кроме того полученные данные указывают на высокую точность используемых весов ВСП4-3000А, так как сумма нагрузок на оси прицепа и гидронавеску трактора равна его общему весу 54 кН.

Следует отметить, что для условий ($a/b=2,5$; $n/m=0,2$; $\alpha_M = 75^\circ$) при весе прицепа равном 61,85 кН, перегрузка задней оси составляет 6,4 кН, т.е. 23,7 %.

4.3.2 Оценка буксования и топливной экономичности базового и предложенного вариантов ТТА

Оценка буксования ведущих колес трактора МТЗ-80 и топливная экономичность его двигателя Д-240 проводилась параллельно в соответствии с изложенной методикой в третьем разделе, результаты исследований приведены в приложении В и Г и на рисунках 4.4, 4.5.

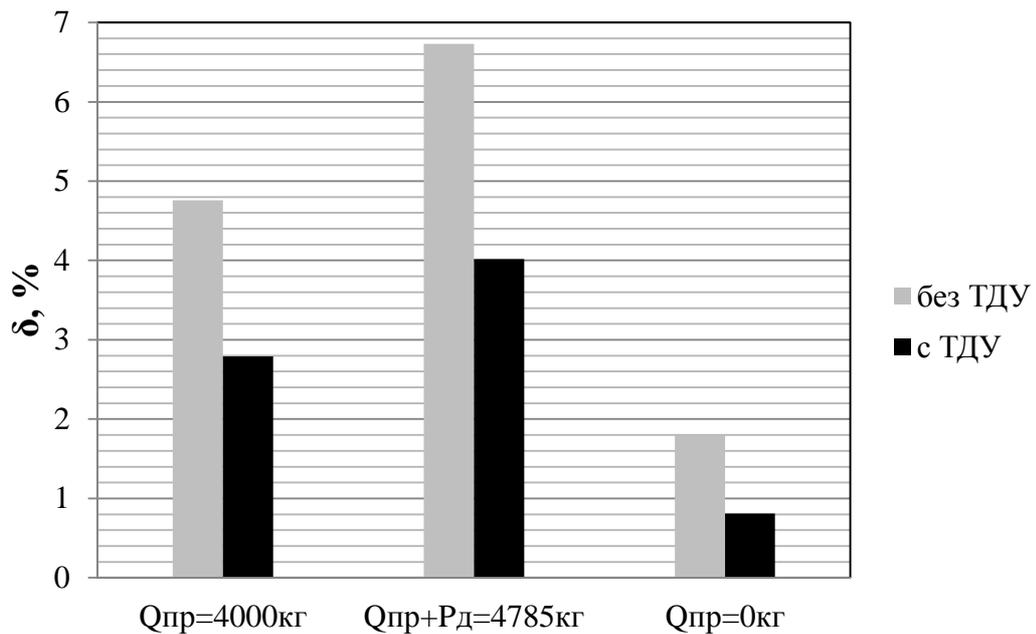


Рисунок 4.4 – Сравнительная оценка буксования ведущих колес трактора по базовому и предложенному вариантам

Из рисунка 4.4 следует, что при движении базового и предложенного вариантов ТТА по полю подготовленному под посев, буксование ведущих колес трактора по предложенному варианту, когда прицеп 2ПТС-4 оснащен ТДУ, ниже как с грузом, так и в холостую, как с номинальной грузоподъемностью – 4 т, так и с увеличенной – 4,785 т.

Если буксование колес трактора в базовом варианте (грузоподъемность прицепа 4 т) равно 4,76 %, то в предложенном оно составляет лишь 2,79%, аналогично и при грузоподъемности прицепа 4,785 т - в базовом варианте буксование равно 6,73 %, а в предложенном 4,02 %. Некоторое снижение

буксования наблюдается у предложенного варианта ТТА когда он движется по полю в холостую.

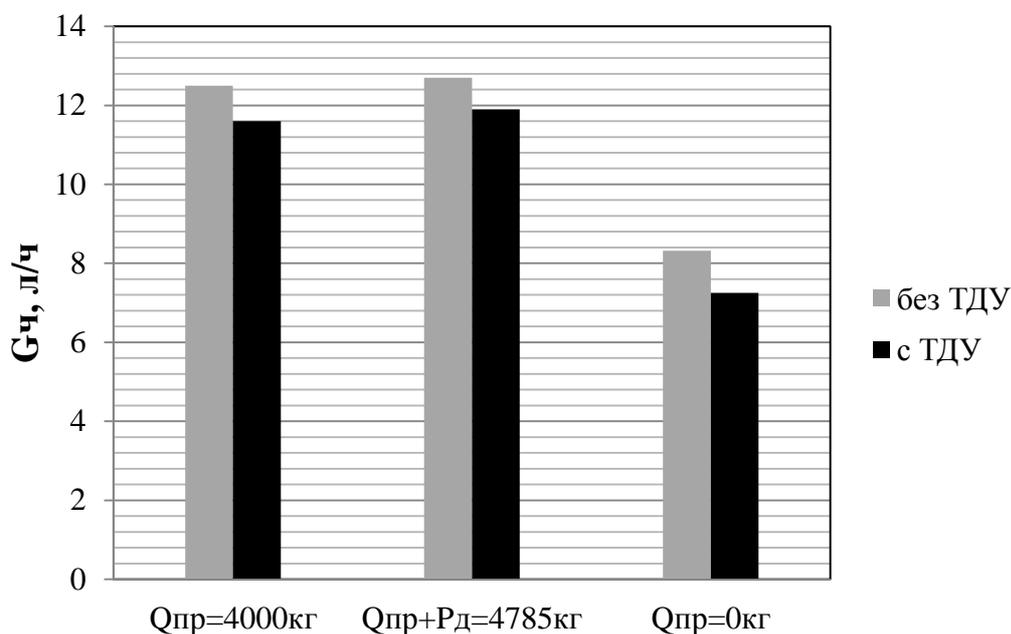


Рисунок 4.5 – Сравнительная оценка часового расхода топлива двигателем трактора по базовому и предложенному вариантам

Из рисунка 4.5 видно, что тенденция к снижению часового расхода топлива аналогичная буксованию. Часовой расход топлива в базовом варианте выше, чем в предложенном при движении по полю подготовленному под посев, когда грузоподъемности ТТА 4 и 4, 785 т, соответственно на 0,9 л/ч и 0,8 л/ч.

Удельная топливная экономичность прицепного ТТА на единицу перевозимого груза будет показана в пятом разделе наряду с определением производительности агрегатов.

4.4 Выводы

1. Расчетами установлено, что для средних значений угла склона полей, равного $2,5^\circ$ и коэффициента сопротивления передвижению прицепа – 0,12, допустимая догрузка на гидронавеску трактора не должна превышать 7,7кН.

2. Для обеспечения установленной догрузки трактора со стороны тягово-догрузочного устройства к прицепу, его кинематические параметры должны быть равными: длина балки – 3,205м, серьги – 0,393м, маятника – 0,377м; соотношение переднего и заднего концов балки – 2,5, соотношение нижней и верхней частей маятника – 0,2, а его угол наклона к упору - 75° .

3. Сравнительная оценка базового и предложенного ТТА показала, что буксование движителей трактора и часовой расхода топлива двигателя у предложенного варианта ТТА в абсолютных величинах ниже соответственно при грузоподъемности агрегата 4 т на 1,97 % и 0,9 л/ч, а при грузоподъемности - 4,785 т на 2,71 % и 0,8 л/ч.

5 Технико-экономическая оценка использования прицепного ТТА с ТДУ

ТДУ к прицепу позволяет повысить грузоподъемность агрегата путем передачи части нагрузки со стороны прицепа на трактор и доведения его грузоподъемности до номинальной. Повышение вертикальной нагрузки на гидронавеску трактора повысит его сцепной вес и снизит буксование ведущих колес, как следствие будет снижен расход топлива.

Поэтому технико-экономическую оценку использования прицепного ТТА проведем посредством сравнения базового варианта: МТЗ-80+2ПТС-4 с предлагаемым: МТЗ-80+2ПТС-4+ТДУ на примере вывозки навоза в бурты на поле по следующим показателям:

- часовая производительность (т/ч);
- удельный расход топлива (кг/т);
- буксование (%);
- приведенные затраты средств (руб/т).

5.1 Определение производительности прицепного ТТА

Часовая производительность транспортного средства W_q^T , т/ч, определяется зависимостью:

$$W_q^T = \frac{Q_{\text{ПР}} K_{\Gamma} \tau_p}{T_{\text{об}}} = \frac{Q_{\text{ПР}} K_{\Gamma} \tau_p}{t_{\text{но}} + t_{\text{з}} + t_{\text{одо}} + t_{\text{огн}} + t_p + t_{\text{охл}} + t_{\text{одо}}}, \quad (5.1)$$

где $Q_{\text{ПР}}$ - грузоподъемность прицепа, т;

$T_{\text{об}}$ - время рейса (оборота), ч;

τ_p - коэффициент использования рабочего времени смены (принимаем равным 0,85);

K_{Γ} - коэффициент использования грузоподъемности (принимаем равным 1);

$t_{\text{но}}$ - время подъезда под погрузку и отъезда из-под погрузки транспортного средства (принимаем равным 0,0166), ч;

t_3 - время загрузки, ч;

$t_{\text{дзд}}; t_{\text{дзн}}$ - соответственно время движения транспортного средства с грузом по дороге и по полю, ч;

t_p - время разгрузки (принимается равным 0,1), ч;

$t_{\text{дхд}}; t_{\text{дхн}}$ - соответственно время движения транспортного средства в холостую по дороге и по полю, ч.

Время загрузки t_3 , ч, находится по формуле:

$$t_3 = \frac{Q_{\text{ПП}}}{W_{\text{пог}}}, \quad (5.2)$$

где $W_{\text{пог}}$ - производительность погрузчика, т/ч.

Базовый:

$$t_3 = \frac{4}{80} = 0,05 \text{ ч},$$

Спроектированный:

$$t_3 = \frac{4,785}{80} = 0,0598 \text{ ч},$$

Время движения транспортного средства с грузом и в холостую, по дороге и по полю, ч:

$$\begin{aligned} t_{\text{дзд}} &= \frac{l_{\text{д}}}{V_{\text{дзд}}}; t_{\text{дзн}} = \frac{l_{\text{н}}}{2V_{\text{дзн}}}, \\ t_{\text{дхд}} &= \frac{l_{\text{д}}}{V_{\text{дхд}}}; t_{\text{дхн}} = \frac{l_{\text{н}}}{2V_{\text{дхн}}}, \end{aligned} \quad (5.3)$$

где $l_{\text{д}}$ и $l_{\text{н}}$ - соответственно протяженность дороги и поля, км;

$V_{\text{дзд}}; V_{\text{дзн}}$ - соответственно скорость движения транспортного средства с грузом по дороге и по полю, км/ч;

$V_{\text{дхд}}; V_{\text{дхн}}$ - соответственно скорость движения транспортного средства в холостую по дороге и по полю, км/ч.

Для условий Белгородской области длину поля примем равной $l_{\text{н}} = 800 \text{ м}$ [64, 81], а расстояние от фермы до поля $l_{\text{д}} = 3560 \text{ м}$ [81].

Базовый:

$$t_{\text{дод}} = \frac{3,56}{7,6} = 0,468\text{ч}; t_{\text{дзн}} = \frac{0,8}{2 \cdot 9,6} = 0,042\text{ч},$$

$$t_{\text{дхд}} = \frac{3,56}{7,5} = 0,475; t_{\text{дхн}} = \frac{0,8}{2 \cdot 9,5} = 0,0421\text{ч},$$

$$W_q^T = \frac{4 \cdot 1 \cdot 0,85}{0,0166 + 0,05 + 0,468 + 0,042 + 0,1 + 0,475 + 0,0421} = 2,85\text{м/ч}.$$

Спроектированный:

$$t_{\text{дод}} = \frac{3,56}{7,5} = 0,475\text{ч}; t_{\text{дзн}} = \frac{0,8}{2 \cdot 9,2} = 0,043\text{ч},$$

$$t_{\text{дхд}} = \frac{3,56}{7,7} = 0,462; t_{\text{дхн}} = \frac{0,8}{2 \cdot 9,5} = 0,0421\text{ч},$$

$$W_q^T = \frac{4,785 \cdot 1 \cdot 0,85}{0,0166 + 0,0598 + 0,475 + 0,043 + 0,1 + 0,462 + 0,0421} = 3,39\text{м/ч},$$

Исходные данные к расчету производительности прицепного ТТА и результаты расчета сведем в таблицу 5.1

Таблица 5.1 – Исходные данные к расчету производительности прицепного ТТА

№ п/п	Показатели	Значение показателей по вариантам		Отклонение, (%)
		Базовый	Спроектированный	
1	$Q_{\text{пп}}$, Т	4	4,785	+19,63
2	$W_{\text{ног}}$, Т/ч	80	80	-
3	t_3 , ч	0,05	0,051	+2
4	$V_{\text{дод}}$, км/ч	7,6	7,5	-1,3
5	$V_{\text{дзн}}$, км/ч	9,6	9,2	-4,2
6	$V_{\text{дхд}}$, км/ч	7,5	7,7	+2,7
7	$V_{\text{дхн}}$, км/ч	9,5	9,5	-
8	W_q^T , Т/ч	2,85	3,39	+18,95

5.2 Расчет экономической эффективности использования прицепного ТГА

В основу определения экономической эффективности в соответствии с методикой [28] положим приведенные затраты средств, при этом базовым вариантом как и в предыдущем параграфе будет агрегат: МТЗ-80+2ПТС-4, отличие от спроектированного варианта заключается в том, что прицеп 2ПТС-4 оснащается тягово-догрузочным устройством, кроме этого шины задних колес модели Я-324 А заменяются на модель Ф-277, что приведет к повышению балансовой цены прицепа.

Годовой экономический эффект от эксплуатации модернизированного прицепа \mathcal{E}_r , руб, определяют по следующему выражению:

$$\mathcal{E}_r = M(P_o - P_m), \quad (5.4)$$

где P_o и P_m - приведенные затраты соответственно по базовому и спроектированному вариантам, руб/т;

M - планируемый годовой объем перевозимого груза, т.

Приведенные затраты на единицу наработки Π , руб, определяют по формуле:

$$\Pi = U + K \cdot E, \quad (5.5)$$

где U - прямые эксплуатационные затраты, руб/т;

K - капиталовложения (балансовая стоимость прицепа) на одну тонну, руб/т;

E - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E=0,15$).

В свою очередь прямые эксплуатационные затраты U , руб/т, определим по формуле:

$$U = Z + \Gamma + P + A, \quad (5.6)$$

где Z - заработная плата тракториста, руб/т;

Γ - затраты на топливно-смазочные материалы, руб/т;

P - затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт, руб/т;

A - затраты на реновацию, руб/т.

Заработная плата тракториста Z , руб/т, находится по формуле:

$$Z = \frac{T \cdot K_T}{W_q^T}, \quad (5.7)$$

где T - тарифная ставка тракториста за 1 час сменного времени, руб/ч (примем 19,06 [55]);

K_T - коэффициент, учитывающий доплаты (классность, стаж и т.д., примем 2,2 [55]).

Затраты на топливно-смазочные материалы Γ , руб/т, определим из выражения:

$$\Gamma = g \Pi_{TCM}, \quad (5.8)$$

где g - расход топливно-смазочных материалов, кг/т;

Π_{TCM} - цена одного кг топлива (включая стоимость смазочных материалов, приходящихся на 1 кг основного топлива), руб/кг.

Расход топливно-смазочных материалов g , кг/т:

$$g = g_T + g_{CM}, \quad (5.9)$$

где g_T - расход топлива за рейс, кг/т;

g_{CM} - расход смазочных материалов за рейс (принимается 3% от расхода топлива за рейс [90]), кг/т.

Расход топлива за рейс g_T , кг:

$$g_T = \frac{g_{\partial\partial\partial} \cdot t_{\partial\partial\partial} + g_{\partial\partial n} \cdot t_{\partial\partial n} + g_{\partial x\partial} \cdot t_{\partial x\partial} + g_{\partial x n} \cdot t_{\partial x n} + g_o \cdot (t_z + t_p)}{Q_{IP}}, \quad (5.10)$$

где $g_{\partial\partial\partial}; g_{\partial\partial n}$ - соответственно расход топлива при движении транспортного средства с грузом по дороге и по полю, кг/ч;

$g_{\partial x\partial}; g_{\partial x n}$ - соответственно расход топлива при движении транспортного средства в холостую по дороге и по полю, кг/ч;

g_o - расход топлива при остановке транспортного средства для погрузки и разгрузки (принимаем 1,4 [90]), кг/ч.

Затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт P , руб/т, найдем по формуле:

$$P = \frac{B(r_T + r_K)}{W_q^T \cdot T_G}, \quad (5.11)$$

где $r_T; r_K$ - соответственно коэффициенты отчислений на текущий ремонт, техническое обслуживание и капитальный ремонт;

T_G - годовая нормативная загрузка (трактора, прицепа), ч;

B - балансовая стоимость машины (трактора, прицепа), руб.

Затраты на реновацию A , руб/т:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_q^T \cdot T_G}, \quad (5.12)$$

где a - коэффициент отчислений на реновацию машины (трактора, прицепа).

Капиталовложения (балансовая стоимость прицепа) на одну тонну K , руб/т:

$$K = \frac{B}{W_q^T \cdot T_G}, \quad (5.13)$$

Планируемый объем перевозимого груза за год M , т, определим по формуле:

$$M = W_q^T \cdot T_G. \quad (5.14)$$

Исходная информация к определению экономической эффективности использования прицепного тракторного транспортного агрегата представлена в таблице 5.2.

Базовый вариант:

Заработная плата тракториста:

$$З = \frac{19,06 \cdot 2,2}{2,85} = 14,71 \text{ руб / т.}$$

Расход топлива при движении транспортного средства с грузом и в холостую, по дороге и по полю возьмем из приложения Г.

Таблица 5.2 - Исходная информация к определению экономической эффективности использования тягово-догрузочного устройства к прицепу [62].

№ п/п	Показатели	Значение показателей по вариантам		Отклонение, (%)
		Базовый	Спроектированный	
1	B_T , руб	645000	645000	-
2	B_{II} , руб	200000	207500	+3,05
3	$W_{\text{ч}}^T$, т/ч	2,85	3,39	+18,95
4	$T_{\Gamma TP}$, ч	1350	1350	-
5	$T_{\Gamma IIp}$, ч	800	800	-
6	r_{TP} , %	9,9	9,9	-
7	$r_{K TP}$, %	5	5	-
8	a_{TP} , %	10	10	-
9	$r_{T IIp}$, %	13	13	-
10	$r_{K IIp}$, %	-	-	-
11	a_{IIp} , %	14,2	14,2	-
12	g_T , кг/т	1,63	1,29	-20,86

Тогда удельный расход топлива g_T на тонну перевезенного груза будет равен:

$$g_T = \frac{6,23 \cdot 0,468 + 10,75 \cdot 0,042 + 5,51 \cdot 0,475 + 7,16 \cdot 0,0421 + 1,4 \cdot (0,05 + 0,1)}{4} = 1,63 \text{ кг} / \text{т};$$

$$g = 1,63 + 0,0489 = 1,68 \text{ кг} / \text{т}.$$

Цена одного кг топлива (включая стоимость смазочных материалов, приходящихся на 1 кг основного топлива) равна 35 руб.

$$G = 1,68 \cdot 35 = 58,8 \text{ руб} / \text{т}.$$

Затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт:

$$P_{TP} = \frac{645000 (0,099 + 0,05)}{2,85 \cdot 1350} = 24,98 \text{ руб} / \text{т};$$

$$P_{IIp} = \frac{200000 \cdot 0,13}{2,85 \cdot 800} = 11,4 \text{ руб} / \text{т};$$

$$P = 24,98 + 11,4 = 36,38 \text{ руб} / \text{т}.$$

Затраты на реновацию:

$$A_{rp} = \frac{645000 \cdot 0,1}{2,85 \cdot 1350} = 16,76 \text{ руб} / \text{т};$$

$$A_{np} = \frac{200000 \cdot 0,142}{2,85 \cdot 800} = 12,46 \text{ руб} / \text{т};$$

$$A = 16,76 + 12,46 = 29,22 \text{ руб} / \text{т}.$$

Прямые эксплуатационные затраты:

$$У = 14,71 + 58,8 + 36,38 + 29,22 = 139,11 \text{ руб} / \text{т}.$$

Капиталовложения (балансовая стоимость прицепа) на одну тонну:

$$K = \frac{200000}{2,85 \cdot 800} = 87,72 \text{ руб} / \text{т}.$$

Приведенные затраты на единицу наработки:

$$П_о = 139,11 + 87,72 \cdot 0,15 = 152,27 \text{ руб} / \text{т}.$$

Спроектированный вариант:

Заработная плата тракториста:

$$З = \frac{19,06 \cdot 2,2}{3,39} = 12,37 \text{ руб} / \text{т}.$$

Расход топлива при движении транспортного средства оснащенного ТДУ с грузом и в холостую, по дороге и по полю также возьмем из приложения Г.

$$g_T = \frac{6,11 \cdot 0,475 + 10,23 \cdot 0,043 + 5,07 \cdot 0,462 + 6,24 \cdot 0,0421 + 1,4 \cdot (0,0598 + 0,1)}{4,785} = 1,29 \text{ кг} / \text{т};$$

$$g = 1,29 + 0,0387 = 1,33 \text{ кг} / \text{т}.$$

$$Г = 1,3 \cdot 35 = 46,55 \text{ руб} / \text{т}.$$

Затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт:

$$P_{rp} = \frac{645000 (0,099 + 0,05)}{3,39 \cdot 1350} = 21 \text{ руб} / \text{т};$$

Стоимость изготовления тягово-догрузочного устройства по смете завода ООО «ОЭЗ «Белэнергомаш» равна 5000 руб, а цена шины задних колес модели Ф-

277, устанавливаемой вместо шины Я-324 А (3750 руб) [44], равна по каталогу-5000 руб. [43], то балансовая стоимость прицепа составит 207500 руб.

$$P_{пр} = \frac{207500 \cdot 0,13}{3,39 \cdot 800} = 9,95 \text{руб} / \text{т};$$

$$P = 21 + 9,95 = 30,95 \text{руб} / \text{т}.$$

Затраты на реновацию:

$$A_{тр} = \frac{645000 \cdot 0,1}{3,39 \cdot 1350} = 14,09 \text{руб} / \text{т};$$

$$A_{пр} = \frac{207500 \cdot 0,142}{3,39 \cdot 800} = 10,86 \text{руб} / \text{т};$$

$$A = 14,09 + 10,86 = 24,95 \text{руб} / \text{т}.$$

Прямые эксплуатационные затраты:

$$У = 12,37 + 46,55 + 30,95 + 24,95 = 114,82 \text{руб} / \text{т}.$$

Капиталовложения (балансовая стоимость прицепа) на одну тонну:

$$K = \frac{207500}{3,39 \cdot 800} = 76,51 \text{руб} / \text{т}.$$

Приведенные затраты на единицу наработки:

$$П_{м} = 114,82 + 76,51 \cdot 0,15 = 126,3 \text{руб} / \text{т}$$

Проводя сравнение приведенных затрат средств и расхода топлива на тонну перевозимого груза (навоза) по базовому и предложенному вариантам видим, что и приведенные затраты и расход топлива на тонну перевозимого груза у предложенного варианта ТГА ниже соответственно на 17,06 % и 20,86 %.

Планируемый объем перевозимого груза за год:

$$M = 2,85 \cdot 800 = 2280 \text{т}.$$

Годовой экономический эффект при эксплуатации модернизированного прицепа составит:

$$Э_r = 2280(152,27 - 126,3) = 59211,6 \text{руб}.$$

Заключение

1. Результатом анализа использования прицепных ТТА с ТДУ явилась конструктивно-технологическая схема ТДУ к прицепу, позволяющая использовать крюковую силу в качестве догружающей гидронавеску трактора (патент России № 2497706).

2. Разработаны аналитические зависимости распределения веса прицепа, оснащенного ТДУ, по его опорам, учитывающие ее конструктивные параметры и величину крюковой силы, позволяющие определить допустимую нагрузку на гидронавеску трактора, исключая нарушение его устойчивости и управляемости.

3. Получена зависимость, позволяющая с учетом условий использования прицепного ТТА, оснащенного ТДУ, (угол склона полей, коэффициент сопротивления передвижению) определять его рациональную грузоподъемность, обеспечивающую повышение технико-экономической эффективности.

4. Установлены закономерности, учитывающие высоту преодолеваемых прицепным ТТА неровностей при выезде его с поля на дорогу, позволяющие найти основные параметры конструктивных элементов ТДУ. С учетом закона распределения высоты преодолеваемых неровностей с характеристиками: максимальное значение высоты – 0,12 м, среднее – 0,05 м, зависящими от базы трактора, определены длины: балки – 3,205 м, серьги – 0,393 м, маятника – 0,377 м.

5. Установлено, что догрузка со стороны прицепа, оснащенного ТДУ, на гидронавеску трактора пропорциональна крюковому усилию, тангенсу угла наклона маятника к упору и обратно пропорциональна отношениям переднего и заднего концов балки и нижней и верхней частей маятника, соответственно в диапазонах от 1 до 3 и от 0,1 до 1, а угла наклона маятника к упору от 60° до 80° догрузка на гидронавеску трактора изменяют от 1,9 кН до 22,8 кН. Для средних значений угла склона полей $2,5^\circ$, коэффициента сопротивления передвижению прицепа 2ПТС-4 равного 0,12 догрузка гидронавески трактора составляет 7,7 кН,

при этом колеса передней оси разгружаются на 10,3 кН, а задние перегружаются на 2,47 кН.

6. Определена рациональная грузоподъемность прицепа 2ПТС-4, оснащенного ТДУ, равная 4,785 т, в этом случае перегрузка задних колес прицепа составляет 6,4 кН, которая исключается путем увеличения его базы на 0,65 м, при условии сохранения исходного положения кузова относительно рамы, или заменой шин на шины с большей грузонесущей способностью.

7. Экспериментально установлено, что применение предложенного ТДУ в ТТА МТЗ-80+2ПТС-4 обеспечивает снижение буксования ведущих колес трактора и повышает топливную экономичность, если у базового варианта при грузоподъемности 4 т буксование равно 4,76 %, то у предложенного – 2,79 %, при рациональной грузоподъемности прицепа 4,785 т буксование у базового варианта 6,73 %, а у предложенного – 4,02 %.

8. Применение ТДУ в агрегате МТЗ-80+2ПТС-4 обеспечивает повышение грузоподъемности на 19,63%. Удельный расход топлива на тонну перевозимого груза при расстоянии транспортирования $L=3,56$ км и грузоподъемности 4,785 т сокращается на 20,86 %. Расчетный годовой экономический эффект составляет 59,2 тыс. рублей.

Рекомендации производству

Заводам изготовителям тракторных прицепов типа 2ПТС-4 целесообразно изготавливать тягово-догрузочные устройства и предлагать их потребителям в качестве дополнительного оборудования к прицепу вместе с двумя шинами повышенной грузонесущей способности для колес задней оси.

Список литературы

1. Пат. 2482974 РФ, МПК В 60 D 1/00 (2006.01), В 62 D 53/04 (2006.01), А 01 В 59/04 (2006.01). Автоматический корректор сцепного веса для увеличения проходимости и повышения производительности колесных тракторов при их агрегатировании с прицепами / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». - № 2011151377/11; заявл. 15.12.2011; опубл. 27.05.2013., Бюл. №15.
2. Агеев, Л.Е. Сверхмощные тракторы сельскохозяйственного назначения / Л.Е. Агеев, В.С. Шкрабак, В.Ю. Моргулис-Якушев. - Л. : Агропромиздат, 1986. - 120 с.
3. Амельченко, П.А. Эксплуатация тракторов МТЗ-100 и МТЗ-102 / П.А. Амельченко, Н.И. Бычков, Е.Н. Козлов, Ф.Г. Подкидыш - М. : Росагропромиздат, 1991. - 173 с.
4. Аникин, Н.В. Снижение уровня повреждения перевозимой сельскохозяйственной продукции за счет использования устройства для стабилизации положения транспортного средства / Н.В. Аникин, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: XII Международная научно-практическая конференция. – Владимир: Изд-во ВлГУ., 2010. - С. 319 - 322.
5. Антышев, Н.М. Концепция транспортно-технологического обслуживания сельского хозяйства до 2005 года / Н.М. Антышев, Н.Е. Евтюшенков, С.Д. Сметнев [и др.] - М. : Издательство ВИМ, 1996. - 93 с.
6. Антышев, Н.М. Прогноз потребности и необходимой структуры тракторного парка / Н.М. Антышев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1993. - №8. - С. 1 - 5.

7. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин. Изд. 4-е перераб. и доп. / И.И. Артоболевский – М: «Наука», 1988. – 640 с.
8. Атаманов, Ю.Е. Определение буксования колесного трактора 4К2 при максимальном тяговом КПД / Ю.Е. Атаманов, С.Н. Турлай // Вестник Могилевского ГТУ. Транспортные и строительные машины. – 2001. - №1.
9. Беленков, Ю.А. Улучшение тягово-энергетических характеристик МТА / Ю.А. Беленков, А.В. Лепёшкин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1989. - №11. - С. 7 - 9.
10. Белокурченко, С.А. Оптимизация конструктивных и эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов с учетом уплотняющего воздействия ходовых систем на почву / С.А. Белокурченко, И.О. Гейнрих // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2006. - № 4(24). - С. 53 – 58.
11. Бойков, В.П. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин / В.П. Бойков, В.Н. Белковский. – М.:Агропромиздат, 1988. – 240 с.
12. Бочаров, А.В. Повышение тягово-сцепных свойств прицепного транспортного агрегата за счет автоматической гидродогрузки задних колес трактора: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Бочаров Алексей Валентинович. – Воронеж, 2000. – 21 с.
13. Бышов, Н.В. Перспективы повышения эксплуатационных показателей транспортных средств при внутрихозяйственных перевозках плодовоовощной продукции / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский [и др.] // Научный журнал КубГАУ. - 2012. - №78(4).
14. Взоров, Б.А. Снижение расхода топлива с.-х. тракторами путем оптимизации режимов работы двигателей / Б.А. Взоров, К.К. Молчанов, И.И. Трепененков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1985. - №6.
15. Водяник, И.И. Воздействие ходовых систем на почву / И.И. Водяник. - М. : Агропромиздат, 1990. – 172 с.

16. Волощенко, А.Е. Исследование и оценка транспортных агрегатов: автореф. дис. ... канд. тех. наук. : 05.20.03 / Волощенко Александр Евгеньевич. - Воронеж, 1976. - 22 с.

17. Волощенко, А.Е. Исследование работа различных схем тракторного транспорта в трудно проходимых дорожных условиях / А.Е. Волощенко, Ф.С. Завалишин // Труды Воронежского СХИ. т. 62. - Воронеж: Воронежский СХИ., 1974. - С. 11 - 15.

18. Ворохобин, А.В. Повышение эффективности использования тракторно-транспортного агрегата при корректировании вертикальных нагрузок на колеса: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Ворохобин Андрей Викторович. – Воронеж, 2007. – 21 с.

19. Пат. 132414 РФ, МПК В 62 D 53/04 (2006.01), А 01 В 59/042 (2006/01). Вспомогательное устройство – автоматический корректор сцепного веса колесных тракторов при их агрегатировании с двухосными прицепами / С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». - № 2011137744/11; заявл. 13.09.2011; опубл. 20.09.2013., Бюл. №6.

20. Гамаюнов, А.М. Улучшение динамики трогания и разгона тракторно-транспортного агрегата за счет совершенствования упруго-демпфирующего тягово-сцепного устройства: дис. ... канд. тех. наук : 05.20.03 / Гамаюнов Алексей Михайлович. – Саратов, 2008. – 185 с.

21. Годовые отчеты департамента АПК Белгородской области об оперативном наличии техники в сельскохозяйственных предприятиях Белгородской области за 2011-2014 гг.

22. Голубев, В.В. Влияние уплотнения почвы на её свойства и урожайность культур / В.В. Голубев, Ю.Н. Рубан, Е.Б. Захаров // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. - 1995. - №1. - С. 44 - 47.

23. Городецкий, К.И. Предпосылки формирования рабочих скоростей сельскохозяйственных тракторов / К.И. Городецкий, А.И. Титов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 11. – С. 30 – 33.

24. Горшков, Ю.Г. Повышение проходимости колесных машин / Ю.Г. Горшков, Э.Ю. Кульпин, С.Ю. Попова [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2006. - №3. - С. 16 - 18.

25. Горшков, Ю.Г. Повышение эффективности функционирования системы "дифференциал-пневматический колесный движитель - несущая поверхность" мобильных машин сельскохозяйственного назначения: дис. ... д-ра тех. наук : 05.20.01 / Горшков Юрий Германович. – Челябинск, 1999. – 371 с.

26. ГОСТ 12.2.019-2005. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. – Введ. 2010 – 07 – 01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 17 с.

27. ГОСТ 7057-81. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – Введ. 1982 – 01 – 01. – М. : Издательство стандартов, 1998. – 18 с.

28. ГОСТ 23728-88 - ГОСТ 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 1989 – 01 – 01. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 24 с.

29. Гребнев, В.П. Повышение эффективности использования прицепных тракторно-транспортных агрегатов / В.П. Гребнев, Н.М. Дерканосова, А.В. Ворохобин [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. - №2. – С. 87 - 92.

30. Гребнев, В.П. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колеса полуприцепных тракторно-транспортных агрегатов / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин, О.Г. Подорванова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – №3. – С. 56 - 63.

31. Гребнев, В.П. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колеса тракторно-транспортного агрегата при торможении / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007 - №4. - С. 27 - 29.

32. Гуськов, В.В. Теория трактора / В.В. Гуськов [и др.] — М. : Машиностроение, 1988. - 376 с.

33. Гуськов, Ю.А. Транспортное обслуживание кормоуборочных комбайнов тракторно-транспортными агрегатами с использованием автосцепных устройств: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.03 / Гуськов Юрий Александрович. – Новосибирск, 1990. – 20 с.

34. Дьяков, И.Я. Об использовании сельскохозяйственных тракторов на работах разного вида / И.Я. Дьяков [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1979. - №7.

35. Евтюшенков, Н.Е. Концепция эффективного использования транспортных средств в сельском хозяйстве / Н.Е. Евтюшенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1997. - №9. – С. 20 - 21.

36. Егоров, В.Н. Повышение тягово-сцепных свойств тракторно-транспортного агрегата при лесохозяйственных работах: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.21.01 / Егоров Василий Николаевич. – Екатеринбург, 2012. – 16 с.

37. Елесеев, А. Кто есть кто на российском рынке колёсных тракторов / А. Елесеев // Аграрное обозрение. - 2010. - №2. - С. 26 - 31.

38. Завалишин, Ф.С. Энергетика седельного тракторного транспортного агрегата / Ф.С. Завалишин, А.Е. Волощенко // Труды Воронежского СХИ. т. 62. - Воронеж: Воронежский СХИ., 1974. - С. 5-11.

39. Захаржевский, А.П. Совершенствование процесса высева многолетних трав под покровную культуру сошником на базе стрельчатой лапы: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.20.01 / Захаржевский Александр Павлович. – Воронеж, 2000. – 23 с.

40. Иголкин, А.И. Тракторы Т-150К, Т-157, Т-158. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 8 – е изд. перераб. и доп. / А.И. Иголкин, Б.И. Кальченко, Г.Е. Огий [и др.]; под ред. С.Л. Абдулы, А.М. Диденко. - Харьков: ХТЗ, 1989. – 394 с.

41. Измайлов, А. Ю. Типаж и структура транспортных погрузочно-разгрузочных средств АПК / А.Ю. Измайлов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. - №4. – С. 20 - 23.
42. Иофинов, С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / С.А. Иофинов. - М. : Колос, 1974. - 480 с.
43. Каталог шин. Шина 9.00-16 Ф-277 / [Электронный ресурс] Сайт фирмы «Росава». – Электрон. дан. – Режим доступа: [Web: http://rosava.com/ru](http://rosava.com/ru).
44. Каталог шин. Шина 9.00-16 Я-324А / [Электронный ресурс] Сайт фирмы ОАО «Волтайр-Пром». – Электрон. дан. – Режим доступа: [Web: http://www.voltyre-prom.ru](http://www.voltyre-prom.ru)
45. Ким, Ю.А. Влияние конструктивных параметров колесных движителей на изменение физико-механических свойств почвогрунта и тяговые качества трактора / Ю.А. Ким, П.В. Зеленый. И.В. Франскевич // Вестник Белорусско-Российского университета. - 2008. - №4(21). – С. 34 – 42.
46. Кормаков, Л.Ф. Тенденции развития тракторного транспорта / Л.Ф. Кормаков // Механизация и электрификация социалистического хозяйства. – 1975. - №2. - С. 35 - 38.
47. Корн, Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения. Теоремы. Формулы / Г.А. Корн, Т.М. Корн. - СПб.: Лань, 2003. - 832 с.
48. Кравченко, В.А. Пути повышения эффективности сельскохозяйственных МТА / В.А. Кравченко. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Процессы и машины агроинженерных систем. Технические науки. – 2004. – С. 95 - 99.
49. Краснокутский, В.В. Повышение производительности и экономичности тракторных транспортных агрегатов путем использования движителей прицепа: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Краснокутский Василь Васильевич. - Челябинск, 1997. - 24 с.

50. Крохта, Г.М. Повышение эффективности эксплуатации энергонасыщенных тракторов в условиях Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра тех. наук : 05.20.03, 05.04.02 / Крохта Геннадий Михайлович. – Новосибирск, 1995. – 35 с.

51. Ксеневиц, И.П. Об оптимальной массе трактора / И.П. Ксеневиц // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1988. - №12. - С. 3 - 5.

52. Ксеневиц, И.П. Тракторы Беларусь МТЗ-80, МТЗ-80Л, МТЗ-82, МТЗ-82Л. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / И.П. Ксеневиц. - Минск: Ураджай, 1977. – 353 с.

53. Ксеневиц, И.П. Тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82. 2-е изд. перераб. и доп. / И.П. Ксеневиц, С.С. Кустанович, П.Н. Степанюк [и др.] - М. : Колос, 1983. - 254 с.

54. Кудренов, М.М. Влияние движителей тракторов на почву и урожайность / М.М. Кудренов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2008. - №11. – С. 24 - 25.

55. Кузьмин, В.Н. Справочник экономиста сельскохозяйственной организации / В.Н. Кузьмин, В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин [и др.] – М: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 464 с.

56. Кутьков, Г.М. Техничко-экономический анализ применения МЭС средства на возделывании пропашных культур / Г.М. Кутьков, В.Т. Надыкто, В. Д. Черепухин // Техника в сельском хозяйстве. - 1997. - №2. - С. 16 - 18.

57. Лапынин, Ю.Г. Пути увеличения проходимости и экологичности транспортных средств / Ю.Г. Лапынин, А.Н. Макаренко, А.А. Архипов, Д.В. Резников // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4 – С. 101 – 107.

58. Макаров, В.С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.05.03 / Макаров Владимир Сергеевич. - Н. Новгород, 2009. - 18 с.

59. Мацнев, М.Г. Грузоподъемность транспортного агрегата с трактором класса 14-20 кН разной компоновки / М.Г. Мацнев // Труды Воронежского СХИ

«Обоснование оптимальных параметров мобильной сельскохозяйственной техники». – Воронеж: Воронежский СХИ., 1978. – С. 59 - 68.

60. Мелешко, М. Г. Новое поколение тракторов МТЗ / М.Г. Мелешко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2006. - №5. - С. 5 - 10.

61. Неверов, А.Н. Определение эксплуатационных допусков удельного расхода топлива энергонасыщенных тракторов / А.Н. Неверов // Вестник Новгородского государственного университета. - 1999. - №11.

62. Нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники / по ред. Т.Д. Грошевой. Ч. 1 – М., 1988. – 201 с.

63. Нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники / по ред. Т.Д. Грошевой. Ч. 2 – М., 1988. – 127 с.

64. Овтов, В.А. Повышение эффективности работы тракторного дизеля оптимизацией температуры впрыскиваемого топлива: дис. ... канд. тех. наук : 05.20.03 / Овтов Владимир Александрович. – Пенза, 1999 – 189 с.

65. Охотников, Б. Л. Влияние неровностей дорожной поверхности на перераспределение нагрузок между мостами тракторного транспортного средства / Б.Л. Охотников, В.Н. Егоров // Строительные и дорожные машины : Научно-технический и производственный журнал. - 2011. - № 4. - С. 37 - 38.

66. Охотников, Б.Л. Транспорт в сельском хозяйстве / Б.Л. Охотников. - Екатеринбург: Изд-во УрГСХА, 2009. - 196 с.

67. Охотников, Б.Л. Эффективность использования колесных тракторов класса 1,4 на транспортных работах / Б.Л. Охотников, В.Н. Егоров // Уральская ГСХА Аграрный вестник Урала. – 2011. - №3(82) – С. 58.

68. Пантюхов, А.М. Уплотнение выщелоченного чернозема под воздействием ходовых систем тракторов и изменение некоторых его физических свойств / А.М. Пантюхов, М.К. Пантюхов, В.В. Бердышев // Вестник Тюменской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. - № 2. - С. 58 - 61.

69. Парфенов, А.П. Рынок сельскохозяйственных тракторов Германии, Австрии и Швейцарии / А.П. Парфенов // Материалы международной научно-

технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». – М. : МГТУ «МАМИ», 2010. - С. 473 – 481.

70. Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов. 13-е изд. Т. 2: Учебное пособие для вузов / Н.С. Пискунов. - М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. — 560 с.

71. Плаксин, А.М. Влияние сцепного веса трактора на энергетические показатели агрегата / А.М. Плаксин, А.П. Зырянов // Вестник ЧГАУ. т. 47. - Челябинск, 2006. - С. 97 - 100.

72. Прицеп тракторный 2 ПТС-4 модель 887Б. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Под ред. В.Д. Кутлопской. – М., 1991. – 90 с.

73. Рациональное использование энергонасыщенных тракторов / [Электронный ресурс] Сайт Техника для сельского хозяйства. – Электрон. дан. – Режим доступа: Web: <http://www.knauf.spb.ru>.

74. Руководство по эксплуатации тракторов Беларусь 80.1/80.2/82.1/82.2/82Р. 8-е изд. перераб и доп. – Минск, 2007. – 140 с.

75. Селиванов, Н.И. Система оптимизации эксплуатационных параметров и режимов работы энергонасыщенных тракторов / Н.И. Селиванов // Вестник КрасГАУ. - Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2009. - №5. - С. 133 - 138.

76. Сенникова, Н.Н. Повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов в сельскохозяйственном производстве Амурской области: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Сенникова Наталья Николаевна. – Благовещенск, 2010. – 24 с.

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

78. Скурятин, Н.Ф. Исследование кинематики движения тракторного транспортного прицепного агрегата по пересеченной местности с тягово-

догрузочным устройством / Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – Белгород. – 2014. - № 3(3). – С. 22-27.

79. Скурятин, Н.Ф. Исследование распределения веса по опорам тракторного транспортного агрегата / Н.Ф. Скурятин, Б.С. Зданович. – М., 2000. – 48 с. – Деп. в ВНИИТЭИагропрома, № 139.

80. Скурятин, Н.Ф. Исследование сил, действующих на прицеп при работе с тягово-догрузочным устройством / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Е.В. Соловьев и др. // Вестник Воронежского Государственного Аграрного Университета. – Воронеж. - 2013. - № 4(39). – С. 94-98.

81. Скурятин, Н. Ф. Метод перераспределения веса транспортно-технологического агрегата по его опорам / Н.Ф. Скурятин, Б.С. Зданович // Экология ЦЧО РФ. Липецкий эколого-гуманитарный институт. - 2000. - №2. - С. 118 – 121.

82. Скурятин, Н.Ф. Методы эффективного использования транспортно-распределительных средств на внесении удобрений: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.20.03 / Скурятин Николай Филиппович. – Ленинград, 1992. – 39 с.

83. Скурятин, Н.Ф. Модернизация тягово-догрузочного устройства к прицепу / Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев, В.Н. Амосов // Проблемы и перспективы инновационного развития животноводства: Материалы XVII международной научно - производственной конференции. – Белгород: Изд-во БелГСХА им. В.Я. Горина. - 2013. – С. 179.

84. Скурятин, Н.Ф. Определение предельной нагрузки на гидронавеску трактора со стороны прицепа / Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев // Лесотехнический журнал. – Воронеж. - 2014. - № 3(15). – С. 269-273.

85. Скурятни, Н.Ф. Повышение грузоподъемности прицепного агрегата / Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев, А.В. Бондарев // Сельский механизатор. – 2014. - №12. - С. 38-39.

86. Скурятин, Н.Ф. Повышение тягово-сцепных свойств и грузоподъемности тракторного транспортного прицепного агрегата / Н.Ф.

Скuryтин, А.В. Бондарев, Е.В. Соловьев и др. // Современные проблемы инновационного развития агроинженерии: Материалы международной научно - производственной конференции. – Белгород: Изд-во БелГСХА им. В.Я. Горина. - 2012. – Часть.2.- С. 132-135.

87. Скuryтин, Н.Ф. Разработка метода определения предельной грузоподъемности тракторного транспортно-технологического агрегата / Н.Ф. Скuryтин, Б.С. Зданович // Сборник научных трудов под ред. Г.М. Кутькова «Тракторы и эксплуатация машинно-тракторных агрегатов». Московский ГАУ. – 1999. – С. 28 - 32.

88. Скuryтни, Н.Ф. Тягово-догрузочное устройство к прицепу / Н.Ф. Скuryтин, А.В. Бондарев, Е.В. Соловьев // Сельский механизатор. – 2013. - №3. - С. 38-39.

89. Соловьев, Е.В. К вопросу повышения грузоподъемности тракторного транспортного прицепного агрегата / Е.В. Соловьев, Н.Ф. Скuryтин // Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке: Материалы VIII-го международного форума аграрной молодежи. – Харьков: ХНТУСХ. – 2012. – С. 28.

90. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства / Под ред. В.В. Нунгезера, Ю.Ф. Лачуги, В.Ф. Федоренко. Ч. 1 и Ч. 2 – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 864 с.

91. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / Под ред. М.И. Клецкина. Т 4. – М. : Машиностроение, 1969. – 536 с.

92. Пат. 2297938 РФ, МПК В 62 D 53/04 (2006.01), В 60 D 1/00 (2006.01), А 01 В 59/04 (2006.01). Сцепное устройство для соединения колесного трактора с прицепом / В.П. Гребнев, В.И. Панин, А.В. Ворохобин.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. - № 2005138232/11; заявл. 08.12.2005; опубл. 27.04.2007., Бюл. №12.

93. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – М. : Наука, 1974. – 480 с.

94. Трактор МТЗ 80: технические характеристики и расход топлива / [Электронный ресурс] Сайт Ремонт тракторов и спецтехники. – Электрон. дан. – Режим доступа: [Web: http://avto-motor.com.ua](http://avto-motor.com.ua).

95. Пат. 2497706 РФ, МПК В62D53/04 (2006.01), А01В59/04 (2006.01), В60D1/00 (2006.01). Тягово-догрузочное устройство тракторного прицепа, агрегируемого посредством гидрокрюка / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Е.В. Соловьев, И.С. Максимов.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина». – 2012111906/11; заяв. 27.03.2012; опубл. 10.11.2013. Бюл. №31. - 7 с.: ил.

96. Уплотняющее воздействие на почву сельскохозяйственных тракторов и машин / [Электронный ресурс] Сайт Спецтехника и оборудование. – Электрон. дан. – Режим доступа: [Web: http://xn----itbb1bjjwe.xn--p1ai](http://xn----itbb1bjjwe.xn--p1ai).

97. Пат. 2190549 РФ, МПК7 В 62 D 53/04. Устройство для повышения проходимости колесных тракторов при работе с двухосными прицепами / В.П. Гребнев, В.И. Панин, С.В. Хвастунов.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. - № 2000100630/28; заявл. 10.01.2000; опубл. 10.10.2002.

98. Пат. 2137652 РФ, МПК6 В 62 D 53/04. Устройство для повышения проходимости колесных тракторов при работе с прицепами / В.П. Гребнев, В.И. Панин, А.В. Бочаров.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. - № 97120689/28; заявл. 03.12.1997; опубл. 20.09.1999.

99. Пат. 2456194 РФ, МПК В 62 D 53/04 (2006.01). Устройство для повышения проходимости колесного трактора с двухосным прицепом / В. Д. Бурдыкин.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. - № 2010112518/11; заявл. 31.03.2010; опубл. 20.07.2012., Бюл. №28.

100. Пат. 2469523 РФ, МПК А 01 В 63/00 (2006.01), В 62 D 49/08 (2006.01). Устройство для регулирования положения балластного груза на полураме трактора: / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. - № 2011116618/11; заявл. 26.04.2011; опубл. 20.12.2012., Бюл. №35.

101. Фере, Н.Э. и др. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка 2-е издание / Н.Э. Фере [и др.] — М. : Колос, 1978. - 256 с.

102. Худовец, В.И. Повышение опорной проходимости неполноприводного трактора класса 1,4 / В.И. Худовец, С.В. Щитов, Е.И. Решетник, О.В. Щегорец // Техника и оборудование для села. - 2012. - № 10. - С. 6 - 7.

103. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – М. : Колос, 1972. – 384 с.

104. Щитов, А.С. Повышение тягово-сцепных свойств колесных тракторов класса 1,4 на полевых транспортных работах в условиях Амурской области: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Щитов Андрей Сергеевич. - Благовещенск, 2004. – 24 с.

105. Щитов, С.В. Пути повышения агротехнической проходимости колесных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.20.01 / Щитов Сергей Васильевич. -Благовещенск, 2009. - 39с.

106. Яценко, С.В. Исследование тягово-сцепных свойств колесного трактора класса 1,4 с корректором сцепного веса в условиях Амурской области: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Яценко Сергей Викторович. – Благовещенск, 2007. – 22 с.

107. Jokiniemi T. Simple and cost effective method for fuel consumption measurements of agricultural machinery / T. Jokiniemi, H. Rossner, J. Ahokas // Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue. – 2012. P. 97 – 107.

108. Ormenisan, A.N. Using automatic control systems to increase dynamic performance and operating energy ploughing aggregates / A.N. Ormenisan // Brasov,

Romania. 5th International Conference "Computational Mechanics and Virtual Engineering". - 2013. – P. 405 – 409.

109. Tajanowskij G. Principles and problems of the tractors transport-pull units unitization analysis / G. Tajanowskij, W. Tanaś // Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Commission of motorization and power industry in agriculture. – 2004. - P. 30 – 38.

110. Vilde, A.A Criteria for the estimation of the efficiency of agricultural tractors in field crop cultivation / A.A. Vilde, E.A. Pirs // Jelgava, Latvia. 7th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Proceedings. - 2008. - P. 147 - 153.

ПРИЛОЖЕНИЯ

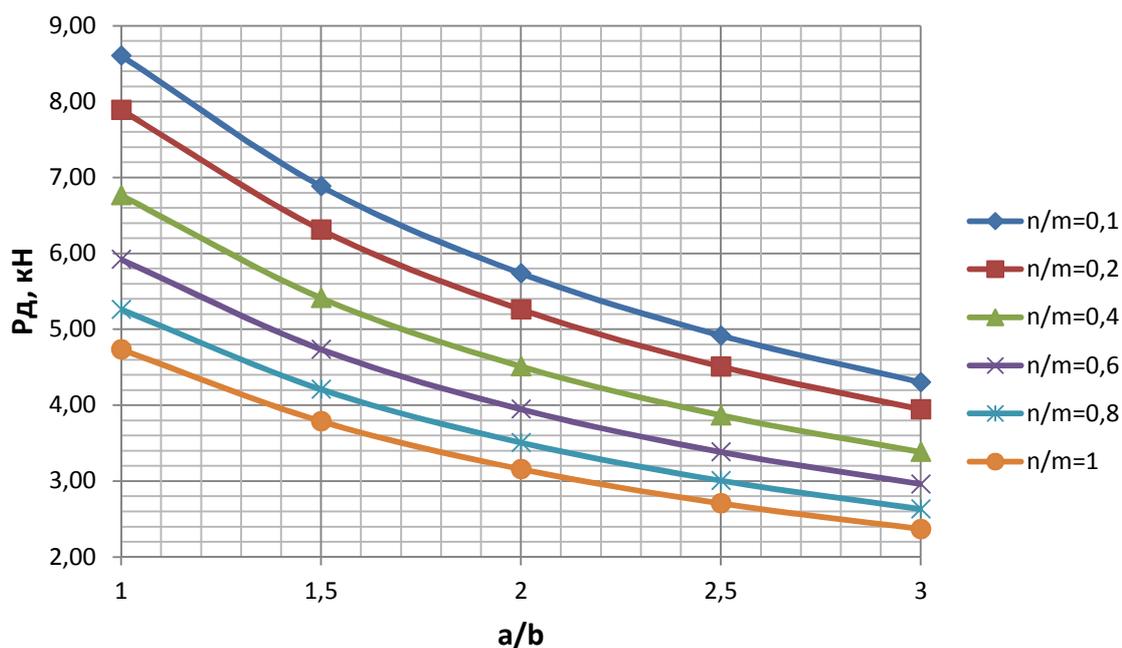


Рисунок 1 - Влияние соотношения плеч балки a/b на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 65^\circ$

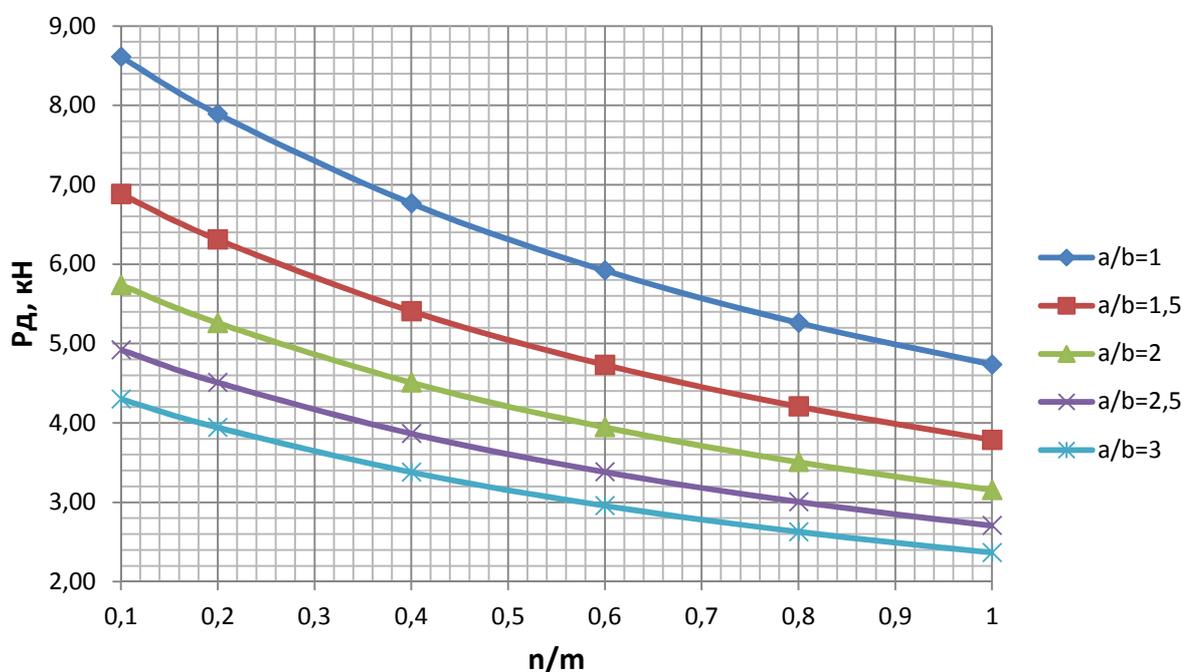


Рисунок 2 - Влияние соотношения плеч маятника n/m на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 65^\circ$

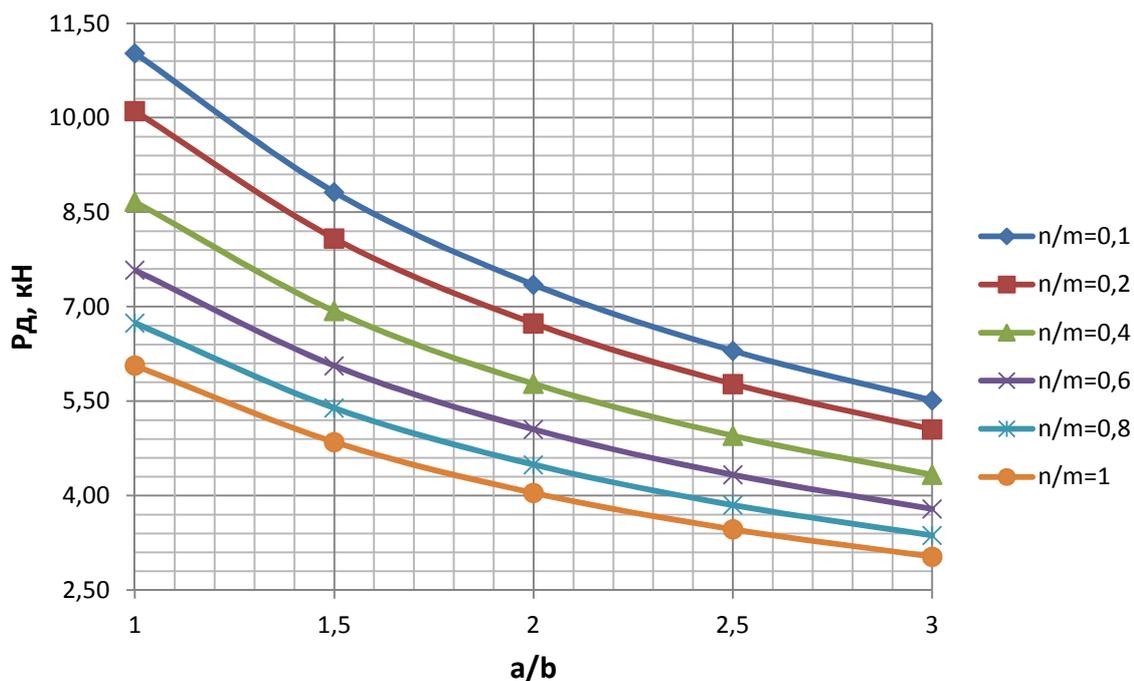


Рисунок 3 - Влияние соотношения плеч балки a/b на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 70^\circ$

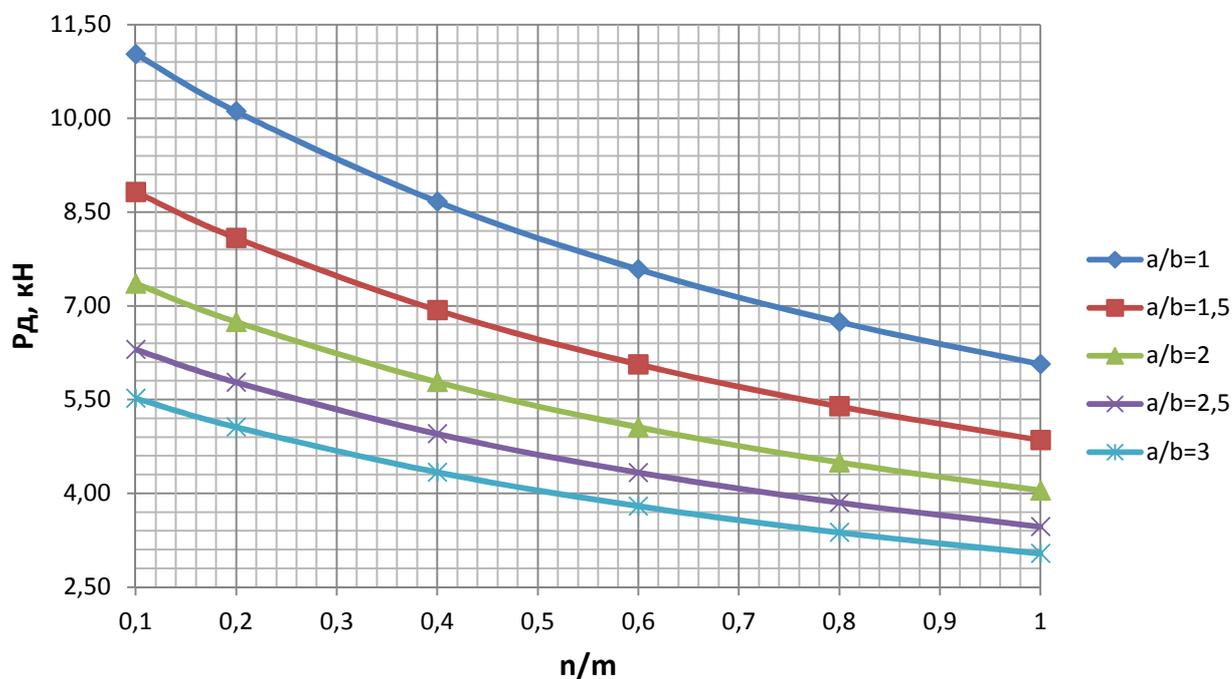


Рисунок 4 - Влияние соотношения плеч маятника n/m на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 70^\circ$

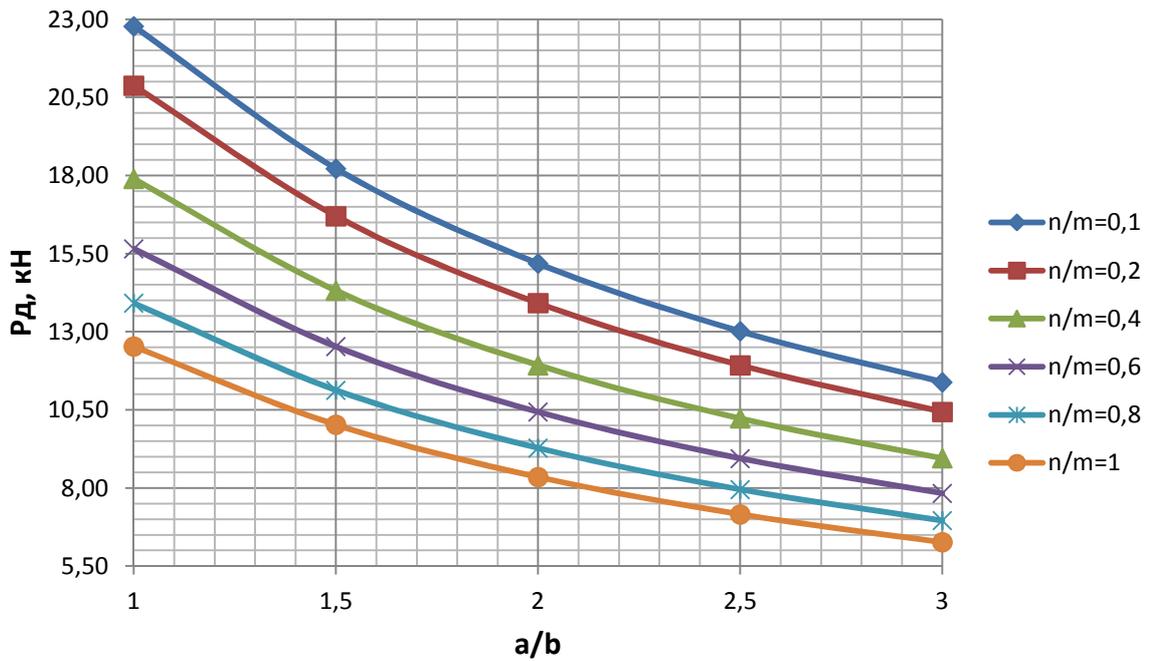


Рисунок 5 - Влияние соотношения плеч балки a/b на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 80^\circ$

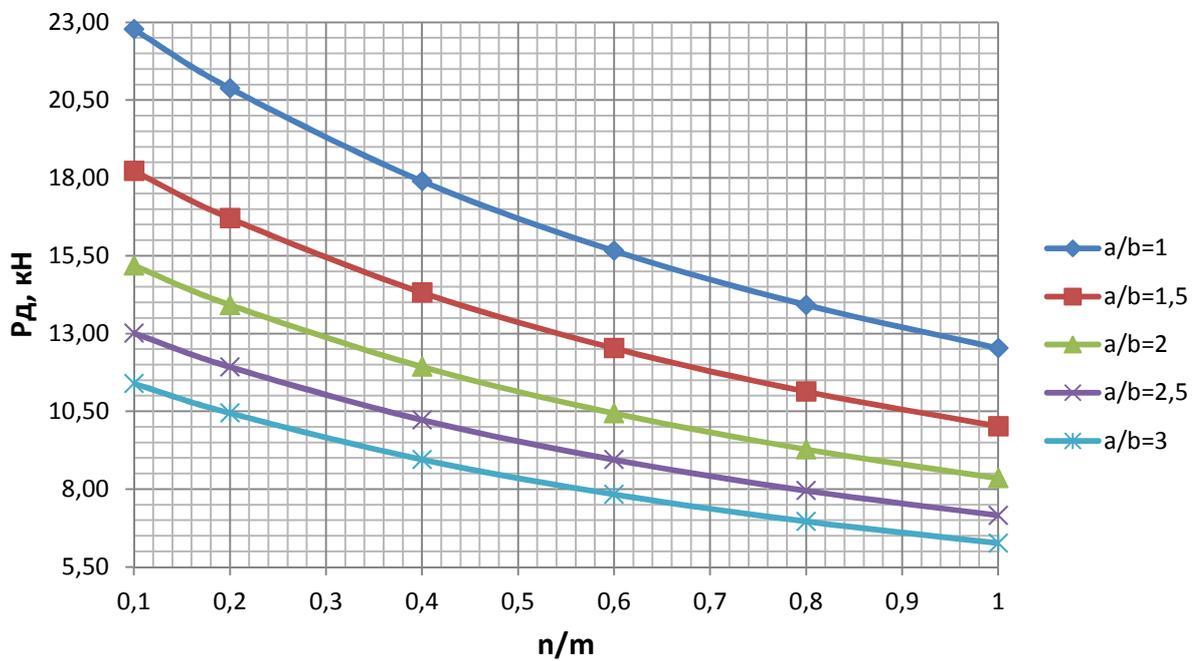


Рисунок 6 - Влияние соотношения плеч маятника n/m на величину догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 80^\circ$

Таблица 1 - Высоты неровностей, преодолеваемых прицепным тракторным транспортным агрегатом

№ опыта	Расстояния от нижней части металлического профиля до поверхности поля в левой крайней точке x_1 , м	Расстояния от нижней части металлического профиля до поверхности поля в правой крайней точке x_2 , м	Средняя высота преодолеваемых неровностей x_{cp} , м
1	0,005	0,015	0,010
2	0	0,016	0,008
3	0,003	0,017	0,010
4	0,015	0,019	0,017
5	0	0,023	0,011
6	0,015	0,028	0,021
7	0,02	0,030	0,025
8	0,003	0,032	0,017
9	0,005	0,033	0,019
10	0,005	0,037	0,021
11	0,035	0,038	0,036
12	0,018	0,038	0,028
13	0,04	0,044	0,042
14	0,022	0,046	0,034
15	0,02	0,048	0,034
16	0	0,048	0,024
17	0,046	0,050	0,048
18	0,014	0,052	0,033
19	0,038	0,055	0,046
20	0,061	0,056	0,059
21	0,051	0,057	0,054
22	0,052	0,057	0,055
23	0,078	0,059	0,068
24	0,043	0,059	0,051
25	0,043	0,060	0,052
26	0,02	0,060	0,040
27	0,075	0,060	0,068

Продолжение таблицы 1

№ опыта	Расстояния от нижней части металлического профиля до поверхности поля в левой крайней точке x_1 , м	Расстояния от нижней части металлического профиля до поверхности поля в правой крайней точке x_2 , м	Средняя высота преодолеваемых неровностей x_{cp} , м
28	0,06	0,060	0,060
29	0,05	0,062	0,056
30	0,053	0,066	0,060
31	0,065	0,069	0,067
32	0,074	0,070	0,072
33	0,034	0,072	0,053
34	0,015	0,072	0,044
35	0,015	0,073	0,044
36	0,023	0,074	0,049
37	0,03	0,077	0,053
38	0,028	0,082	0,055
39	0,094	0,085	0,089
40	0,044	0,096	0,070
41	0,02	0,100	0,060
42	0,044	0,105	0,074
43	0,11	0,112	0,111
44	0,065	0,119	0,092
45	0,115	0,119	0,117
46	0,035	0,123	0,079
47	0,08	0,123	0,101
48	0,122	0,114	0,118
49	0,073	0,137	0,105
50	0,12	0,110	0,115

Таблица 1 – Результаты полевых испытаний по определению буксования движителей трактора

Показатели			Номинальная грузоподъемность $Q_{\text{ПР}} = 4000\text{кг}$		Номинальная грузоподъемность +догрузка $Q_{\text{ПР}} = 4785\text{кг}$		Пустой прицеп $Q_{\text{ПР}} = 0\text{кг}$	
			с ТДУ	без ТДУ	с ТДУ	без ТДУ	с ТДУ	без ТДУ
Число импульсов датчика, шт.	по полю	проход 200м (туда)	209	212	210	215	205	206
		проход 200м (обратно)	208	213	212	218	204	207
	по грунтовой дороге (2000 м)		2066	2085	2083	2102	2042	2057
Буксование, %	по полю	проход 200м (туда)	3,03	4,51	3,53	5,99	1,06	1,55
		проход 200м (обратно)	2,54	5	4,51	7,47	0,57	2,05
	среднее		2,79	4,76	4,02	6,73	0,81	1,8
	по грунтовой дороге (2000м)		1,85	2,79	2,69	3,62	0,67	1,41

Таблица 1 – Результаты полевых испытаний по определению часового расхода топлива трактора

Показатели		Номинальная грузоподъемность $Q_{пр} = 4000\text{кг}$		Номинальная грузоподъемность +догрузка $Q_{пр} = 4785\text{кг}$		Пустой прицеп $Q_{пр} = 0\text{кг}$	
		с ТДУ	без ТДУ	с ТДУ	без ТДУ	с ТДУ	без ТДУ
Продолжительность опыта, сек	по полю (400м)	153	155	156	149	151	151
	по грунтовой дороге (2000м)	949	950	960	947	940	961
Расход топлива, л/ч	по полю (400м)	11,6	12,5	11,9	12,7	7,25	8,32
	по грунтовой дороге (2000м)	6,57	7,24	7,11	7,43	5,9	6,41
Экономия топлива, л/ч	по полю (400м)	0,9		0,8		1,07	
	по грунтовой дороге (2000м)	0,67		0,32		0,51	

Таблица 1 - Догрузка трактора со стороны прицепа, P_d , кН

		Крюковое усилие, $P_{кр}$, кН					Соотношение переднего и заднего концов балки, а/б
		3	4,5	6	7,5	9	
Соотношение нижней и верхней частей маятника, п/т	0,2	1,98	2,35	2,74	3,00	3,50	2
	0,4	1,94	2,28	2,65	2,87	3,41	
	0,6	1,89	2,23	2,57	2,82	3,30	
	0,2	1,91	2,25	2,59	2,88	3,39	2,2
	0,4	1,83	2,19	2,49	2,79	3,24	
	0,6	1,75	2,06	2,37	2,61	3,08	
	0,2	1,79	2,15	2,51	2,76	3,21	2,4
	0,4	1,75	2,04	2,35	2,65	3,15	
	0,6	1,68	1,98	2,29	2,60	3,09	
	0,2	1,70	2,05	2,35	2,64	3,13	2,5
	0,4	1,64	1,92	2,28	2,58	3,09	
	0,6	1,56	1,88	2,23	2,49	2,98	

Таблица 2 – Нагрузка на переднюю ось прицепа, $P_{п}$, кН

		Крюковое усилие, $P_{кр}$, кН					Соотношение переднего и заднего концов балки, а/б
		3	4,5	6	7,5	9	
Соотношение нижней и верхней частей маятника, п/т	0,2	24,54	23,91	23,34	22,86	22,04	2
	0,4	24,64	24,08	23,53	23,09	22,31	
	0,6	24,81	24,31	23,73	23,22	22,50	
	0,2	24,71	24,07	23,55	23,02	22,25	2,2
	0,4	24,85	24,21	23,75	23,19	22,54	
	0,6	24,95	24,40	23,93	23,45	22,76	
	0,2	24,89	24,29	23,77	23,32	22,69	2,4
	0,4	24,97	24,48	24,01	23,53	22,79	
	0,6	25,08	24,60	24,15	23,66	22,99	
	0,2	25,00	24,45	23,99	23,56	22,87	2,5
	0,4	25,10	24,64	24,12	23,70	22,97	
	0,6	25,24	24,72	24,23	23,85	23,12	

Таблица 3 – Нагрузка на заднюю ось прицепа, P_3 , кН

		Крюковое усилие, $P_{кр}$, кН					Соотношение переднего и заднего концов балки, а/б
		3	4,5	6	7,5	9	
Соотношение нижней и верхней частей маятника, п/т	0,2	27,48	27,74	27,92	28,14	28,46	2
	0,4	27,42	27,64	27,82	28,04	28,28	
	0,6	27,30	27,46	27,70	27,96	28,20	
	0,2	27,38	27,68	27,86	28,10	28,36	2,2
	0,4	27,32	27,60	27,76	28,02	28,22	
	0,6	27,30	27,54	27,70	27,94	28,16	
	0,2	27,32	27,56	27,72	27,92	28,10	2,4
	0,4	27,28	27,48	27,64	27,82	28,06	
	0,6	27,24	27,42	27,56	27,74	27,92	
	0,2	27,30	27,50	27,66	27,80	28,00	2,5
	0,4	27,26	27,44	27,60	27,72	27,94	
	0,6	27,20	27,40	27,54	27,66	27,90	

Таблица 1 – Результаты замеров твердости почвы

№ опыта	Твердость почвы на отметке 200 мм, Н/см ²
1	47
2	40
3	51
4	43
5	41
6	50
7	46
8	34
9	39
10	40
Среднее значение	43,1

Таблица 1 - Расчетные значения догрузки трактора со стороны прицепа, P_d , кН

		Соотношение нижней и верхней частей маятника, n/m						Угол наклона маятника к упору α_M
		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	
Соотношение переднего и заднего концов балки, a/b	1	6,95	6,37	5,46	4,78	4,25	3,82	60°
	1,5	5,56	5,10	4,37	3,82	3,40	3,06	
	2	4,63	4,25	3,64	3,19	2,83	2,55	
	2,5	3,97	3,64	3,12	2,73	2,43	2,18	
	3	3,48	3,19	2,73	2,39	2,12	1,91	
	1	8,61	7,89	6,76	5,92	5,26	4,74	65°
	1,5	6,89	6,31	5,41	4,74	4,21	3,79	
	2	5,74	5,26	4,51	3,95	3,51	3,16	
	2,5	4,92	4,51	3,87	3,38	3,01	2,71	
	3	4,30	3,95	3,38	2,96	2,63	2,37	
	1	11,03	10,11	8,66	7,58	6,74	6,07	70°
	1,5	8,82	8,09	6,93	6,07	5,39	4,85	
	2	7,35	6,74	5,78	5,05	4,49	4,04	
	2,5	6,30	5,78	4,95	4,33	3,85	3,47	
	3	5,51	5,05	4,33	3,79	3,37	3,03	
	1	14,98	13,73	11,77	10,30	9,15	8,24	75°
	1,5	11,98	10,98	9,41	8,24	7,32	6,59	
	2	9,98	9,15	7,85	6,86	6,10	5,49	
	2,5	8,56	7,85	6,72	5,88	5,23	4,71	
	3	7,49	6,86	5,88	5,15	4,58	4,12	
1	22,77	20,88	17,89	15,66	13,92	12,53	80°	
1,5	18,22	16,70	14,31	12,53	11,13	10,02		
2	15,18	13,92	11,93	10,44	9,28	8,35		
2,5	13,01	11,93	10,22	8,95	7,95	7,16		
3	11,39	10,44	8,95	7,83	6,96	6,26		

Таблица 1 – Оценка точности проведения лабораторных исследований по определению распределения веса прицепа, оснащенного ТДУ, по его опорам

	$P_{кр}$, кН	P_d , кН	P_{II} , кН	P_3 , кН
3	расч. данные	1,23	25,58	27,19
	эксп. данные	1,70	25,00	27,30
	разница	-0,47	0,58	-0,11
	ошибка опыта, %	38,00	2,30	0,40
4,5	расч. данные	1,85	24,87	27,28
	эксп. данные	2,05	24,45	27,50
	разница	-0,20	0,42	-0,22
	ошибка опыта, %	11,00	1,70	0,80
6	расч. данные	2,46	24,16	27,38
	эксп. данные	2,35	23,99	27,66
	разница	0,11	0,17	-0,28
	ошибка опыта, %	4,00	0,70	1,00
7,5	расч. данные	3,08	23,45	27,47
	эксп. данные	2,64	23,56	27,80
	разница	0,44	-0,11	-0,33
	ошибка опыта, %	14,00	0,50	1,20
9	расч. данные	3,69	22,74	27,57
	эксп. данные	3,13	22,87	28,00
	разница	0,56	-0,13	-0,43
	ошибка опыта, %	15,00	0,60	1,60
Средняя ошибка опыта, %		16,40	1,16	1,00

Средняя ошибка опыта определялась зависимостью:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{pi} - P_{эi}}{P_{pi}} \right|}{n} \cdot 100\% ,$$

где P_{pi} - расчетное значение силы, кН;

$P_{эi}$ - экспериментальное значение силы, кН;

n - число замеров.

Общая средняя ошибка опытов равна 6,2 %.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2497706

**ТЯГОВО-ДОГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ТРАКТОРНОГО
ПРИЦЕПА, АГРЕГАТИРУЕМОГО ПОСРЕДСТВОМ
ГИДРОКРЮКА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012111906

Приоритет изобретения **27 марта 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 ноября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **27 марта 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



Міністерство освіти і науки, молоді
та спорту України
Міністерство аграрної політики та продовольства України



Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка



СВІДОЦТВО

Видано Соловйова Е.В.
ФІДБУ ВРО БЕЛГУА КМ. В.Я. Геркич

який(а) прийняв(ла) активну участь
у роботі та виступив(ла) з доповіддю на
VIII міжнародному форумі молоді
“Молодь та сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі”
що відбувся у
Харківському національному
технічному університеті
сільського господарства
імені Петра Василенка
5-6 квітня 2012 року.



Голова оргкомітету _____

Войтов В. А.

м. Харків

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Воронежская государственная лесотехническая академия»

СЕРТИФИКАТ

Подтверждает, что

Соловьев Евгений Владимирович

Участвовал (а)

В МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

**«ЭКОЛОГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ И
СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ»**

Ректор ФГБОУ ВПО «ВГЛТА»

Д.т.н., профессор



Бугаков В.М.

03-05 июня 2014 года

г. Воронеж

Утверждаю:



УНИЦ «Агротехнопарк»

им. В.Я. Горина, к.т.н.

Прокофьев В.В.

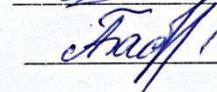
2014 года

Справка

Мы, нижеподписавшиеся сотрудники кафедры «Технический сервис в АПК»: профессор Скурятин Н.Ф., доцент Бондарев А.В., ассистент Соловьев Е.В. и зам. директора УНИЦ «Агротехнопарк» БелГСХА им. В.Я. Горина Бабакин А.Н. составили настоящую справку о том, что прицепной тракторный транспортный агрегат в составе: трактор МТЗ-80, прицеп 2ПТС-4, оснащенный разработанным тягово-догрузочным устройством, позволяющим использовать крюковую силу в качестве догружающей гидронавеску трактора (по патенту РФ № 2497706 и заявки на изобретение № 2014118831) прошел производственную проверку на полях УНИЦ «Агротехнопарк» БелГСХА им. В.Я. Горина и показал следующие результаты: по сравнению с базовым вариантом (МТЗ-80+2ПТС-4) предложенная модернизация прицепа позволяет увеличить грузоподъемность агрегата на 19,63%, повысить производительность на доставке грузов на 18,95%, снизить буксование на 2,71%, сократить часовой расход топлива на 6,3%.

 Скурятин Н.Ф.
 _____ Бондарев А.В.

 Соловьев Е.В.

 Бабакин А.Н.

Приложение О

Утверждаю:

Генеральный директор

ОАО Агрофирма «Роговатовская Нива», к.т.н.

Мерецкий С.В.

2014 года

**Справка**

Мы, нижеподписавшиеся сотрудники кафедры «Технический сервис в АПК»: профессор Скурятин Н.Ф., ассистент Соловьев Е.В. и зам. директора по производству ОАО Агрофирма «Роговатовская Нива» Емельянов Ю.Е. составили настоящую справку о том, что транспортный агрегат в составе: трактора МТЗ-80, прицепа 2ПТС-4, оснащенного разработанным тягово-догрузочным устройством, позволяющим преобразовывать крюковую силу в догружающую гидронавеску трактора (по патенту РФ № 2497706 и заявки на изобретение № 2014118831) прошел широкую производственную проверку на полях хозяйства и показал положительные результаты: по сравнению с транспортным агрегатом до модернизации (МТЗ-80+2ПТС-4), предложенная модернизация прицепа позволяет увеличить его грузоподъемность на 19,63%, что ведет к повышению производительности на доставке грузов на 18,95%, кроме того снижается буксование на 2,71% и сокращается часовой расход топлива на 6,3%. Считаем возможным рекомендовать заводам изготовителям тракторных прицепов принять к внедрению предложенную разработку.

 Скурятин Н.Ф.
 Соловьев Е.В.
 Емельянов Ю.Е.