

На правах рукописи



Соловьев Евгений Владимирович

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

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Белгород – 2015

Работа выполнена на кафедре «Технический сервис в АПК» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Скурятин Николай Филиппович

Официальные оппоненты: **Евтюшенков Николай Ефимович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», заведующий отделом транспорта и механизации погрузочно-разгрузочных работ

Ворохобин Андрей Викторович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доцент кафедры тракторов и автомобилей

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора И.И. Иванова»

Защита состоится 21 мая 2015 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВПО «ВГАУ») по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «ВГАУ» и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=1670>.

Автореферат разослан 20 марта 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 220.010.04



Афоничев Дмитрий Николаевич

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Затраты труда и средств на транспортные работы составляют около 40 % от общих при возделывании сельскохозяйственных культур. 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 %.

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 [5]);
- 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, заключения, 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.

Содержание работы

Во введении показана актуальность темы, ее практическая значимость, приведена цель исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» проанализированы различные схемы ТТА, систематизированы способы улучшения тягово-сцепных свойств колесных тракторов, приведен анализ технических решений по догрузке трактора со стороны прицепа и работ по исследованию влияния распределения веса ТТА по опорам на технико-экономические и экологические параметры транспортного процесса.

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., Ксеневич 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 [7]:

- прицепная схема ТТА 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 ТТА прицепной компоновки с ТДУ;

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

Во второй главе «Исследование распределения веса прицепного тракторного транспортного агрегата по его опорам» проведен анализ движения ТТА в изменяющихся условиях эксплуатации и в общем виде определена

допустимая догрузка сцепного устройства трактора со стороны прицепа в зависимости от коэффициентов сопротивления передвижению прицепа и угла склона полей [3]:

$$P_d = \frac{G_{TP} \cdot (a_{TP} \cdot \cos\alpha - h_{TP} \cdot \sin\alpha) - 0,2G_{TP} \cdot L_{TP} - G_{ПП} \cdot h_{КР} \cdot (f_{ПП} \cdot \cos\alpha + \sin\alpha)}{L_{КР}}, \quad (1)$$

где P_d - вертикальная нагрузка на гидронавеску трактора, Н; G_{TP} - вес трактора, Н; $G_{ПП}$ - вес груженого прицепа, Н; a_{TP} - расстояние от задней оси до центра масс трактора, м; h_{TP} - расстояние от опорной поверхности до центра масс трактора, м; $L_{КР}$ - кинематическая длина трактора, м; $h_{КР}$ - расстояние от опорной поверхности до нижних тяг гидронавески трактора, м; α - угол склона полей, °; $f_{ПП}$ - коэффициент сопротивления передвижению прицепа; L_{TP} - продольная база трактора, м.

Математическое ожидание допустимой догрузки равно:

$$\bar{P}_d = \int_{\alpha_n}^{\alpha_k} \int_{f_{ППн}}^{f_{ППк}} P_d(G_{TP}; G_{ПП}; f_{ПП}, \alpha) z(f_{ПП}) z(\alpha) df_{ПП} d\alpha. \quad (2)$$

Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

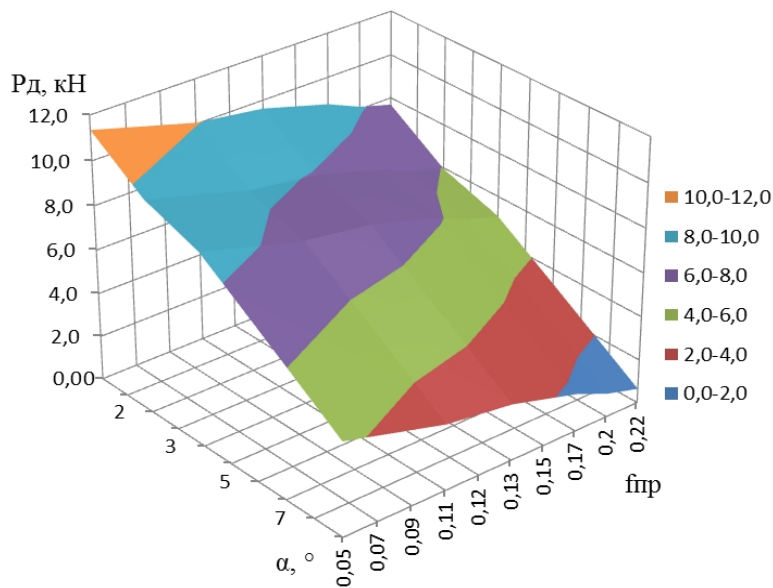


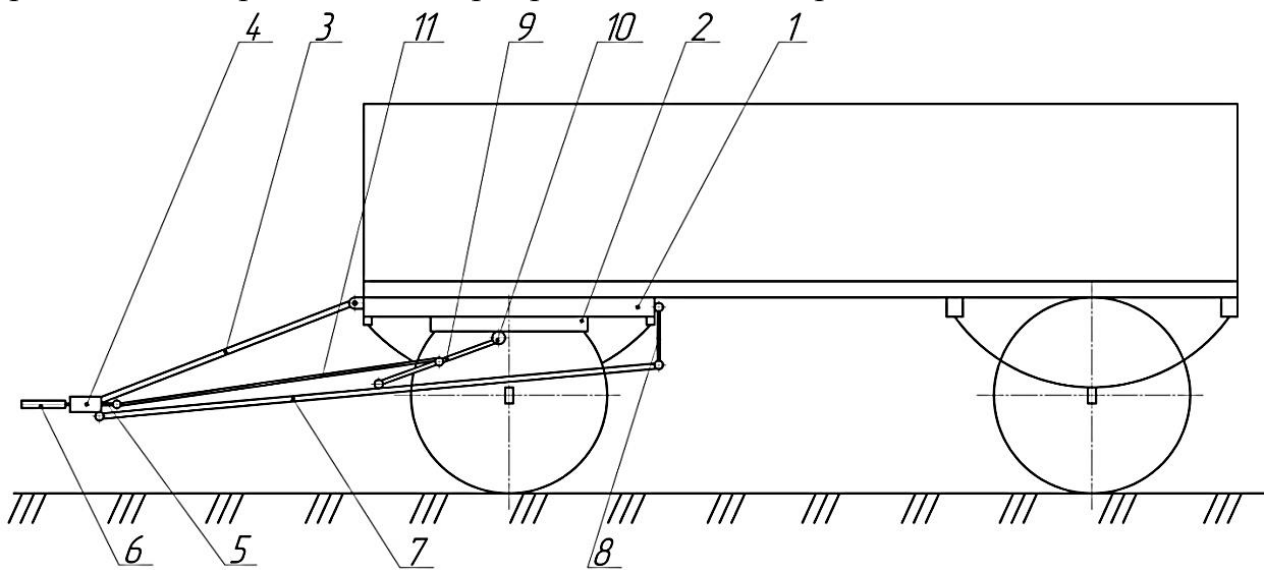
Рисунок 1 – Изменение догрузки трактора МТЗ-80 со стороны прицепа 2ПТС-4 от угла склона и коэффициента сопротивления передвижению прицепа

Анализ рисунка 1 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 – $2,5^\circ$ и коэффициента сопротивления передвижению прицепа – $0,12$ она равна $7,7$ кН.

Для осуществления догрузки гидронавески трактора предложено тягово-догрузочное устройство к прицепу [1, 4, 8] (рисунок 2).

Оно состоит 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 – 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) 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_{III} (рисунок 3). Реакция опоры R_O в точке D действует перпендикулярно упору 2, а в точке A , лежащей на балке 7, R_{III} – направлена горизонтально.

Сила R_{III} 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 уравновешивается реакциями сил, возникающих в тяговом кольце 6 – сила P_D и серьге 8 – сила P_C (рисунок 3).

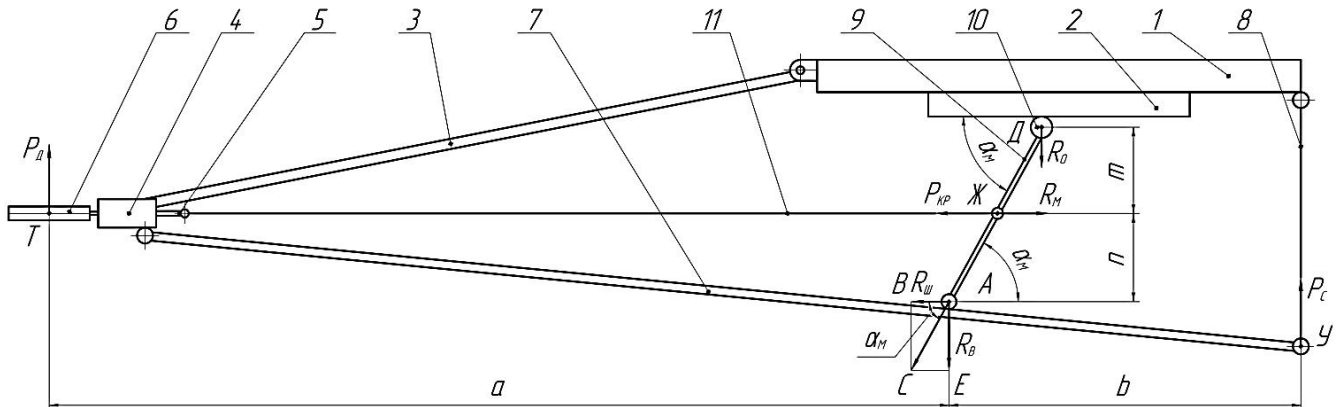


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на ТДУ к прицепу

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

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 [9]. С учетом геометрических параметров прицепа 2ПТС-4 и высоты преодолеваемых неровностей прицепным ТТА установлены основные размеры конструктивных элементов ТДУ (рисунок 4):

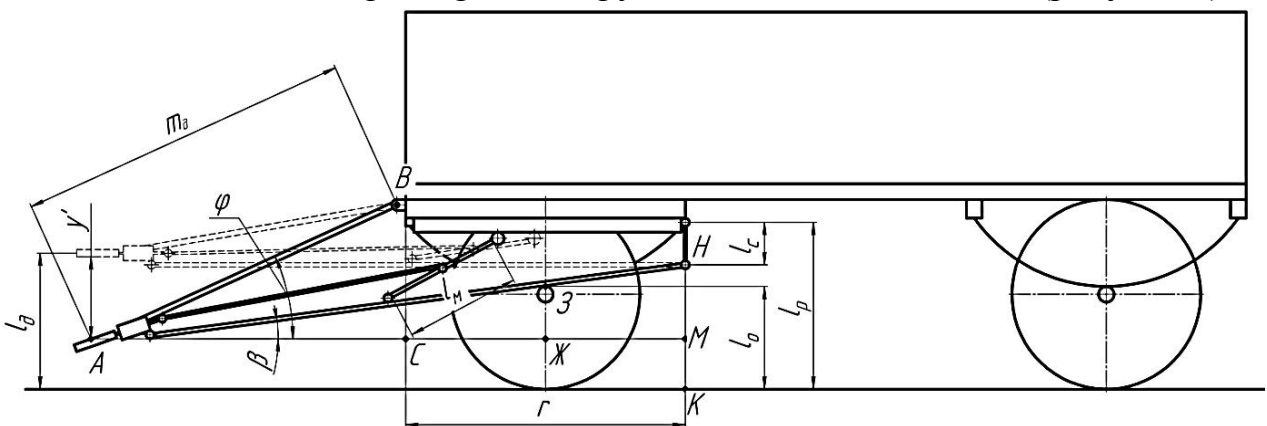


Рисунок 4 – Схема перемещения конструктивных элементов ТДУ при преодолении неровности агрегатом

- диапазон изменения положения тягового кольца дышла прицепа относительно опорной поверхности y :

$$y = y' + y'' = \frac{2x \cdot L_{KP}}{L_{TP}}, \quad (3)$$

- длина балки l_o :

$$l_o = m_o + r, \quad (4)$$

- длина серьги l_c :

$$l_c = l_p - \left(l_o + \frac{x \cdot L_{KP}}{L_{TP}} - l_o \right) \cdot \frac{m_o \cdot \cos \varphi + r}{m_o \cdot \cos \varphi + \frac{r}{2}} + \frac{x \cdot L_{KP}}{L_{TP}} - L_{KP}, \quad (5)$$

- длина маятника l_m :

$$l_m = l_c + r \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (6)$$

где x - высота преодолеваемой неровности, м; y' - величина опускания тягового кольца прицепа относительно исходного положения над опорной поверхностью, м; y'' - величина подъема тягового кольца прицепа относительно исходного положения над опорной поверхностью, м; m_o - длина дышла прицепа, м; r - длина поворотной тележки прицепа, м; l_p - расстояние от опорной поверхности до рамы поворотной тележки прицепа, м; l_o - расстояние от опорной поверхности до верхней части оси передних колес прицепа, м; l_o - расстояние от опорной поверхности до тягового кольца дышла прицепа, м; φ - угол наклона дышла к горизонтали, °; β - угол наклона балки ТДУ к горизонтали, °.

Одними из основных конструктивных параметров ТДУ является длина серьги и маятника. На рисунке 5 показано влияние высоты x преодолеваемой неровности на длину серьги l_c и маятника l_m ТДУ к прицепу 2ПТС-4.

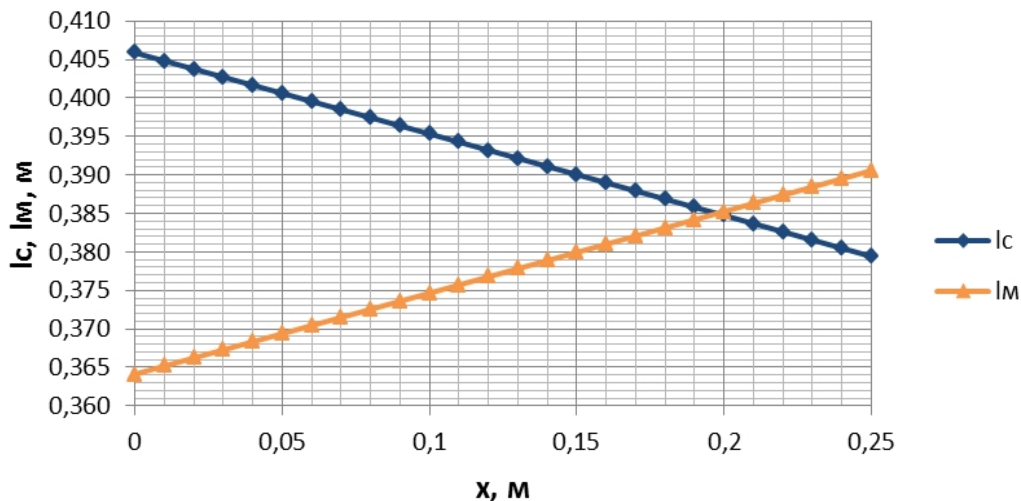


Рисунок 5 – Влияние высоты преодолеваемой неровности на длину серьги и маятника ТДУ к прицепу

Из рисунка 5 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.

Анализ сил, действующих на конструктивные элементы ТДУ (рисунок 3) позволил установить зависимость величины догрузки гидронавески трактора P_d со стороны прицепа [2, 6]:

$$P_d = P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M, \quad (7)$$

где n – проекция нижней части маятника ТДУ на вертикаль, м; m – проекция верхней части маятника ТДУ на вертикаль, м; a – проекция на горизонталь переднего конца балки ТДУ, м; b – проекция на горизонталь заднего конца балки ТДУ, м; α_M – угол наклона маятника к горизонтали (упору), °.

Зависимость (7) показывает, что догрузка на гидронавеску трактора изменяется прямо пропорционально крюковой силе, тангенсу угла наклона маятника к упору и обратно пропорционально соотношениям переднего и заднего концов балки и нижнего и верхнего частей маятника.

Характер совместного влияния отношений a/b и n/m на величину догрузки гидронавески трактора показан на рисунке 6.

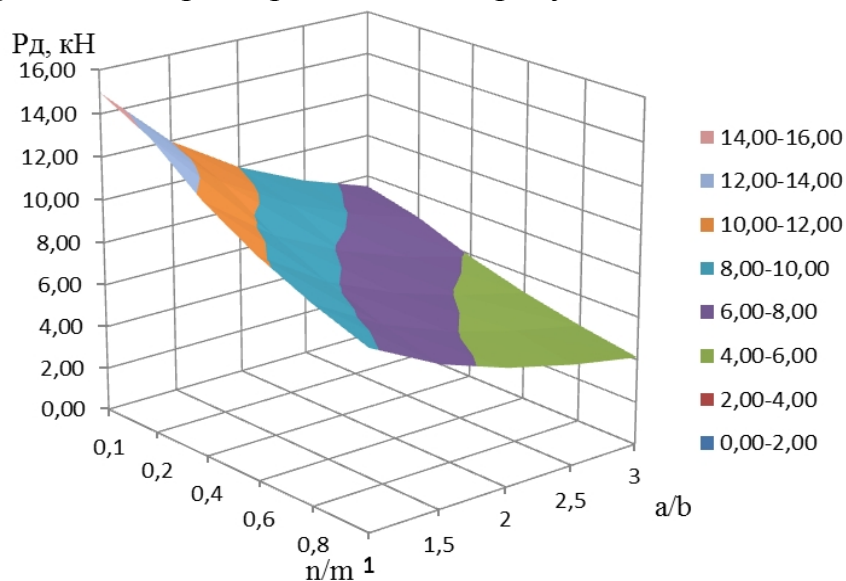


Рисунок 6 – Влияние соотношения плеч балки a/b и концов маятника n/m на величину догрузки трактора P_d со стороны прицепа при угле наклона маятника к упору $\alpha_M = 75^\circ$

Откуда видно, что ТДУ позволяет изменять догрузку гидронавески трактора более чем на 10 кН. Угол наклона маятника к упору оказывает существенное влияние на величину догрузки (рисунок 7). Увеличение угла наклона маятника к упору с 60° до 80° обеспечивает изменение догрузки гидронавески трактора почти на 9 кН.

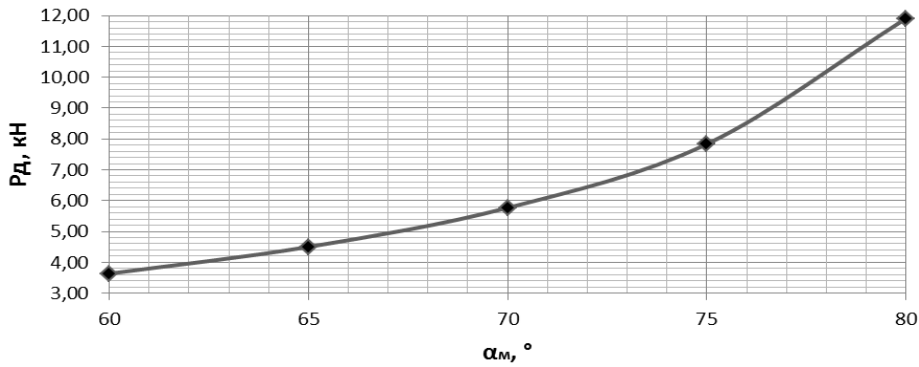


Рисунок 7 – Изменение догружающего усилия P_d от угла наклона маятника к упору α_M (при $a/b=2,5$; $n/m=0,2$)

Предложенное ТДУ к прицепу обеспечивает догрузку гидронавески трактора и тем самым делает его грузонесущим, что позволяет увеличить грузоподъемность прицепа. Рациональная грузоподъемность прицепа, оснащенного ТДУ, определяется зависимостью:

$$Q_{\text{пр}}^* = Q_{\text{пр}} + G_{\text{пр}} (f_{\text{пр}} \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \text{tg} \alpha_M. \quad (8)$$

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

Т.е. рациональная грузоподъемность прицепа есть функция параметров, характеризующих условия эксплуатации - $f_{\text{пр}}$, α и конструкцию ТДУ - a , b , n , m , α_M . Изменение рациональной грузоподъемности в зависимости от коэффициента сопротивления передвижению прицепа и угла склона полей представлено на рисунке 8.

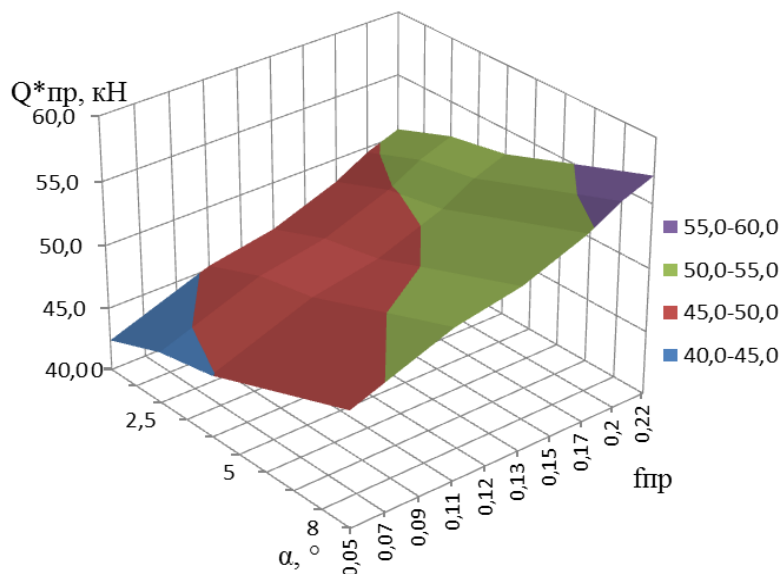


Рисунок 8 – Зависимость грузоподъемности прицепа 2ПТС-4, оснащенного ТДУ, от коэффициента сопротивления передвижению и угла склона поля (при $a/b=2,5$; $n/m=0,2$; $\alpha_M = 75^\circ$)

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, $Q_{\text{пр}}^* = 4,785\text{т}$.

Предлагаемое ТДУ к прицепу 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.

Нагрузка на задние колеса прицепа равна:

$$P_3 = \frac{P_d \cdot AB - P_c \cdot BC + G_{\text{пр}} \cdot BD - R_B \cdot Z}{L_{\text{пр}}}, \quad (9)$$

где P_3 - нагрузка на заднюю ось прицепа, Н; AB - расстояние от петли дышла до передней оси прицепа, м; P_c - реакция силы возникающей в серьге ТДУ, Н; BC - расстояние от передней оси до заднего конца рамы поворотной тележки прицепа, м; BD - расстояние от передней оси до центра масс прицепа, м; R_B - вертикальная сила, действующая в точке крепления маятника к балке ТДУ, Н; Z - горизонтальная координата приложения вертикальной силы относительно точки крепления маятника к балке, м; $L_{\text{пр}}$ - продольная база прицепа, м.

Перегрузка задних колес прицепа составляет:

$$\Delta P_3 = \frac{P_d \cdot AB - P_c \cdot BC + G_{\text{пр}} \cdot BD - R_B \cdot Z}{L_{\text{пр}}} - \frac{G_{\text{пр}}}{2}. \quad (10)$$

Предложено 4 способа исключаящие перегрузку задних колес прицепа: увеличить базу прицепа, при сохранении исходного положения кузова относительно рамы; увеличить длину балки и упора; сместить центр массы груза ближе к передней оси прицепа, путем изменения формы кузова; увеличить длину маятника.

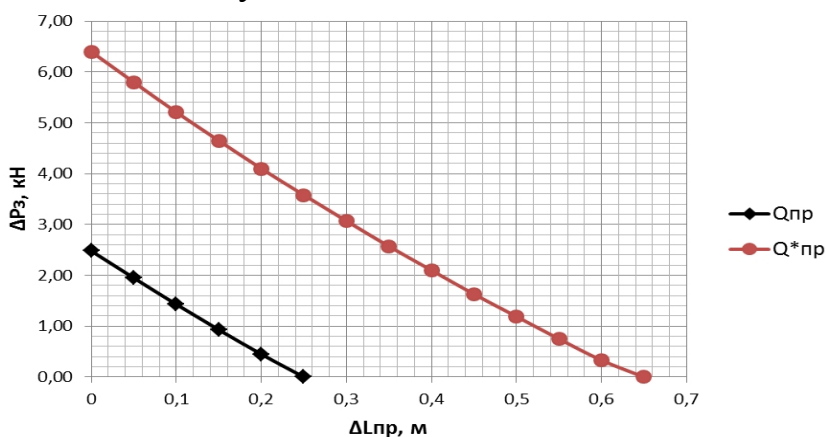


Рисунок 9 – Влияние увеличения базы $\Delta L_{\text{пр}}$ прицепа 2ПТС-4 на перегрузку его задних колес при грузоподъемности $Q_{\text{пр}} = 4\text{т}$ и $Q_{\text{пр}}^* = 4,785\text{т}$

Так как значение базы прицепа $L_{\text{пр}}$ в выражении (10) находится в знаменателе, то наиболее эффективным способом снижения перегрузки задних колес прицепа является первый из предложенных вариантов. Влияние базы прицепа на величину перегрузки задних колес показано на рисунке 9.

Как видно из рисунка 9 перегрузка задних колес прицепа, оснащенного ТДУ, при исходной его базе $L_{\text{ПП}} = 2,7\text{ м}$ равна 2,5 кН (при $Q_{\text{ПП}} = 4\text{ т}$) и 6,4 кН (при $Q_{\text{ПП}}^* = 4,785\text{ т}$), с увеличением базы она снижается и достигает нулевого значения при $\Delta L_{\text{ПП}}$ равном 0,25 м (при $Q_{\text{ПП}} = 4\text{ т}$) и 0,65 м (при $Q_{\text{ПП}}^* = 4,785\text{ т}$).

Предложенные способы, исключая перегрузку задних колес прицепа, ведут к вмешательству в его конструкцию. Не исключая возможность использования каждого из предложенных способов и их сочетаний, считаем более эффективным способом замену шин задних колес на шины с большей грузонесущей способностью.

В третьей главе «Методика проведения экспериментальных исследований» изложена программа и методика экспериментальных исследований, включающая определение:

- характера распределения высоты неровностей преодолеваемых прицепным ТГА, при выезде с поля на дорогу;
- величины буксования движителей трактора при работе ТГА на деформируемых грунтах без ТДУ, с ТДУ при пустом прицепе, при номинальной грузоподъемности прицепа, а также при увеличении ее на величину равную догрузке трактора со стороны прицепа;
- часового расход топлива трактором для шести вариантов прицепного ТГА;
- распределения веса прицепного ТГА с ТДУ по его опорам.

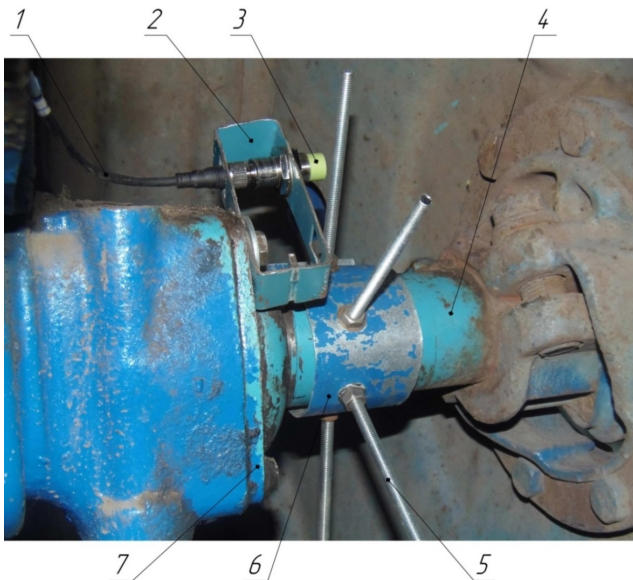
Исходя из анализа наличия техники в сельскохозяйственных предприятиях Белгородской области, в качестве объекта исследования был выбран прицепной тракторный транспортный агрегат типа МТЗ-80+2ПТС-4.

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

Полевые испытания по определению величины буксования движителей трактора и часового расхода топлива проводились на зачетных участках 400 м - поле подготовленное под посев и 2000 м - грунтовая дорога. Для определения величины буксования ведущего колеса трактора МТЗ-80 использовали счетчик оборота колеса, разработанным на основе микропроцессорного счетчика импульсов СИ 8 и индуктивного датчика Autonics PRCM18-8DN (рисунок 10), а для определения часового расхода топлива в топливную систему трактора МТЗ-80 был установлен расходомер DFM 50С (рисунок 11).

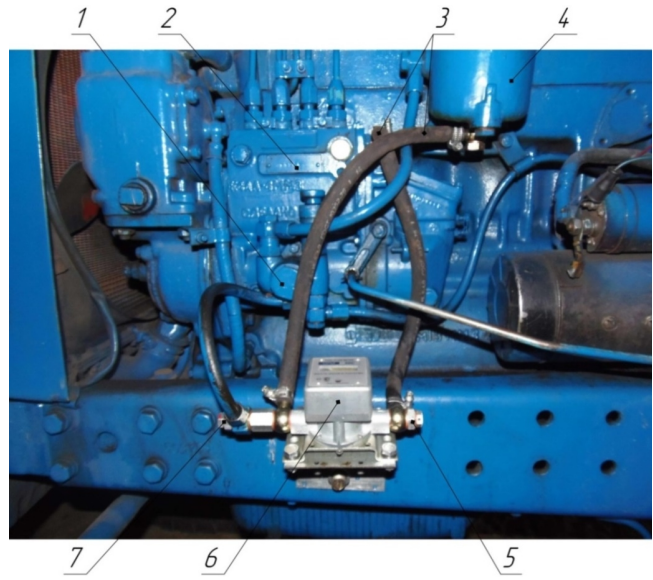
С целью определения рациональных параметров основных конструктивных элементов ТДУ и их влияния на распределения веса прицепного ТГА по его опорам и гидронавеску трактора были проведены лабораторные испытания с использованием динамометра ДПУ-20-1 при нагружении его от 3 до 9 кН.

В заключении дана оценка условий проведения эксперимента.



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 10 – Счетчик импульсов счетчика оборота колеса, установленный на трактор МТЗ-80



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

Рисунок 11 – Расходомер DFM 50С, установленный в топливную систему двигателя трактора МТЗ-80

В четвертой главе «Определение силовых и кинематических параметров прицепного ТТА с ТДУ» установлен закон нормального распределения случайной величины x - высоты неровностей со следующими параметрами: минимальное значение высоты неровностей $x_{\min} = 0,01\text{ м}$, среднее - $\bar{x} = 0,05\text{ м}$, максимальное - $x_{\max} = 0,12\text{ м}$. Гистограмма и кривая распределения высоты преодолеваемых неровностей при движении прицепного ТТА представлены на рисунке 12.

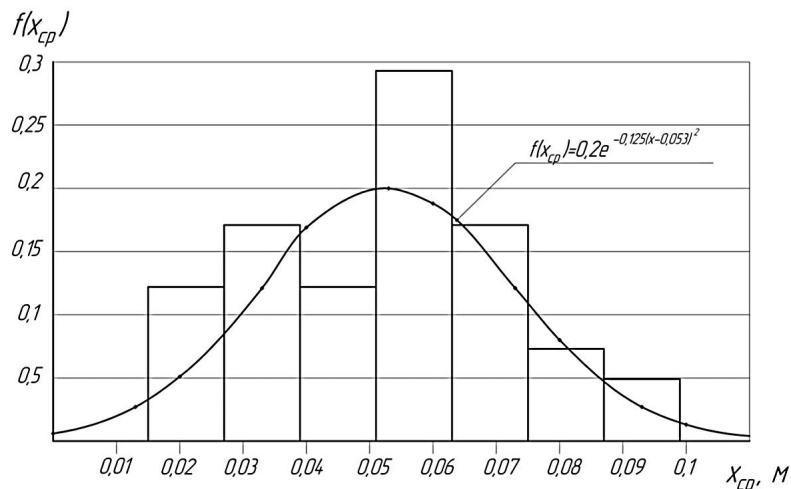


Рисунок 12 – Гистограмма и кривая распределения высоты преодолеваемых неровностей при движении прицепного ТТА МТЗ-80+2ПТС-4

На рисунке 13 показано изменение высоты расположения тягового кольца дышла прицепа над опорной поверхностью y' , длины серьги l_c и минимального размера маятника l_m , от высоты преодолеваемой неровности x .

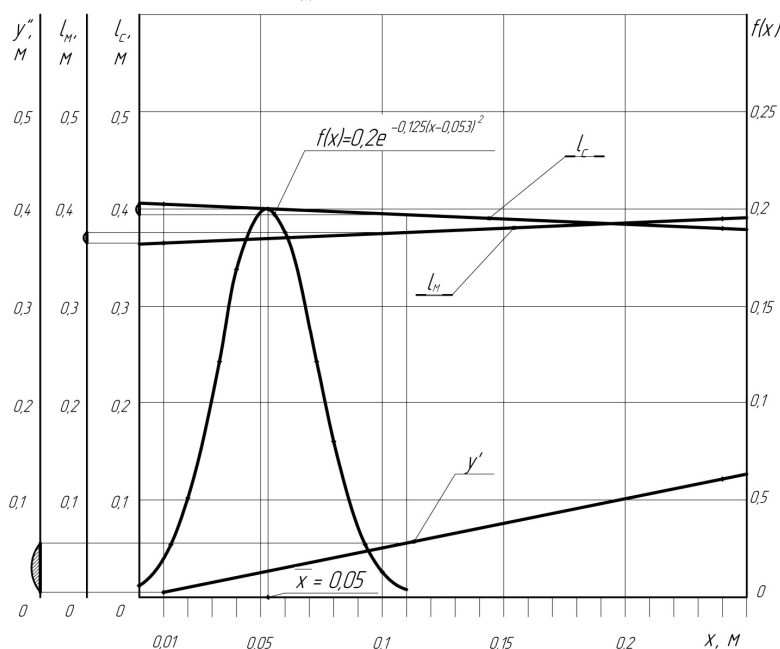


Рисунок 13 – Изменение диапазона вертикального колебания тягового кольца дышла y' , длины маятника l_m и длины серьги l_c в зависимости от высоты преодолеваемой неровности x

Из рисунка 13 следует, 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 ТДУ по размерам, соответствующим максимальному значению преодолеваемой неровности, т.е. его кинематические параметры должны быть равными: длина балки – 3,205 м, серьги – 0,393 м, маятника – 0,377 м.

Допустимую догрузку на гидронавеску трактора (7) возможно обеспечить при различных углах наклона маятника к упору, соотношениях переднего и заднего концов балки, нижней и верхней частей маятника. В целях обеспечения более равномерного распределения суммарной нагрузки по концам балки и маятника, и учитывая особенности конструктивно-технологической схемы ТДУ были выбраны следующие ее рациональные параметры: угол наклона маятника к упору $\alpha_m = 75^\circ$, соотношение переднего и заднего концов балки $a/b=2,5$; соотношение нижней и верхней частей маятника $n/m=0,2$.

В четвертой главе также приведены результаты экспериментальных исследований и дан их анализ.

Адекватность аналитических зависимостей распределения веса прицепа, оснащенного ТДУ, по его опорам и экспериментальных данных показана на рисунке 14.

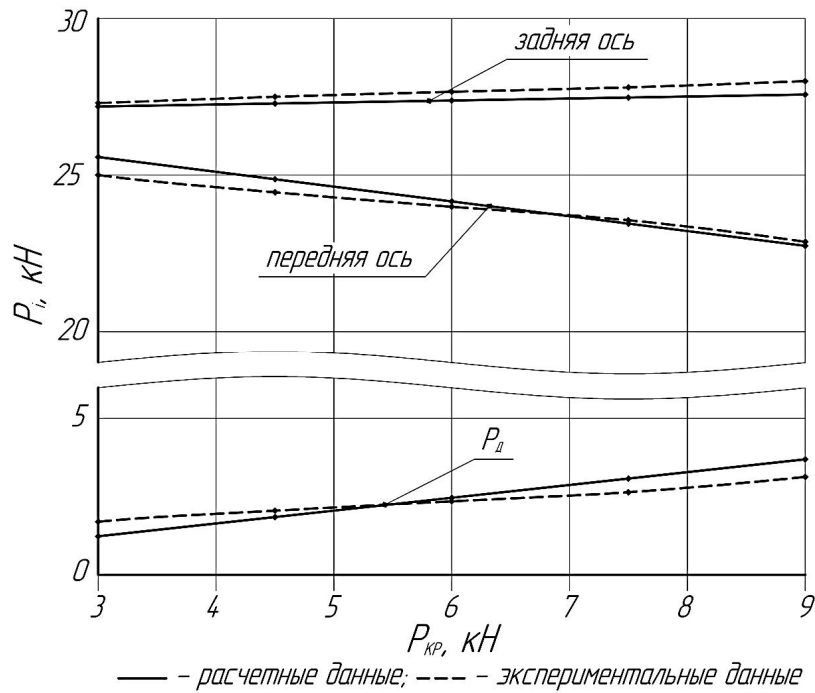


Рисунок 14 – Изменение значения догружающего усилия P_d со стороны прицепа на гидронавеску трактора, нагрузки на передние $P_{п}$ и задние колеса $P_{з}$ прицепа, в зависимости от крюкового усилия $P_{кр}$ (при $a/b=2,5$; $n/m=0,2$; $\alpha_M = 60^\circ$)

Откуда следует, что сходимость расчетных значений нагрузки с фактической по всем трем исследуемым зависимостям 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 грузоподъемности прицепа равной 4,785 т, перегрузка задней оси составляет 6,4 кН.

Сравнительная оценка базового и предложенного вариантов прицепного ТТА по буксованию ведущих колес трактора МТЗ-80 и топливной экономичности его двигателя проводилась параллельно, результаты исследований приведены в таблице 1. При движении базового и предложенного вариантов ТТА по полю подготовленному под посев, буксование ведущих колес трактора по предложенному варианту 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. 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 ТГА 4 и 4,785 т, соответственно на 0,9 л/ч и 0,8 л/ч.

Таблица 1 – Результаты сравнительной оценки прицепных ТГА

Показатели		Грузоподъемность прицепа					
		$Q_{\text{ПР}} = 4000\text{кг}$		$Q_{\text{ПР}} = 4785\text{кг}$		$Q_{\text{ПР}} = 0\text{кг}$ (пустой)	
		с ТДУ	без ТДУ	с ТДУ	без ТДУ	с ТДУ	без ТДУ
Буксование, %	по полю (400 м)	2,79	4,76	4,02	6,73	0,81	1,80
	по грунтовой дороге (2000 м)	1,85	2,79	2,69	3,62	0,67	1,41
Расход топлива, л/ч	по полю (400 м)	11,6	12,5	11,9	12,7	7,25	8,32
	по грунтовой дороге (2000 м)	6,57	7,24	7,11	7,43	5,9	6,41
Экономия топлива, л/ч	по полю (400 м)	0,90		0,80		1,07	
	по грунтовой дороге (2000 м)	0,67		0,32		0,51	

В пятой главе «Технико-экономическая оценка использования прицепного ТГА с ТДУ» установлено, что по сравнению с базовым вариантом предложенный более эффективен при вывозе навоза в поле на расстояние $L = 3,56$ км, его производительность выше на 18,95 %, удельный расход топлива на тонну перевозимого груза ниже на 20,86 %, расчетный годовой экономический эффект составляет 59211,6 рублей.

Заключение

1. Результатом анализа использования прицепных ТГА 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 ТГА, оснащенного ТДУ, (угол склона полей, коэффициент сопротивления передвижению) определять его рациональную грузоподъемность, обеспечивающую повышение технико-экономической эффективности.

4. Установлены закономерности, учитывающие высоту преодолеваемых прицепным ТГА 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° догрузку на гидронавеску трактора изменяют от 1,9 кН до 22,8 кН. Для средних значений угла склона полей 2,5°, 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.

9. 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 ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Скурятин, Н.Ф. Тягово-догрузочное устройство к прицепу [Текст] / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Е.В. Соловьев // Сельский механизатор. – 2013. - №3. - С. 38-39.

2. Скурятин, Н.Ф. Исследование сил, действующих на прицеп при работе с тягово-догрузочным устройством [Текст] / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Е.В. Соловьев и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж. - 2013. - № 4(39). – С. 94-98.

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

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

Патент

5. Патент 2497706 РФ, МПК В62D53/04 (2006.01), А01В59/04 (2006.01), В60D1/00 (2006.01). Тягово-догрузочное устройство тракторного прицепа, агрегируемого посредством гидрокрюка [Текст] / 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.

Статьи в сборниках научных трудов и в отраслевых журналах

6. Скурятин, Н.Ф. Повышение тягово-сцепных свойств и грузоподъемности тракторного транспортного прицепного агрегата [Текст] / Н.Ф. Скурятин, 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.

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

8. Скурятин, Н.Ф. Модернизация тягово-догрузочного устройства к прицепу [Текст] / 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.

9. Скурятин, Н.Ф. Исследование кинематики движения тракторного транспортного прицепного агрегата по пересеченной местности с тягово-догрузочным устройством [Текст] / Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – Белгород. – 2014. - № 3(3). – С. 22-27.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учёному секретарю. Телефон (473) 253-75-35, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 13.03.2015 г. Формат 60x84 1/16
Печ. л. 1,0. Тираж 110 экз. Заказ №25
308503 п. Майский Белгородской области, ул. Вавилова, 1
Типография ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ