

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов, В.И. Худовец, А.С. Щитов**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГООСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
КЛАССА 1,4**

*Монография*

**Благовещенск  
Издательство ДальГАУ  
2013**

## УДК 631.1

**Щитов С.В. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4:** монография/ С.В. Щитов (разделы 1.2, 2.1, 2.2, 2.5, 2.6, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 4.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, 4.2.), Е.Е. Кузнецов (разделы 1.2, 2.3, 2.6.2, 2.6.3, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 4.1, 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5, 5.1), В.И. Худовец (разделы 1.1, 1.2, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 2.2, 2.4, 2.6.1, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, 4.2, 5.3), А.С. Щитов (разделы 1.2, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 2.1, 2.5, 2.6, 2.7, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 4.3, 5.2). – Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – 153 с.

Представленная монография включает в себя результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на кафедре транспортно-энергетических средств и механизации АПК ФГБОУ ВПО ДальГАУ, по вопросу использования многоосных энергетических средств класса 1,4.

Монография предназначена для научных, инженерно-технических работников, занимающихся эксплуатацией многоосных энергетических средств, а также для аспирантов, преподавателей, магистрантов и студентов.

Рецензенты:

*В.Г. Евдокимов*, д-р. техн. наук, профессор;  
*С.И. Иванов*, д-р. техн. наук, директор ООО «Соевые технологии»

Рекомендовано к печати научно-техническим советом ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет» (Протокол № от 2013г.)

Издательство ДальГАУ  
 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Основу тракторного парка России составляют колесные энергетические средства. Как показали исследования, значительная часть выполняемых ими операций приходится на полевые и транспортные работы, которые проводятся на полях, имеющих низкую несущую способность, и по бездорожью, что в конечном итоге снижает эффективность их использования.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности использования колесных энергетических средств является улучшение их тягово-сцепных свойств за счет увеличения сцепного веса путем корректирования вертикальных нагрузок на ведущие колеса и использование дополнительного ведущего моста.

Повышению эффективности использования колесных энергетических средств посвящен ряд работ ведущих ученых в этой области. Результаты данных исследований позволили наметить пути повышения тягово-сцепных свойств, снижения техногенного воздействия на почву движителей и улучшения эффективности применения колесных энергетических средств. Практически не решена проблема корректирования вертикальных нагрузок на ведущие колеса энергетического средства и использования дополнительного ведущего моста в условиях переувлажнения верхнего слоя почвы и при наличии твердого подстилающего основания.

В настоящее время для повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов (МТА) нашли применение комбинированные агрегаты, а также агрегаты с большей шириной захвата. Это позволяет повысить производительность МТА и снизить техногенное воздействие на почву за счет снижения числа проходов. Наряду с этим все вышеназванные способы повышения эффективности использования МТА влекут за собой увеличения веса самой машины. При выполнении основных сельскохозяйственных работ, когда машина находится в рабочем положении, основной ее вес приходится на опорные колеса самого энергетического средства. При переездах или изменении направлении движения, то есть когда машина находится в транспортном положении, вес машины приходится в основном на задние колеса. В этом случае возникает момент, который стремится перевернуть трактор относительно точки опоры задних колес трактора. Для устранения этого недостатка применяют дополнительное балластирование за счет установки грузов на переднюю часть

трактора. Увеличение таким образом веса, приходящегося на передние колеса, вызывает дополнительное техногенное воздействие на почву. Для устранения этого недостатка предлагается установить дополнительное устройство, позволяющее менять сцепной вес, приходящейся на задние колеса в рабочем и транспортном положении.

Настоящая работа посвящена повышению эффективности использования колесных энергетических средств на полевых и транспортных работах за счет повышения тягово-сцепных свойств и использования дополнительного ведущего моста. Основные результаты представлены в работах [201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 273].

# **1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЕСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

## **1.1 Особенности естественно-производственных условий и их влияние на использование колесных энергетических средств в условиях Амурской области**

Эффективность использования машинно-тракторного парка как одного из наиболее важных критериев, составляющих производство сельскохозяйственной продукции, во многом зависит от естественно-производственных и природно-климатических условий, где машинно-тракторные агрегаты эксплуатируются.

Следовательно, к основным и наиболее важным из них показателям относятся следующие: тип и физико-механические свойства почв, их влажность, климатические условия (температура, осадки, влажность воздуха и др.), размеры и рельеф участков полей, особенности структуры посевных площадей, а также технология возделывания сельскохозяйственных культур.

Амурская область обладает уникальным набором природных ресурсов и особенными климатическими условиями. В то же время для Амурской области характерно значительное отличие естественных условий различных территорий, входящих в ее состав.

Климат области резко континентальный с муссонными чертами в летнее время [5,7,33,59]. В большинстве районов, в которых происходит возделывание сельскохозяйственных культур, зима продолжительная и суровая. На севере области средняя январская температура понижается до минус 40°C. В межгорных впадинах до минус 50°C. К югу температуры повышаются, там проходят изотермы от минус 28° до минус 24°C. Для зимы характерно малое количество осадков, небольшой снежный покров, повышенное солнечное излучение. Продолжительность зимы на севере может достигать 202 дней, а на юге зимний сезон короче - до 150 дней. Максимальная высота снежного покрова не превышает 25 см, что в условиях суровой и продолжительной зимы недостаточно для перезимовки озимых культур и многолетних трав. Снежный покров сходит к соляному типу и значение в водном балансе почвы не имеет. Весна характеризуется меньшей продолжительностью. Весенних дней на юге меньше, а на севере больше. Период от схода снега до наступления физической спелости почвы очень продолжительный – 20-53 дня. Лето в области теплое и даже жаркое, характеризуется значительным увеличением осадков по сравнению со всеми сезонами года. Наиболее теплым месяцем явля-

ется июль, когда средняя температура по районам области колеблется от 16°C до 21°C. Абсолютный максимум достигает 35°C - 38°C. Большое количество осадков, выпадающих в летний период, вызывает сильное переувлажнение почв, что создает большие трудности для сельского хозяйства. Климатические условия Амурской области и случающиеся неблагоприятные природные явления создают трудности в природопользовании. Осень в первой половине теплая и влажная, а во второй – сухая. С падением температуры ниже 10°C и начала сентябрьских заморозков заканчивается вегетационный период для многих сельскохозяйственных культур, а для всех культур – в первых числах октября при понижении температуры ниже 5°C. С апреля по октябрь, в зависимости от зоны, выпадает до 75% годового количества осадков (рис. 1. 1)

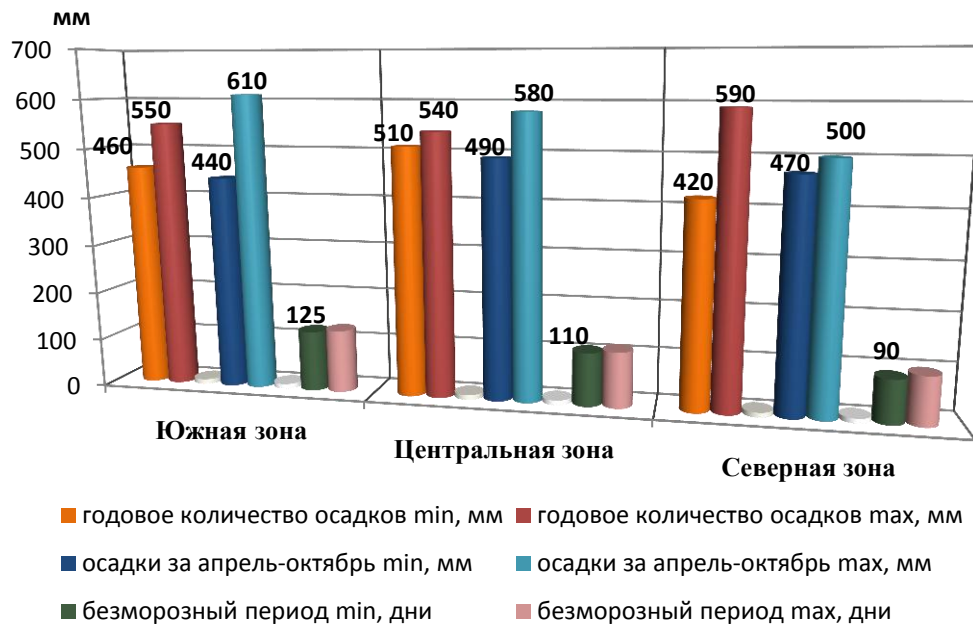


Рис. 1.1. Агроклиматические условия основных сельскохозяйственных зон Амурской области [4,35,62]

При возделывании сельскохозяйственных культур необходимо учитывать все особенности климата.

Амурская область находится в сложных агроклиматических и почвенных условиях и расположена на трех крупных равнинах: Зейско-Буреинской, Амуро-Зейской и Верхнезейской. Основные типы почв в сельскохозяйственном производстве области представлены буротаежные, горные и равнинные (59% территории), болотные, лесные подбелы, бурые лесные, горно-тундровые, пойменные, луговые подбелы, лугово-черноземовидные. В бассейне Амура находятся об-

ширные массивы пахотнопригодных земель, в значительной степени уже вовлеченных в процесс сельскохозяйственного использования. Особенно высокой степенью освоения отличается Зейско-Буреинская равнина с ее плодородными черноземовидными почвами приамурских лугов, толщина перегнойного слоя которых составляет 20-40 см - амурские черноземы. В меньшей степени используются южная часть Амуро-Зейского междуречья с тем же типом почв. Распространены дерново-подзолистые и пойменные почвы. В лесной зоне преобладают бурые лесные и подзолистые почвы. В горных районах преобладающий тип почв - буротаежные. Горы выше 1200-1500 м покрыты горно-тундровыми почвами. В верхнем Приамурье - мерзлотно-таежные почвы. На переувлажненных участках равнин, в долинах со слабым стоком - болотные почвы. По долинам крупных рек - пойменные почвы.

В Амурской области традиционно рассматривается пять агроклиматических зон:

1. Южная (лесостепная) – удельный вес в структуре сельхозугодий 61%, специализация хозяйств зоны – соево-зерно-скотоводческое направление;
2. Центральная (предлесостепная) - удельный вес в структуре сельхозугодий 62,6 %, специализация хозяйств зоны – соя, зерновые и кормовые культуры;
3. Северная (Амуро-Зейская) – 54,2 % сельскохозяйственных угодий зоны, специализация – скотоводство с производством кормов;
4. Северная таежная;
5. Горно-таежная.

Последние две зоны имеют площадь пашни менее 10 тыс. га. Земледелие носит островной очаговый характер. Специализация - скотоводство и оленеводство. Основная часть производства сельскохозяйственной продукции сконцентрирована в южной и центральной зонах – 80% всех посевных площадей (рис.1.2) [121,122].

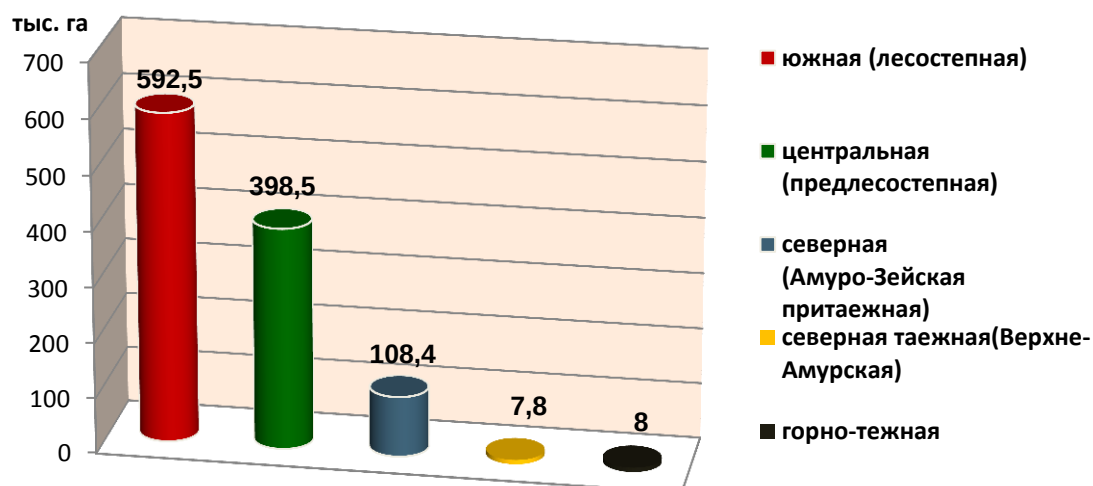


Рис. 1.2. Распределение посевных основных площадей

Площадь Амурской области - 363,7 тыс. км<sup>2</sup> (2,1% площади Российской Федерации). Наибольшая протяженность территории области с севера на юг составляет 750 км. С северо-запада на юго-восток область вытянута на 1150 км. Общая земельная площадь - 36190,8 тыс. га, в том числе сельскохозяйственных угодий - 2733,7 тыс. га, пашни - 1383,7 тыс.га [110,111].

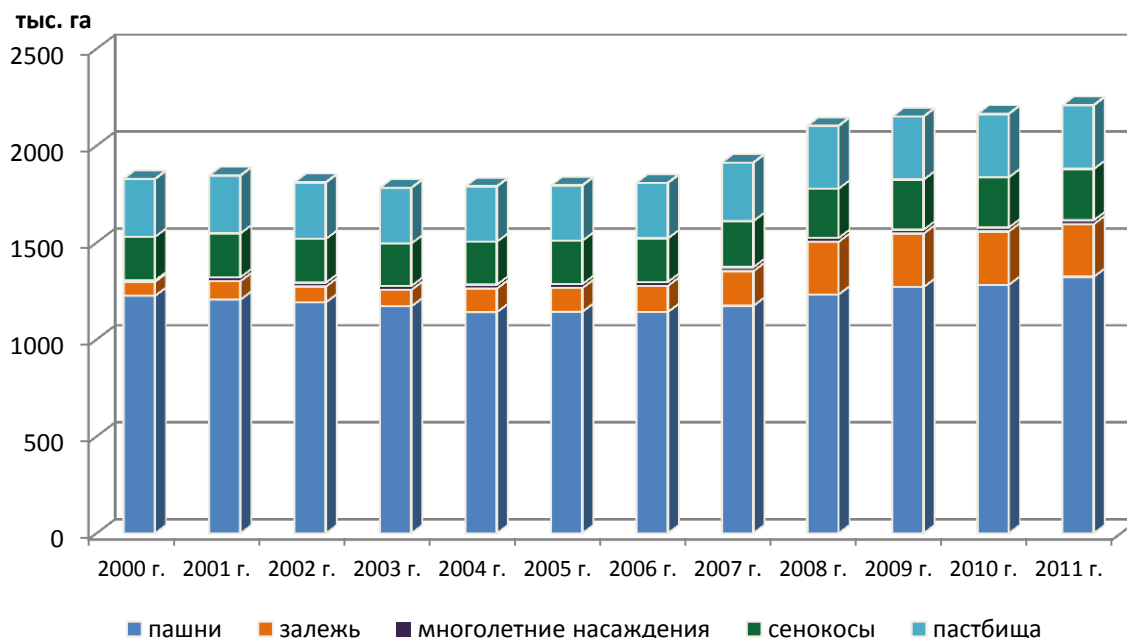


Рис. 1.3. Схема наличия и распределения земель сельскохозяйственного назначения

В категории «Земли запаса» на 01.01.2011 числилось 371 тыс. га сельскохозяйственных угодий. Анализ посевных площадей по годам говорит сам за себя. Еще совсем недавно наблюдалось сокращение

посевных площадей, урожайности, а значит и валового производства продукции растениеводства, но сейчас все кардинально изменилось. Так, в 2007 году посевная площадь превысила уровень 2000 года, а в 2011 году составила 855,4 тыс. га, что на 28,9% выше показателей 2000 года и на 8% выше показателей 2010 года. В 2011 году сельхозтоваропроизводители на площади 855,4 тыс. га разместили (по всем категориям собственности): зерновые—189,3 тыс. га, сою—563,5 тыс. га (на 79,5 тыс. га больше уровня 2010 года), картофель – 21,5 тыс. га, овощи – 4,5 тыс. га. В 2012 году посевные площади по всем категориям хозяйств составили свыше 1 млн. га, что выше уровня 2011 года на 17%, или 146 тыс. га (рис.1.4).

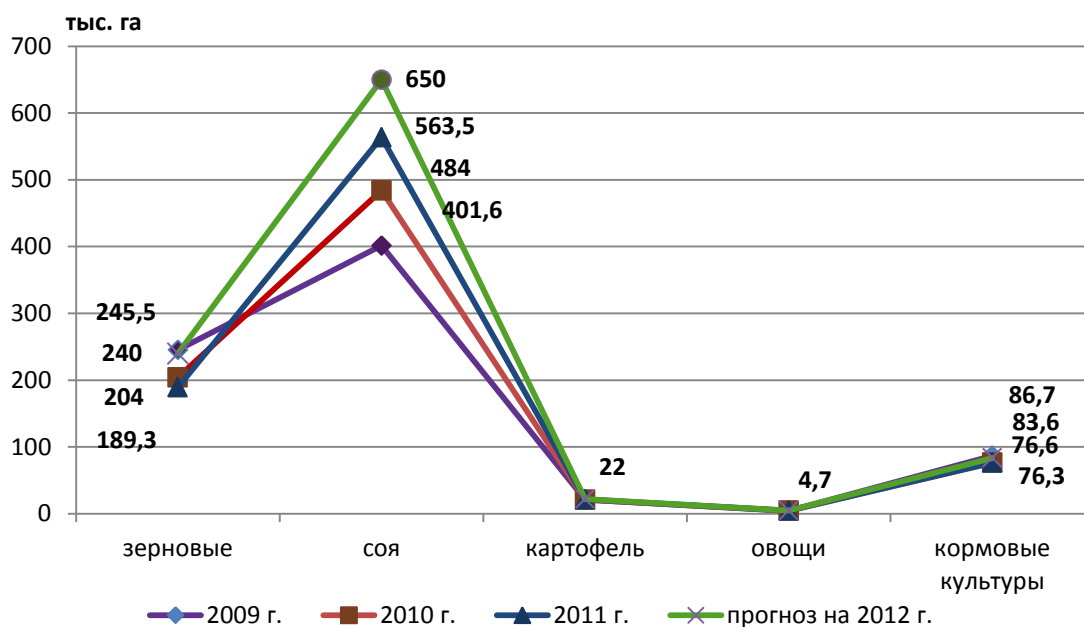


Рис. 1.4 Основные показатели АПК 2009 - 2011 гг. и прогноз на 2012 год, тыс. га

По итогам работы в 2011 году индекс производства продукции сельского хозяйства к 2010 году составил 117,3%. Посевные площади в хозяйствах всех категорий составили 855,4 тыс. га, что на 8,2% больше уровня прошлого года. Получено 338,2 тыс. тонн зерновых культур (в 2,6 раза выше уровня 2010 года). Общий намолот сои составил 776 тыс. тонн, что больше уровня 2010 года на 44,6% при средней урожайности – 1,38 т/га.

За последнее десятилетие застой в производстве агропромышленного комплекса в Амурской области привел к сокращению количества тракторов на 24 % (рис. 1.5). Но за последние четыре года, начиная с 2010 года ситуация меняется в лучшую сторону.

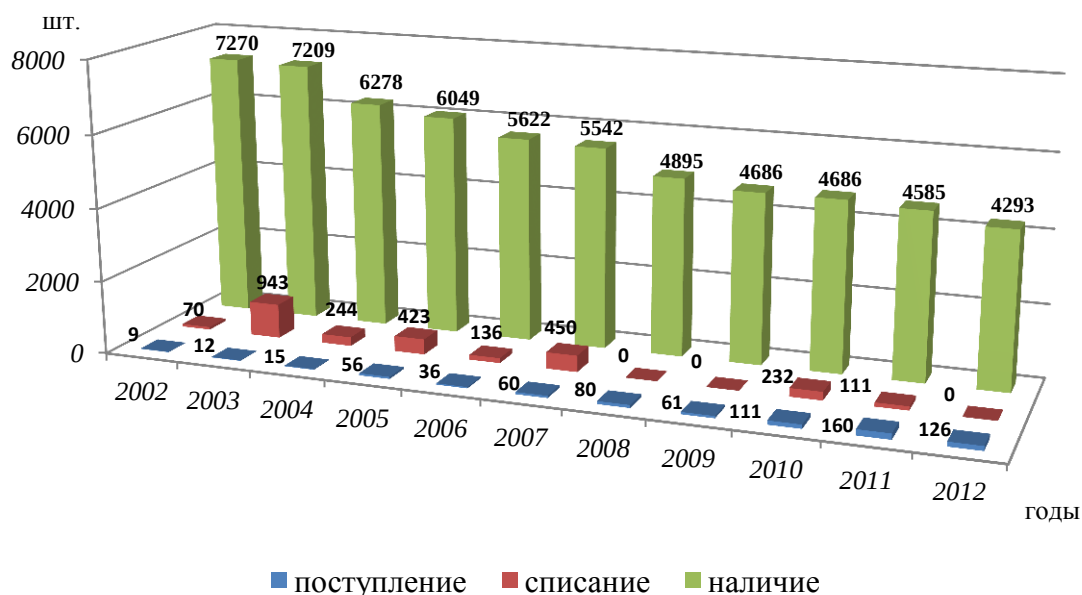


Рис. 1.5. Количество тракторов в Амурской области

В сельскохозяйственном производстве области занято около 4300 тракторов, 2100 зерноуборочных комбайнов, 1700 сеялок, 3000 почвообрабатывающих машин, 1600 грузовых автомобилей. Используемый машинно-тракторный парк имеет высокий уровень амортизации, поэтому принимаются меры к его обновлению. За 2010 год сельскохозяйственными организациями Амурской области приобретено 111 новых тракторов, 253 зерноуборочных комбайна, из них 197 амурской сборки, 14 кормоуборочных комбайнов и комплексов для заготовки кормов, сеялки, культиваторы, дискаторы и другая сельскохозяйственная техника. В 2011 и 2012 годах продолжилось обновление машинно-тракторного парка, для этого в области было организовано сборочное производство зерноуборочных комбайнов из машинокомплектов, поставляемых Республикой Беларусь и КНР, в том числе нового зерноуборочного комбайна на гусеничном ходу, прорабатываются вопросы производства сельскохозяйственных машин. В течение 2011 года сельхозтоваропроизводители приобрели новой техники, из которой: тракторов – 160 единиц; зерноуборочных комбайнов – 230 ед., в том числе 222 амурской сборки; грузовых автомобилей – 64 ед.; кормозаготовительные комплексы – 8 ед.; прочей сельскохозяйственной техники – 283 ед.

Несмотря на дальнейшее обновление машинно-тракторного парка количество тракторов в Амурской области снижается. При этом тракторы класса 1,4 из общего состава занимают примерно 41 % от

общего количества тракторов, причем 7 % новые машины, срок эксплуатации которых не превышает трех лет. Для поддержания их в рабочем состоянии необходимы большие капиталовложения, поэтому ремонт в большинстве случаев производится деталями из списанной техники.

Для реализации национальной программы по подъёму сельского хозяйства увеличивается объём приобретаемой техники сельхозтоваропроизводителями. Но основные заводы, поставляющие сельскохозяйственную технику, расположены в регионах, значительно удаленных от Амурской области. А так же возрастающие тарифы на транспортировку техники до места требования негативно сказываются на объемах приобретения.

В сложившихся условиях для выполнения всех видов сельскохозяйственных работ, предусмотренных технологией возделывания культур, необходимо повысить эффективность использования существующих энергетических средств. В условиях Амурской области это можно достичь за счет расширения сроков и сферы их использования. Одним из способов достижения этой цели является повышения тягово-сцепных свойств колесных энергетических средств.

## **1.2 Эффективность использования колесных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур**

В процессе производства сельскохозяйственной продукции транспортные работы являются неотъемлемой частью всего технологического процесса, на выполнение которого требуются значительные трудовые и энергетические затраты. Статистические исследования показывают, что доля затрат на транспортировку грузов составляет 25-40% от общей суммы затрат на производство продукции, а при производстве силоса и сенажа эта цифра достигает до 60 - 70% [33]. При этом затраты энергии достигают до 50% [48,106]. Если взять объем грузоперевозок, то он составляет на 1 га пашни от 20 до 60 т км.

В настоящее время, внутрихозяйственные перевозки осуществляются главным образом тракторным транспортом, а внехозяйственные – автомобильным. Универсальные пропашные колесные тракторы класса 1,4 составляют основу тракторного парка России (более 60%) [6,9,91]. Значительная часть, от 25 до 60% выполняемых ими работ – транспортные внутрихозяйственные перевозки в условиях

бездорожья и плохих грунтовых дорог [23,38,169], которые ограничивают их проходимость. Улучшение тягово-сцепных свойств колесных тракторов класса 1,4 - одна из наиболее актуальных проблем, особенно с учетом наметившейся тенденции к снижению конструкционной массы и повышению энергонасыщенности.

Аналогичная тенденция наблюдается и за рубежом, где доля объема грузоперевозок тракторным транспортом колеблется от 50 до 80% [48,70,98,272,274,275].

Эффективность применения колесных тракторов на транспортных работах объясняется возможностью их передвижения как по полевым, так и по дорогам с твердым покрытием. На эффективность применения колесных тракторов на транспортных работах оказывают влияние следующие факторы: природно-климатические условия, скорость движения, тягово-сцепные свойства, энергетические показатели трактора, грузоподъемность, расстояние грузоперевозок и т.д.

В работе [48] за показатель эффективности использования тракторного парка автор предлагает взять приведенные затраты и производительность

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{э}}}{W'} + l_1 \cdot k_1, \quad (1.1)$$

где  $C_{\text{э}}$  – прямые эксплуатационные издержки тракторного поезда за час работы, рубль/ч;  $l_1$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $k_1$  – размер капитальных вложений в тракторный поезд, рубли;  $W'$  – часовая производительность, т/ч или т км/ч.

$$W = \frac{V_{\text{ср}} \cdot \lambda \cdot q_{\text{ср}} \cdot \tau}{L + V_{\text{ср}} \cdot \lambda \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (1.2)$$

где  $V_{\text{ср}}$  – средняя техническая скорость движения, м/с;  $\lambda$  – коэффициент использования пробега;  $q$  – грузоподъемность тракторного поезда, т;  $\nu$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $L$  – средняя длина груженой ездки, км;  $t_{\text{пр}}$  – время простоя тракторного поезда на погрузочно-разгрузочных операциях, ч.

Некоторые авторы [48] делают вывод, что эффективность применения тракторного поезда можно повысить за счет использования энергонасыщенных тракторов, так как это даст возможность повысить их грузоподъемность и скорость движения. В то же время, в работах [10,83,191] авторы утверждают, что грузоподъемность и скорость движения тракторных поездов часто ограничиваются не мощ-

ностью двигателя, а недостаточными тягово-сцепными свойствами трактора, что характерно для Амурской области.

Многие авторы работ, посвященных выбору оптимальной грузоподъемности в качестве критериев, выбирают такие показатели как тяговый к.п.д. трактора, производительность, приведенные затраты, а также затраты энергии на перемещение прицепа. Последний показатель особенно важен для почв с низкой несущей способностью. Авторы [75,170,193,196,249] в своих работах утверждают, что оптимальная грузоподъемность определяется при ограничении минимально допустимой угловой скорости коленчатого вала двигателя при трогании с места, а также тягово-сцепными свойствами движителей на крутых подъемах и рыхлых грунтах.

В работе В.Ф. Суханова [169] рассматривается вопрос о влиянии динамического фактора для различных режимов движения. Автор пришел к выводу, что повышение динамического фактора за счет применения регуляторов с большой степенью точности, даст возможность повысить эффективность работы транспортных агрегатов.

В работах [21,41,85,99,248] изучено влияние давления воздуха в шинах на величину кинематического несоответствия в трансмиссии трактора при транспортных работах. Экономичность транспортных работ повышается при работе с двумя ведущими мостами, а кинематическое несоответствие устраняется выбором определенного давления в колесах трактора. В работе В.А. Петрушева [112] рассмотрены признаки циркуляции мощности в заблокированном приводе автомобилей и автопоездов.

При работе машинно-тракторных агрегатов с двумя и более ведущими мостами, в трансмиссии трактора, как известно, возникает кинематическое несоответствие, которое ухудшает эксплуатационные показатели трактора. Исследованию данного вопроса посвящены работы [10,11,140,141,190,194].

В работе [63] для определения оптимальной грузоподъемности предлагается ввести комплексный показатель

$$K_{kj} = \frac{W_j}{C_{npj}}, \quad (1.3)$$

где  $K_{kj}$  – обобщающий критерий;  $W_j$  – производительность на данном виде перевозок т/ч или т км/ч;  $C_{npj}$  – приведенные затраты средств на единицу перевезенного груза, рубль/т км.

Вопросу повышения тягово-сцепных свойств тракторов, эксплуатационных показателей посвящены работы [13,14,60,64,95,250,253]. В данных работах авторы высказывают мнение о повышении эффективности использования колесных тракторов на транспортных работах. В работе [13] автор делает вывод, что для повышения тягово-сцепных качеств колесного трактора на транспортных работах в тяжелых почвенных и дорожных условиях, применяются полуприцепы и прицепы с ведущим мостом. Анализируя время проведения основных сельскохозяйственных работ в Амурской области, необходимо отметить, что в эти периоды из-за повышенной влажности, почвы обладают низкой несущей способностью.

В работах [12,72,73,74,77,78,119,120,164,172,253] рассмотрены вопросы тяговой динамики, повышения проходимости и агроэкологические свойства транспортного агрегата, в зависимости от конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы при различных крюковых нагрузках. Вопросу использования малогабаритной техники на транспортных работах посвящена работа П.П. Гамалеева [31].

Повышению технико-экономических показателей транспортных агрегатов за счет рационального распределения мощности между ведущими мостами и валом отбора мощности посвящены работы [96,186]. Полученные теоретические зависимости позволяют оптимально подобрать режим работы для конкретных технологических операций.

В работе [71] автор рассматривает взаимосвязь различных параметров на перераспределение нагрузки на колеса автопоезда. Для определения вертикальных реакций дороги автор предлагает мысленно расчленять автопоезд на транспортные звенья, при этом усилия, возникающие в сцепных устройствах, заменять соответствующими реакциями. Решая с помощью уравнений статики поставленную задачу, автор делает вывод, что на перераспределение вертикальных реакций дороги автомобиля и прицепа, кроме инерционных сил, оказывают влияние и силы взаимодействия между звеньями.

Вопросы изучения сил взаимодействия между звеньями автопоезда рассмотрены в работах [64,65,66,100,101,152,157,187,188,247], в которых были получены выражения для определения сил взаимодействия, учитывающие упругие свойства сцепных устройств и других факторов, которые вызывают колебательные движения в автопоезде.

Работы [43,44,100,115,149] посвящены динамике тяжеловесных поездов, в которых составлены системы уравнений движения поезда, состоящего из  $n$ -го числа звеньев, которые позволяют определять силы взаимодействия между ними. В работах [51,52,53,54,59,274] исследовано взаимодействие динамики торможения тракторного поезда, состоящего из двух прицепов, с учетом деформации шин, упругих элементов подвески и сцепных устройств. Вопросу движения двухзвенного тракторного поезда посвящена работа А.И. Скуртула [162]. На основе полученной математической модели смоделированы процессы, происходящие при торможении тракторного поезда. В работе [185] отмечается, что одним из наиболее перспективных направлений, обуславливающих формирование динамики тракторных поездов в настоящее время, является применение упруго-демпфирующих тягово-сцепных устройств. Это особенно важно при использовании тракторных поездов на высоких скоростях.

Работа [42] посвящена обоснованию коэффициента сцепления ведущих колес с дорогой в зависимости от скорости движения. Полученные результаты показали, что с увеличением скорости движения транспортных средств, происходит уменьшение площади контакта шины с дорогой, а это влечет за собой снижение величины коэффициента сцепления.

В работе [70] показана связь между энергонасыщенностью трактора, агрегата и коэффициентом сцепной массы трактора

$$\frac{\mathcal{E}_T}{\mathcal{E}_a} = \frac{\lambda_{сц,a}}{\kappa_{сц,a}}, \quad (1.4)$$

где  $\mathcal{E}_T$ ,  $\mathcal{E}_a = Ne_n / m_a$  – энергонасыщенность (удельная мощность, энерговооруженность) трактора, агрегата;  $Ne_n$  – номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;  $m_a$  – сцепная (активная) масса агрегата, т;  $\lambda_{сц,a}$ ,  $\kappa_{сц,a} = m_{сц,a} / m_a$  – коэффициенты сцепной (активной) массы агрегата  $m_{сц,a}$  выраженные в долях массы трактора, агрегата.

Увеличение величины вертикальных нагрузок на ведущие колеса трактора повышает проходимость, снижает величину буксования и тяговое сопротивление навесных машин и прицепов, снижает расход топлива и соответственно увеличивает производительность.

Значение касательной силы тяги трактора, ограничивается условием [97,143]

$$P_{кфmax} = \varphi_{сц} \cdot Y_k, \quad (1.5)$$

где  $\varphi_{сц}$  – коэффициент сцепления;  $Y_k$  – нормальная реакция дороги (почвы) на движители трактора, Н.

Вопросу повышения эксплуатационных показателей и тягово-сцепных свойств колёсных тракторов посвящены работы [143,155,162,169].

В этих работах авторы высказывают мнение и обосновывают возможности повышения эффективности использования колесных тракторов на транспортных работах.

Применение в качестве первого прицепного звена полунавесного прицепа с догрузателем - одно из направлений улучшения эксплуатационных показателей тракторных поездов. При движении, в зависимости от фактических дорожно-транспортных условий, данный догрузатель регулирует догрузку задних колес трактора [33,34].

Определению коэффициента сцепления в условиях переувлажнения на транспортных работах посвящена работа А.С. Антонова [7]

$$\varphi = 0,75(1 - e^{-0,3A\delta}), \quad (1.6)$$

где  $A$  - приведенный коэффициент;  $\delta$  - буксование движителей.

Автор отмечает, что коэффициент сцепления на переувлажненных почвах зависит от параметров шин, сцепного веса и буксования движителей, что нашло подтверждение в результатах, полученных в работах [2,30,97,143].

Вопросы тяговой динамики, повышения проходимости и агро-экологические свойства транспортного агрегата в зависимости от конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы при различных крюковых нагрузках рассмотрены в работах [30,115,119,164,175,258].

Сцепные качества на транспортных работах в работе [249] предлагается оценивать показателем проходимости

$$\frac{\varphi \cdot G_{сц}}{G_{агр}} \geq f \cdot G_{агр}, \quad (1.7)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления перекатыванию;  $\varphi$  – коэффициент сцепления движения с почвой;  $G_{сц}$  – сцепной вес трактора, Н;  $G_{агр}$  – вес агрегата, Н;

В процессе работы тракторного поезда в реальных условиях эксплуатации на величину скорости, а, следовательно, и производительность, большое влияние оказывает уровень колебаний воздействующих на тракториста. Поэтому в работах [47,102,103,105,104,106,153,158] отмечается, что допустимая скорость

движения тракторных поездов, должна ограничиваться таким образом, чтобы колебание рабочего места водителя не превышало допустимых значений.

Тяговая динамика тракторов с одинаковыми колесами и блокированным приводом изучена в работах [86,87]. Максимальная величина силы тяги на крюке зависит от оптимального давления воздуха в шинах и угла действия силы тяги на крюке. Вопросу использования в сельском хозяйстве колесных тракторов на транспортных работах посвящены работы [91,187,252,253]. Авторы отмечают, что грузоподъемность и скорость движения тракторных поездов ограничивается не мощностью двигателя, а тягово-сцепными свойствами, тормозными качествами, устойчивостью и плавностью хода.

В работе [45] тягово-сцепные свойства предлагается оценивать по запасу проходимости

$$\Pi = \frac{\varphi_{\text{доп}} \cdot \kappa_3 \cdot \lambda_k}{\kappa_T \left[ \psi \pm \left( \frac{\delta_{\text{вр}}}{g} \right) \cdot \frac{dv}{dt} \right]} = \frac{\varphi_{\text{доп}} \cdot \left( \frac{\varphi}{\varphi_{\text{доп}}} \right) \lambda_k}{\left( G_{\text{тр}} + \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{тр}}} \right) \left[ \psi \pm \left( \frac{\delta_{\text{вр}}}{g} \right) \cdot \frac{dv}{dt} \right]}, \quad (1.8)$$

где  $\lambda_k$  – коэффициент вертикальной нагрузки ведущих колес;  $\kappa_3$  – коэффициент запаса сцепления;  $\varphi$  – коэффициент сцепления;  $\varphi_{\text{доп}}$  – коэффициент использования сцепления, соответствующий допустимому буксованию ведущих колес;  $\psi$  – коэффициент сопротивления;  $\delta_{\text{вр}}$  – коэффициент учета вращающихся масс;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\frac{dv}{dt}$  – линейное ускорение агрегата, м/с<sup>2</sup>.

Авторы отмечают, что запас проходимости во многом зависит от дорожных условий. Увеличение величины коэффициента вертикальной нагрузки ведущих колес и уменьшение веса прицепа, приходящихся на его опорные поверхности, повысит величину проходимости [2,6,26,28].

Вопросу повышения эффективности использования трактора МТЗ-82 на транспортных работах посвящена работа [60], в которой авторы предлагают форсировать двигатель с целью увеличения тяговой мощности и уменьшения удельного расхода топлива.

В работах [31,33,67,68,69,97] отмечается, что для обеспечения максимальной силы тяги трактора, необходимо автоматически поддерживать буксование трактора, за счет регулирования сцепного веса трактора. Исследования, проведенные в работе [33] показали, что доля тракторов класса 1,4 повышается, а следовательно, необходимо

изыскивать пути повышения эффективности их использования и на транспортных работах.

Вопросу снижения энергозатрат и воздействия на почву полноприводных тракторов посвящены работы [110,114,116]. Авторы пришли к выводу, что в аналитических тяговых расчетах полноприводных тракторов необходимо учитывать энергозатраты, связанные с кинематическим рассогласованием.

Одно из направлений улучшения эксплуатационных показателей тракторных поездов – применение в качестве первого прицепного звена полунавесного прицепа с догрузателем. Во время движения, в зависимости от фактических дорожно-транспортных условий, данный догрузатель позволяет регулировать догрузку задних колес трактора [252]. В работе [4] разработана упрощенная динамическая модель транспортного агрегата, состоящего из трактора и полунавесного прицепа с догрузателем.

В работе [4] автор обосновал технико-экономические параметры тракторного поезда, пользуясь безразмерным показателем – удельным расходом топлива

$$\Gamma = \frac{Q}{W} = \frac{\frac{9,8 \cdot q_m \cdot G_{\text{агр}} \cdot f \cdot V_T}{100 \cdot \eta_{\text{тр}}}}{\frac{3,6 \cdot E \cdot \tau}{L}}, \quad (1.9)$$

где  $Q$  – часовой расход топлива, кг/ч;  $q_m$  – удельный расход топлива, г/кВтч;  $G_{\text{агр}}$  – полная масса агрегата, кг;  $V_T$  – скорость агрегата с грузом, м/с;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $\eta_{\text{тр}}$  – к.п.д. трактора;  $W$  – часовая производительность, т км/ч;  $E$  – грузоподъемность агрегата, т;  $\tau$  – коэффициент времени смены;  $L$  – расстояние перевозки, м.

Сравнивая между собой различные колесные тракторы, автор отмечает, что трактор МТЗ-80/82 выгодно использовать на внутрихозяйственных перевозках.

В.Н. Шалягин [197] предлагает для оценки эффективности улучшения тягово-сцепных свойств в неблагоприятных дорожных условиях, сравнивать грузоподъемность тракторных поездов, рассчитываемых по двигателю и по сцеплению, и из двух полученных значений грузоподъемности истинным принимается меньшее.

Грузоподъемность по двигателю предлагается определять по формуле

$$m_{\text{гр}} = \frac{m_T}{\kappa_n} \cdot \left( \frac{\partial_T}{\partial_a} - 1 \right), \quad (1.10)$$

Грузоподъемность по сцеплению - по выражению

$$m_{\text{ГР}} = \frac{m_{\text{Т}}}{\kappa_{\text{н}}} \left( \frac{\lambda_{\text{сц.т}} + \lambda_{\text{сц.н}} + \lambda_{\text{д.т}}}{\kappa_{\text{сц.а}}} - 1 \right), \quad (1.11)$$

где  $m_{\text{Т}}$  – эксплуатационная масса трактора;  $\kappa_{\text{н}} = m_{\text{н}}/m_{\text{ср}}$  – коэффициент полной массы прицепа (полуприцепа), т;  $m_{\text{Т}}$  – полная масса прицепа (полуприцепа), т;  $\Xi_{\text{Т}} = N_{\text{ен}}/m_{\text{Т}}$ ,  $\Xi_{\text{а}} = N_{\text{ен}}/m_{\text{а}}$  – энергонасыщенность (удельная мощность) трактора и агрегата (поезда), кВт;  $N_{\text{ен}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт;  $m_{\text{а}}$  – полная масса агрегата, т;  $\lambda_{\text{сц.т}} = m_{\text{сц.т}}/m_{\text{Т}}$ ,  $\lambda_{\text{сц.н}} = m_{\text{сц.н}}/m_{\text{Т}}$  – коэффициенты сцепной (активной) массы трактора и прицепа (полуприцепа);  $\lambda_{\text{д.т}} = P_{\text{д.т}}/m_{\text{Т}}g$  – коэффициент догрузки ведущих колес трактора;  $\kappa_{\text{сц.а}} = m_{\text{сц.а}}/m_{\text{а}}$  – коэффициент сцепной массы агрегата;  $m_{\text{сц.т}}$ ,  $m_{\text{сц.н}}$ ,  $m_{\text{сц.а}}$  – сцепная (активная) масса трактора, прицепа (полуприцепа) и агрегата, т;  $P_{\text{д.т}}$  – догрузка ведущих колес трактора полуприцепом (полунавесным прицепом), Н;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Тягово-сцепные свойства тракторных поездов могут быть улучшены разными способами: частичной или полной активизацией колес прицепного состава путем применения механических, гидрообъемных или электрических приводов, догрузкой ведущих колес тракторов прицепными звеньями, и др. [6, 13, 19, 21, 30, 49, 64, 77, 81, 86, 89, 90, 93, 94, 97, 103, 115, 155, 165].

В работах [23, 37, 39, 47, 258] отмечается, что для обеспечения максимальной силы тяги трактора, необходимо автоматически поддерживать буксование трактора, за счет регулирования сцепного веса трактора. Исследования, проведенные в работе [23, 35, 51, 52, 79, 84, 148, 151] показали, что доля тракторов класса 1,4 повышается, а, следовательно, необходимо изыскивать пути повышения эффективности их использования и на транспортных работах.

Для увеличения значение коэффициента использования сцепного веса трактора используют метод распределения веса по ведущим колесам, и предлагается оценивать коэффициентом нагрузки  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$

$$\gamma_1 = \frac{Y_1}{Q}, \quad (1.12)$$

$$\gamma_2 = \frac{Y_2}{Q}, \quad (1.13)$$

где  $\gamma_1$  – коэффициент нагрузки ведомых колес;  $\gamma_2$  – коэффициент нагрузки ведущих колес;  $Y_1$ ,  $Y_2$ , – реакции грунта, соответственно на ведомые и ведущие колеса трактора, Н;  $Q$  – общая нагрузка, приходящаяся на ведущую ось трактора, Н.

При увеличении коэффициента нагрузки ведомых колес происходит разгрузка задних колес и догрузка передних управляемых колес, поэтому вследствие возрастающих потерь на буксование и перекачивание КПД стремится к нулю. Наибольшее значение тягового КПД трактора можно получить при полной разгрузке передних колес и передаче ее на задние ведущие колеса ( $\gamma_1 = 0$ ), но при этом трактор теряет управляемость. [6,80,89,97,155,250,254]. Увеличить коэффициент нагрузки ведущих колес можно за счет переноса части веса прицепа на задние колеса трактора.

Экономичность использования того или иного вида транспорта напрямую зависит от сферы его применения отмечается в работе В.С. Филонова [183]. В условиях бездорожья тракторный транспорт более выгоден на внутрихозяйственных перевозках, чем автомобильный, и если расстояние перевозок составляет 5 - 8 километров, предпочтение следует отдавать тракторам.

В ряде работ [23,31,63,148,154,183] отмечается, что тракторы класса 1,4 до 80% годовой загрузки заняты на транспортных работах. К основным эксплуатационным параметрам, определяющим производительность тракторных поездов, относятся тягово-сцепные и энергетические показатели трактора, состав тракторного поезда, грузоподъемность прицепов, их количество и тип, дорожные и почвенно-климатические условия, скорость движения, маневренность и интенсивность разгона, тормозные качества тракторного поезда и другое.

Проведенный анализ литературных источников показывает, что для повышения эффективности использования колесных энергетических средств особенно на почвах с низкой несущей особенностью, необходимо повышение их тягово-сцепных свойств.

### **1.3 Анализ путей повышения тягово-сцепных свойств и снижения техногенного воздействия на почву колесных тракторных поездов**

При передвижении по полю, особенно на почвах с низкой несущей способностью, колесные тракторы оставляют глубокую колею из-за буксования ведущих колес. Это объясняется недостаточными тягово-сцепными свойствами. Поэтому для уменьшения величины буксования уменьшают тяговую нагрузку, что ведет к снижению производительности и эффективности использования. На транспортных работах снижение крюковой нагрузки достигается уменьшением объема перевозимого груза, особенно при передвижении по полю. Анализ литературных источников позволил определить основные направления исследований по рассматриваемому вопросу. Пути повышения тягово-сцепных свойств и снижения техногенного воздействия на почву представлены на рисунке 1.6, где показано три основных направления: снижение нормального давления на почву, повышение коэффициента сцепления, увеличение сцепного веса.

#### **1.3.1 Снижение нормального давления на почву**

Появление на полях все большего числа различных средств и тракторов с большей единичной мощностью и весом увеличивает техногенное воздействие на почву. Ходовые системы этой техники уплотняют почву на значительную глубину [256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272]. Улучшение тягово-сцепных свойств мобильных машин должно идти по пути снижения нормального давления ходовых систем на почву.

Снижения нормального давления на почву можно достичь следующими способами: постановкой уширителей колес, применением полугусеничного хода, постановкой колес увеличенного размера и установкой сдвоенных (дополнительных) колес [40,93,138,167,182].



Рис.1.6. Пути повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов

Уширители колес являются сравнительно дешевым и эффективным средством для уменьшения нормального давления и улучшения тягово-сцепных качеств тракторов на рыхлой почве. Существенным недостатком является повреждаемость уширителей колес при переездах с одного поля на другое и способность создавать глыбистость

почвы, что затрудняет дальнейшую ее обработку [138,181].

Применение полугусеничного хода на тракторах уменьшает потери на сопротивление качению на 5 - 16% по сравнению с серийным колесным двигателем [181]. Использование полугусеничного хода уменьшает буксование при нормальной влажности почвы примерно на 10%. При дальнейшем повышении влажности снижение буксования становится более значительным и при влажности 40% буксование трактора с полугусеничным ходом уменьшается по сравнению с колесным вариантом на 20% [181]. Недостатком полугусеничного хода является повышенное сопротивление повороту и отсутствие конструкций для колесных тракторов выше класса 1,4.

Увеличения площади контакта шин с почвой можно достичь за счет применения шин увеличенного размера. Отечественной промышленностью созданы бескамерные арочные шины для работы в условиях сильно увлажненного грунта. Арочная шина значительно шире обычной. Мощные грунтозацепы обеспечивают хорошее сцепление с почвой и достаточную самоочищаемость рисунка протектора. Большая площадь опоры шин уменьшает давление трактора на почву, уменьшает глубину колеи, повышает его проходимость. Недостатком является сложность и дороговизна изготовления, малый срок службы и необходимость иметь дополнительный комплект для использования на транспортных работах [40,167].

Наиболее перспективным направлением снижения нормального давления на почву колесных тракторов является сдвиг шин [3,47,81,93,161,200,206,223,247]. Многочисленные исследования доказывают, что при работе колесных тракторов на сдвоенных шинах уплотнение почвы равноценно уплотнению, производимому водоналивным катком при прикатывании. Например, испытания трактора К-700 на стерне показали, что сдвоенные шины обеспечивают повышение коэффициента сцепления трактора на 15% [182].

В работе [29] отмечается, что использование трактора "Кировец" со сдвоенными колесами на таких операциях, как закрытие влаги, предпосевная культивация и посев зерновых, дает преимущество по сравнению с серийным трактором. По колее серийного трактора не всходит до 25-30% семян, а остальные растения запаздывают в развитии на 6-8 дней, в то время как после трактора со сдвоенными колесами всходы растений по колее не отличаются от растений вне колеи.

Исследуя эффективность способов использования уменьшения нормального давления колесных тракторов на почву, А.М. Кононов

[83] отмечает, что установка дополнительных колес на трактор класса 1,4 улучшает проходимость и сцепные свойства трактора на почвах с низкой несущей способностью почвы.

В работе [93] отмечается, что установка сдвоенных колес на тракторы сельскохозяйственного назначения снижает нормальное давление колес на почву. Использование сдвоенных колес на тракторных прицепах, кроме выше сказанного, увеличивает их грузоподъемность.

### **1.3.2 Повышение коэффициента сцепления ведущих колес трактора с почвой**

Повышение коэффициента сцепления ведущих колес трактора с почвой может быть получено путем изменения давления в шинах, изменения числа слоев и рисунка протектора, установкой накидных почвозацепов

[7,16,17,18,19,21,77,118,119,139,144,160,165,166,181,193,223,277].

Для обеспечения нормальной работы тракторов при различной влажности почвы, наибольшее распространение получили шестислойные шины, на более влажных почвах применяются восьмислойные. Это позволяет изменять давление в шинах в большом диапазоне. Кроме того, число слоев шины влияет на ее жесткость и долговечность.

Влияние ходовых систем тракторов по глубине на напряжения в почве зависит от типа движителей и давления в них. Например, на паровом поле при давлении воздуха в шинах 0,17 МПа почва уплотнялась на глубину до 0,30 м, а при снижении давления до 0,08 - 0,1 МПа почва уплотнялась уже на глубину 0,23 - 0,24 м [167,181,182]. Давление в шинах является одним из основных факторов, влияющих на сопротивление движению. При понижении давления увеличивается сжатие шины, уменьшаются затраты энергии на деформирование почвы, благодаря чему тяговое усилие трактора повышается. Снижение давления приводит к увеличению гибкости шин и площади контакта, к снижению среднего удельного давления на почву. Коэффициент сцепления повышается, а потери на перекачивание сокращаются [7,119,144,181,193]. Рекомендуемые давления в шинах колес с учетом вида работ приводятся в заводских инструкциях по эксплуатации тракторов.

На величину коэффициента сцепления ведущих колес с почвой оказывает большое влияние рисунок протектора. Сравнительные испытания и наблюдения показывают, что наилучшие результаты при средних условиях работы дают пневматические шины с почвозацепами средней высоты [181].

Другим способом повышения сцепления ведущих колес является применение накидных почвозацепов. Их использование увеличивает коэффициент сцепления, улучшает тягово-сцепные свойства и открывает большие возможности для повышения коэффициента полезного действия [181]. В то же время дополнительные металлические почвозацепы, как правило, не снижают дополнительного давления на почву и не уменьшают глубину следа, оставляемого колесом на почве. Поэтому их применяют на полевых работах в условиях повышенной влажности при крайней необходимости.

Представляет определенный научный и практический интерес использование колесных тракторов с разной шириной колеи передних и задних колес. В настоящее время не все авторы имеют единое мнение о расстановке последовательно движущихся колес трактора. Подавляющее большинство авторов считают, что передние и задние колеса трактора или автомобиля повышенной проходимости должны идти в «кильватер», это, по их мнению, позволяет уменьшить сопротивление движению. Данные исследования в основном относятся к почвам с нормальной несущей способностью. В то же время ряд авторов [16,21,165] считает, что в определенных условиях проход задних колес по следу передних будет не всегда наиболее выгодным для снижения сопротивления движению.

В работе [21] отмечается, что при повторных проходах колес в случае движения по неплотному переувлажненному грунту, для обеспечения движения следующих машин приходится прокладывать новую колею. В данном случае движение колес по одной колее не улучшает, а ухудшает условия движения. В работе [16] отмечается, что для многократных проходов общая деформация почвы приблизительно равна произведению максимальной деформации при единичном проходе и числу проходов. Г.А. Смирнов [165] обращает внимание на то, что в текучих грунтах, которые не уплотняются, эффект снижения коэффициента сопротивления качению при прохождении колес по одному следу не может быть получен. Автор утверждает, что при движении по таким почвам, желательно чтобы не было сов-

падения колеи передних и задних колес трактора движущихся последовательно.

В работе [118] отмечается, что сопротивление качению и глубина колеи связаны между собой общеизвестной зависимостью, из которой следует, что с увеличением глубины колеи сила сопротивления качению увеличивается. Последовательно движущиеся колеса оставляют после себя большую глубину погружения.

В работе [118] отмечается, что задние колеса движутся по следу передних, сцепные возможности переднего и заднего мостов трактора неодинаковы. При повышении силы тяги (буксование превышает 15%) наблюдается нарушение линейной зависимости изменения крутящего момента на колесах, а вследствие этого повышается и сопротивление качению трактора.

В работе [118] говорится, что из-за кинематического рассогласования, сопротивление качению заднего колеса может быть больше, чем сопротивление качению переднего колеса. Из этого следует, что сила тяги второго колеса будет меньше, чем первого, так как под вторым колесом в межзацепочных объемах почвы действуют нормальные давления, больше чем под первым колесом.

Вместе с тем в работе [223] отмечается, что использование трактора «Кировец» с различной шириной колеи передних и задних колес, позволяет снизить величину буксования на 10 - 20% и уменьшить отрицательное воздействие на почву по сравнению с серийным. Исследования, проведенные с трактором МТЗ-80/82 с различной шириной передних и задних колес показали, что величина буксования у трактора с разной шириной колеи снизилась с 11 до 3,6%, а коэффициент уплотнения почвы с 1,14 до 1,09 по сравнению с серийным [139], что в конечном итоге снижает техногенное воздействие на почву.

### **1.3.3 Увеличение сцепного веса**

Увеличение сцепного веса может быть достигнуто за счет применения балласта, применения гидроувеличителей сцепного веса, увеличения числа ведущих колес, блокировкой дифференциала, применением прицепного ведущего моста.

При работе колесных тракторов на пневматических шинах в тяжелых условиях используют дополнительный балласт на колесах. Это повышает тягово-сцепные свойства тракторов. В качестве балла-

ста используют металлические грузы, воду или незамерзающий раствор, заливаемый в шины, что позволяет увеличить тяговое усилие трактора на 15 - 20% [181]. Однако применение балластирования влечет за собой увеличение массы трактора, что повышает и без того высокое нормальное давление на почву. В условиях Амурской области это способствует продавливанию верхнего слоя почвы до мерзлоты и потере проходимости на ранневесенних полевых работах, а также увеличению сопротивления движению трактора.

Для повышения тягово-сцепных качеств колесных тракторов, имеющих привод только на задние колеса, используются догрузатели колес с различной конструкцией. Сцепной вес при этом увеличивается как за счет массы навесных орудий, так и от перераспределения массы самого трактора с передних колес на задние. Данные исследований, приведенные в работах [61,108,109,110,119] показывают, что применение гидродогрузателей ведущих колес повышает тягово-сцепные качества колесного трактора, уменьшает буксование и значительно снижает сопротивление почвы за счет уменьшения вредных сопротивлений орудий, увеличивает коэффициента полезного действия в среднем на 43%.

Увеличение сцепного веса имеет и ряд недостатков, в первую очередь это переуплотнение почвы. При проведении сельскохозяйственных операций очень часто сцепной вес необходимо увеличивать на короткий промежуток времени. В работе [60] предлагается устройство, которое регулирует сцепной вес трактора при вспашке за счет величины буксования, то есть сцепной вес автоматически увеличивается при увеличении буксования колес. Применение этого метода рационально на почвах нормальной влажности, в условиях же Амурской области, данный способ не приемлем из-за вышеизложенных причин.

Увеличение числа ведущих колес с компоновкой 4x4 дает возможность реализовать для сцепления с почвой практически всю массу трактора, в то время как при двух ведущих колесах для этой цели может быть использована только часть массы. При использовании тракторов с колесной компоновкой 4x4 значительно снижается крутящий момент, реализуемый через задние колеса, что в свою очередь снижает буксование. Максимальная реализация тягово-сцепных свойств трактора достигается при десятипроцентном буксовании, так как при буксовании свыше 10% происходит срез почвы [41,51,83].

Тяговая динамика тракторов с компоновкой 4х4 во многом зависит от того, как осуществляется привод к ведущим осям. Применяются два основных типа приводов - блокирование и дифференциальный.

У тракторов с заблокированным приводом существенным недостатком является наличие кинематического несоответствия и паразитной мощности. Зависимость силы тяги трактора от силы тяги колес, находящихся в худших условиях сцепления с дорогой, является принципиальным недостатком дифференциального привода [41].

Лучшие результаты дает автоматический блокируемый дифференциал ведущих колес, обеспечивающий блокировку полуосей при одинаковых скоростях ведущих колес. Кроме того, автоматическое отключение забегающего колеса при повороте трактора и передача всего подводимого к мосту крутящего момента на отстающее колесо, обеспечивает высокую проходимость трактора в сложных почвенных условиях [156].

Колесные тракторы, работающие в условиях с низкой несущей способностью, теряют свою проходимость даже при небольших крюковых нагрузках. В работах [11,14,62,84,96,162,170,172,196,254] отмечается, что одним из эффективных способов улучшения проходимости и повышения тягово-сцепных свойств колесного трактора на транспортных работах в тяжелых почвенных и дорожных условиях является применение прицепов и полуприцепов с ведущим мостом.

Так, в работе А.Н. Баранского [14] отмечается, что применение в тяжелых почвенных условиях колесных тракторов на транспортных работах дает возможность повысить их тягово-сцепные качества и, как следствие, увеличить производительность на 11,5 - 20% и при этом снизить расход топлива на 8 - 12%.

В работе [28] отмечается, что одним из способов увеличения тягово-сцепных свойств и снижения техногенного воздействия на почву, является увеличение сцепного веса агрегата за счет применения дополнительного ведущего моста.

В работе [165] автор отмечает, что с увеличением числа ведущих осей, коэффициент сопротивления качению уменьшается. Так, переход от двух осей к четырем может понизить коэффициент сопротивления на 20 - 30%. В то же время автор предлагает применять число ведущих осей не более четырех из-за увеличения потерь в трансмиссии.

## **Выводы и задачи исследований**

Проведенный обзор теоретических и экспериментальных исследований по рассматриваемому вопросу, позволяет сделать следующие выводы:

1. В Амурской области основные сельскохозяйственные и транспортные работы осуществляются в условиях недостаточных сцепных свойств, что снижает эффективность использования колесных энергетических средств.

2. Исследования, посвященные анализу работы колесных энергетических средств, показали, что эффективность их использования во многом зависит от тягово-сцепных свойств.

3. Повышение тягово-сцепных свойств колесных энергетических средств возможен за счет постановки дополнительного ведущего моста и перераспределения сцепного веса между мостами трактора.

4. Для обоснования эффективного использования тракторов с дополнительным ведущим мостом необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований.

Задачи исследований:

1. Теоретически обосновать схему привода дополнительного ведущего моста энергетического средства и прицепа на основании теории силового потока.

2. Выявить влияние дополнительного ведущего моста энергетического средства и прицепа на тягово-сцепные свойства и производительность транспортного агрегата.

3. Исследовать техногенное воздействие ходовой части колесных энергетических средства класса 1,4 на почву.

4. Провести топливно-энергетическую оценку использования колесного энергетического средства класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1 Теоретическое обоснование выбора привода дополнительного ведущего моста трактора и прицепа**

В сельскохозяйственном производстве на внутрихозяйственных перевозках и в технологии возделывания с. х. культур большой объем приходится на долю колесных энергетических средств класса 1,4. Это связано с тем, что транспортировка сельскохозяйственной продукции происходит в сложных почвенно-климатических условиях. Весной и осенью это повышенная влажность почвы, а в зимний период - обледенение дорог и снежные заносы. Наряду с этим специфические особенности возделывания сельскохозяйственных культур определяют применение именно энергетических средств этого класса. В связи с этим вопрос повышения тягово-сцепных свойств колесных энергетических средств класса 1,4 в данных условиях является актуальным.

Чаще всего задействованы энергонасыщенные колесные тракторы класса 1,4. В то же время свыше 70% тракторов данного класса имеют колесную формулу 4к2. У тракторов данного класса тягово-сцепной вес используется не полностью.

Для повышения тягово-сцепных свойств данных тракторов предлагается часть веса, приходящегося на передний мост, передать на ведущий и тем самым повысить тягово-сцепные свойства. При использовании тракторов данного класса в КФХ на них, как правило, устанавливается дополнительное рабочее оборудование для производства вспомогательных работ, что в свою очередь затрудняет управление данными тракторами. Поэтому вопрос перераспределения сцепного веса между управляемыми колесами и ведущими очень актуален. Наряду с этим перераспределение сцепного веса на задние ведущие колеса ограничено допустимыми нагрузками на шины.

В настоящее время при расчете силовых передач применяется системный подход, который основывается на принципах теории силового потока (СП). Сущность данной теории заключается в том, что любой поток энергии, который передается в единицу времени (мощностной поток) от источника энергии (двигателя) к потребителю (трансмиссии), характеризуется двумя основными величинами - скоростным и силовым факторами. Впервые, данная теория была предложена А.С. Антоновым и нашла практическое применение в расчете силовых потоков, применительно к отдельно взятому агрегату. В об-

щем случае мощностной поток представляет собой скалярное произведение двух векторов [6]

$$\vec{N} = \vec{q} \cdot \vec{u}, \quad (2.1)$$

где  $\vec{N}$  – мощностной фактор;  $\vec{q}$  – силовой фактор СП;  $\vec{u}$  – скоростной фактор СП.

В данной теории поток энергии в единицу времени называется силовым потоком. Любая система, передающая энергию, обладает двумя свойствами и состоит из передающихся и преобразующихся устройств.

В основе теории силового потока лежат два основных принципа:

- *первый принцип* утверждает, что сумма мощностных факторов всех абсолютных и относительных потоков узловой точки равна нулю [6]

$$\sum_{k=1}^n q_k \cdot u_k + \sum_{p=1}^m N_p = 0, \quad (2.2)$$

- *второй принцип* утверждает, что сумма силовых факторов однородных потоков узловой точки равна

$$\sum_{k=1}^n q = 0. \quad (2.3)$$

Формула (2.2) показывает, что первый принцип выражает закон сохранения энергии преобразующего устройства, то есть узловой точки.

Уравнение (2.3) называют уравнением равновесия узловой точки.

Любую передающую систему в частности трансмиссию трактора можно математически описать силовым потоком (рис.2.1).

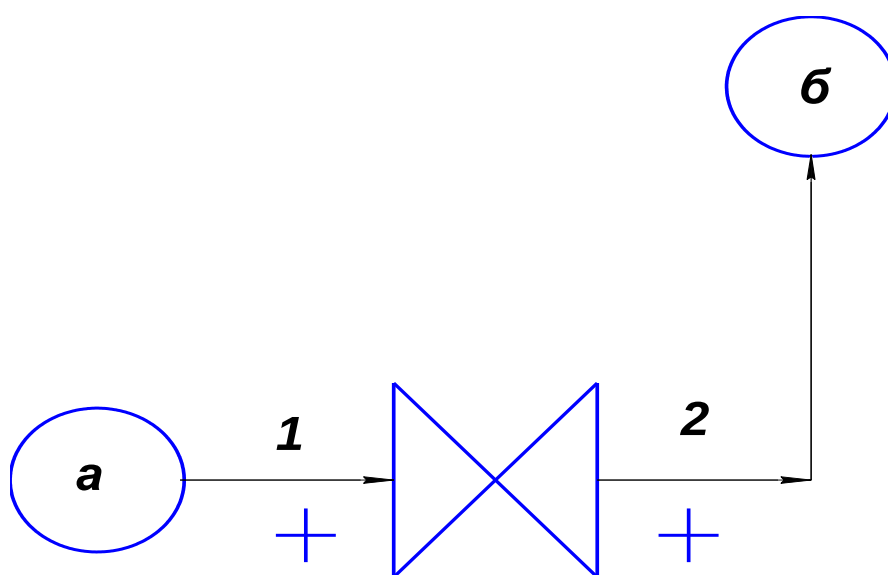


Рис.2.1. Связывающий поток трансмиссии трактора

а - коробка передач с редуктором, б- главная передача (дифференциал) дополнительного моста трактора

Для этого, по возможности, исключаем из схемы все холостые потоки и не работающие узловые точки, заменяя их направленными потоками последовательно включенных в одну узловую точку и составляем уравнения.

Уравнение мощностей примет вид

$$q_{1a} \cdot u_{1a} + q_{2б} \cdot u_{2б} = 0. \quad (2.4)$$

Уравнение равновесия

$$q_{1a} + q_{2б} = 0. \quad (2.5)$$

Отсюда, имеем

$$u_{1a} - u_{2б} = 0. \quad (2.6)$$

В энергетических средствах широкое применение находят фрикционно-зубчатые и цепные преобразователи. Тогда в этом случае уравнение (2.1) примет вид

$$N = M \cdot \omega, \quad (2.7)$$

где  $M$  - момент вращения, Нм;  $\omega$  - угловая скорость вращения вала, рад/с.

Каждый связывающий поток можно описать двумя уравнениями связи (2.5, 2.6). После составления двух уравнений связи, число неизвестных заданных параметров силового потока уменьшается на два, но при этом уменьшается на два и число свободных потоков, которые равны числу задающих параметров [1]

$$\lambda_u = 2 \cdot (C_M + C_K) + C_P, \quad (2.8)$$

где  $C_M$ ,  $C_K$ ,  $C_P$  число механических, кинетических и разветвляющих узловых точек.

Схему СП для привода дополнительного ведущего моста трактора можно представить следующим образом (рис. 2.2).

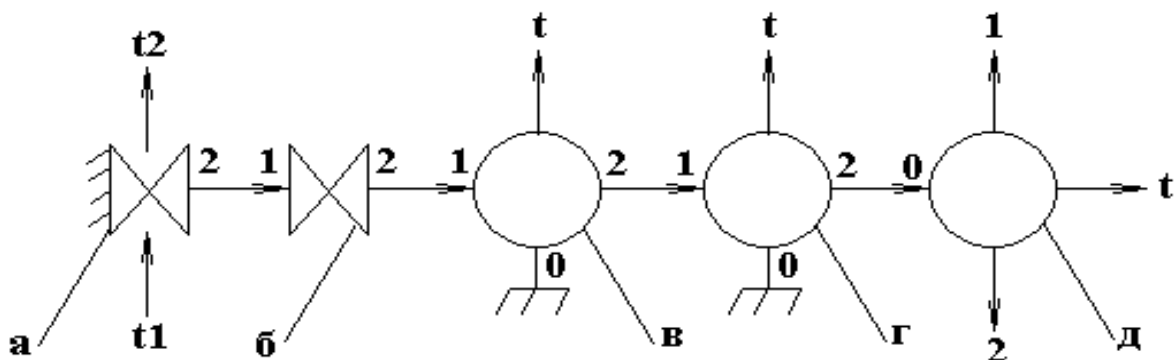


Рис.2.2. Схема силового потока

а - двигатель трактора; б - муфта; в - коробка передач с редуктором; г - цепная передача; д - главная передача (дифференциал) дополнительного моста; о - корпусные детали; t - потери; 1 - вход; 2 - выход.

В предложенной схеме силового потока величина мощностного фактора положительна, а, следовательно, силовые и скоростные факторы должны быть положительны. С учетом вышеизложенного можно рассчитать передаточное отношение. Крутящий момент на дополнительный ведущий мост трактора передается от коробки передач и редуктора через цепную передачу. Кинематическая схема трактора с дополнительным ведущим мостом приведена на рисунке 2.3.

Проведенные расчеты показали, что для обеспечения необходимого передаточного отношения число зубьев ведущей звездочки должно быть  $z=16$ , а ведомой  $z = 18$ .

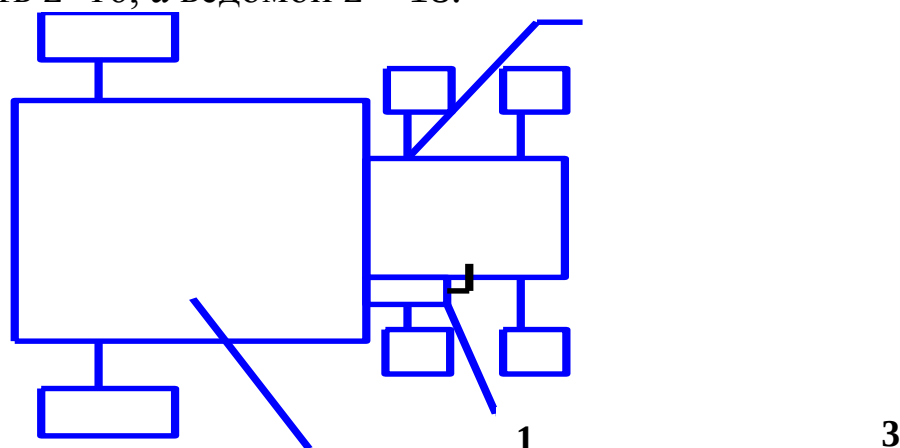


Рис.2.3. Кинематическая схема транспортного агрегата

1–трактор; 2-дополнительный ведущий мост; 3-коробка передач с редуктором.

Схему СП для привода ведущего моста прицепа можно представить следующим образом (рис. 2.4)

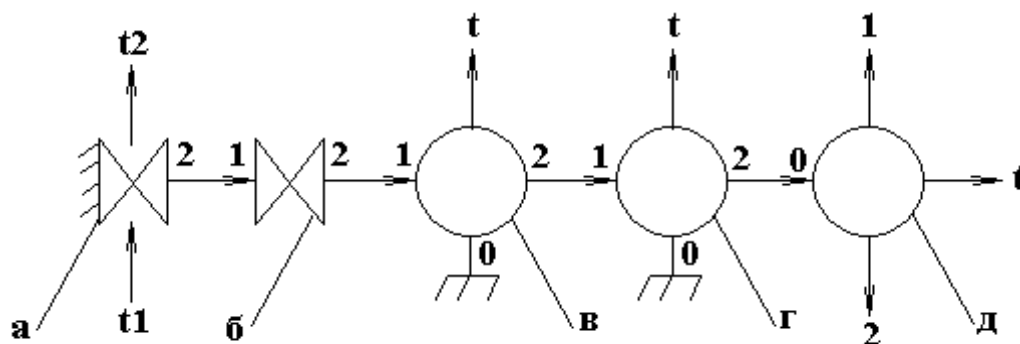


Рис.2.4. Схема силового потока

а – двигатель трактора; б – муфта и ВОМ; в – редуктор; г – главная передача; д – дифференциал; о – корпусные детали; t – потери; 1 – вход; 2 – выход.

В данной схеме СП положителен ( $N_1 > 0$ ), а, следовательно, силовые и скоростные факторы ( $N=qW$ ) должны быть положительны.

Учитывая вышеизложенное, рассчитаем необходимое передаточное отношение. Крутящий момент на ведущий мост прицепа передается от вала отбора мощности (ВОМ) через карданную передачу. Передача крутящего момента к ведущему мосту прицепа может быть жесткой, дифференциальной и с муфтой свободного хода (обгонной муфтой). Жесткий привод при всех своих положительных качествах имеет один существенный недостаток, заключающийся в циркуляции «паразитной» мощности. Дифференциальный привод является более сложным и требует переоборудования трансмиссии трактора.

Наличие у трактора типа МТЗ-80/82 синхронного привода вала отбора мощности, позволяет изменять частоту вращения карданного вала в зависимости от пройденного пути, что не требует дополнительных узлов и агрегатов. При движении тракторных поездов включение ведущего моста прицепа целесообразно производить только при повышении буксования ведущих колес трактора. Это позволяет снизить затраты мощности на привод прицепа при нормальном буксовании ведущих колес трактора. С этой целью предлагается включить в элементы трансмиссии прицепа обгонную муфту. Применение обгонной муфты позволяет автоматизировать процесс включения и выключения ведущего моста прицепа и исключить циркуляцию паразитной мощности между ведущими мостами трактора и прицепа. Включение обгонной муфты в трансмиссии прицепа происходит при буксовании ведущих колес трактора  $\delta > 5\%$ .

Кинематическая схема транспортного агрегата приведена на рисунке 2.5.

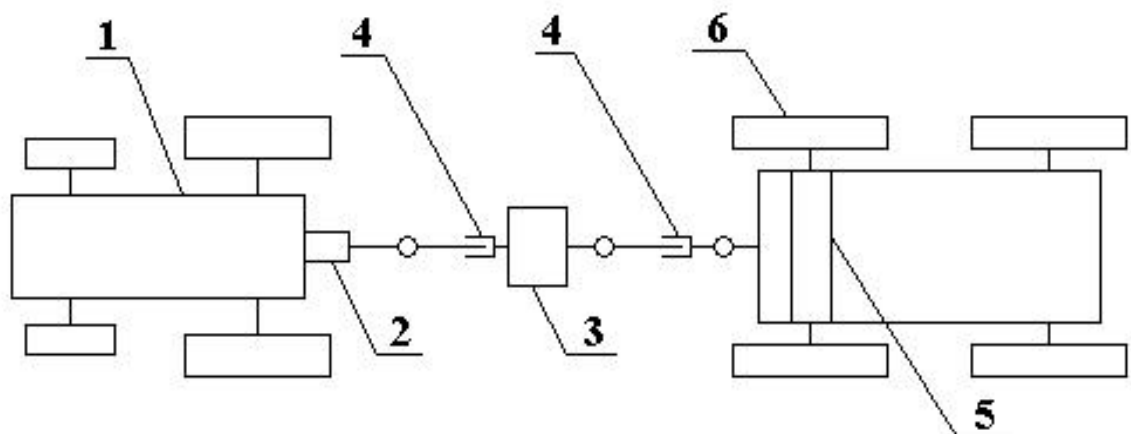


Рис.2.5. Кинематическая схема транспортного агрегата

1 – трактор; 2 – ВОМ (вал отбора мощности трактора); 3 – редуктор с обгонной муфтой; 4 – карданный вал; 5 – ведущий мост прицепа; 6 – ведущие колеса прицепа.

Выполним теоретический расчет элементов трансмиссии, передающей крутящий момент от вала отбора мощности трактора к ведущему мосту прицепа. Расчетная схема приведена на рисунке 2.6.

Путь, пройденный ведущим колесом трактора равен

$$L_{mp} = 2\pi \cdot r_1 \cdot n_1, \quad (2.10)$$

где  $r_1$  - динамический радиус качения ведущего колеса трактора, м;  $n_1$  - число оборотов ведущего колеса трактора, об.

Путь, пройденный колесом прицепа

$$L_{пп} = 2\pi \cdot r_2 \cdot n_2, \quad (2.11)$$

где  $r_2$  - динамический радиус качения ведущего колеса прицепа, м;  $n_2$  - число оборотов ведущего колеса прицепа, об.

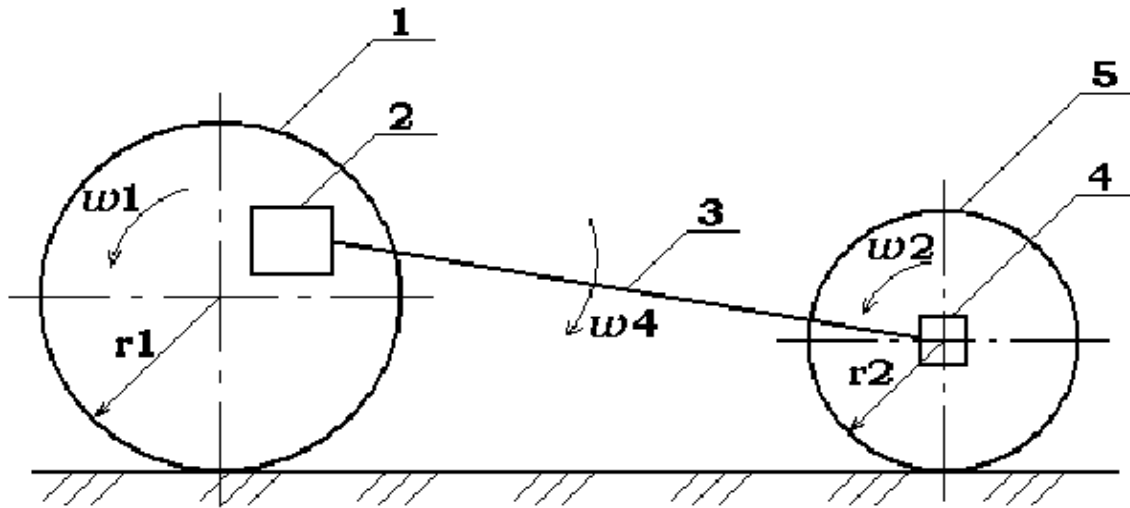


Рис.2.6. Кинематическая схема передачи крутящего момента от вала отбора мощности трактора к ведущему мосту прицепа

1- колесо трактора; 2 - редуктор с обгонной муфтой; 3 - карданный вал; 4- ведущий мост прицепа; 5 - ведущие колеса прицепа.

Число оборотов вала отбора мощности за один оборот ведущего колеса в общем случае равен

$$n_3 = L_{mp} \cdot n_4, \quad (2.12)$$

где  $n_4$  - число оборотов вала отбора мощности соответствующее одному метру пройденного пути;  $n_4 = 3,5$ .

Число оборотов ведущего колеса прицепа за один оборот колеса трактора найдем из выражения

$$n_2 = \frac{L_{mp}}{L_{пп}} = \frac{2\pi \cdot r_1 \cdot n_1}{2\pi \cdot r_2} = \frac{r_1}{r_2}. \quad (2.13)$$

Передаточное число ведущего моста прицепа равно

$$i_{пп} = \frac{n_3}{n_2}. \quad (2.14)$$

Динамический радиус качения колес трактора и прицепа определяется из эмпирических выражений

$$\begin{aligned} r_{K_{mp}} &= 0,0254 \cdot (0,5d_{mp} + 0,8b_{mp}), \\ r_{K_{пп}} &= 0,0254 \cdot (0,5d_{пп} + 0,8b_{пп}). \end{aligned} \quad (2.15)$$

где  $d_{mp}, d_{пп}$  – соответственно диаметр колеса трактора и прицепа, м;  $b_{mp}, b_{пп}$  – соответственно ширина колеса трактора и прицепа, м.

$$i_{пп} = \frac{i_{пп}}{i_M}, \quad (2.16)$$

где  $i_M$  – передаточное число редуктора обгонной муфты.

Определим число зубьев ведущей шестерни обгонной муфты из формулы (2.16)

$$z = \frac{z_B}{i_{mp}}. \quad (2.17)$$

Проведенные расчеты показали, что наиболее оптимальным является использование обгонной муфты привода переднего ведущего моста трактора МТЗ-82, путем доработки корпуса, с целью получения необходимого передаточного числа трансмиссии.

## 2.2 Циркуляция мощности в тракторе с дополнительно установленным ведущим мостом

Для увеличения тягово-сцепных свойств трактора одним из способов является увеличение числа ведущих колес (рис 2.7). В то же время при этом может возникать весьма нежелательное явление циркуляция мощности в замкнутых силовых контурах трансмиссии и ходовой части трактора. Иными словами, в тракторе замкнутый контур образует силовой поток (СП) проходящий через ведущие мосты, которые связаны между собой с одной стороны через трансмиссию, а с другой - через опорную поверхность. В таком СП, как правило, из-за кинематического несоответствия возникает циркуляция мощности. Данное явление объясняется тем, что радиусы колес неравны между собой или при движении по неровностям они проходят различный путь. Благодаря касательной упругости шин происходит ее деформация (скручивание), что снижает вероятность проскальзывания шин и кинематическое несоответствие проявляется лишь в перераспределении крутящих моментов подводимых к ведущим колесам.

Рассмотрим циркуляцию мощности в тракторе с двумя ведущими мостами. При исследовании данного явления используем теорию силового потока. Схема силового потока для определения циркуляции мощности представлена на рисунке 2.8.

В общем случае будем считать, что трактор движется по горизонтальному участку прямолинейно, равномерно с определенной скоростью. Силу сопротивления воздуха из-за небольшой скорости не будем учитывать. Для упрощения схемы СП все силы сопротивления движению обобщим в результирующую приложенную к остову трактора. На колеса трактора действуют нормальные реакции почвы, которые можно определить из уравнения равновесия трактора в целом. Для упрощения решения будем считать их известными. Считая, что оба колеса являются ведущими, составим уравнения СП.

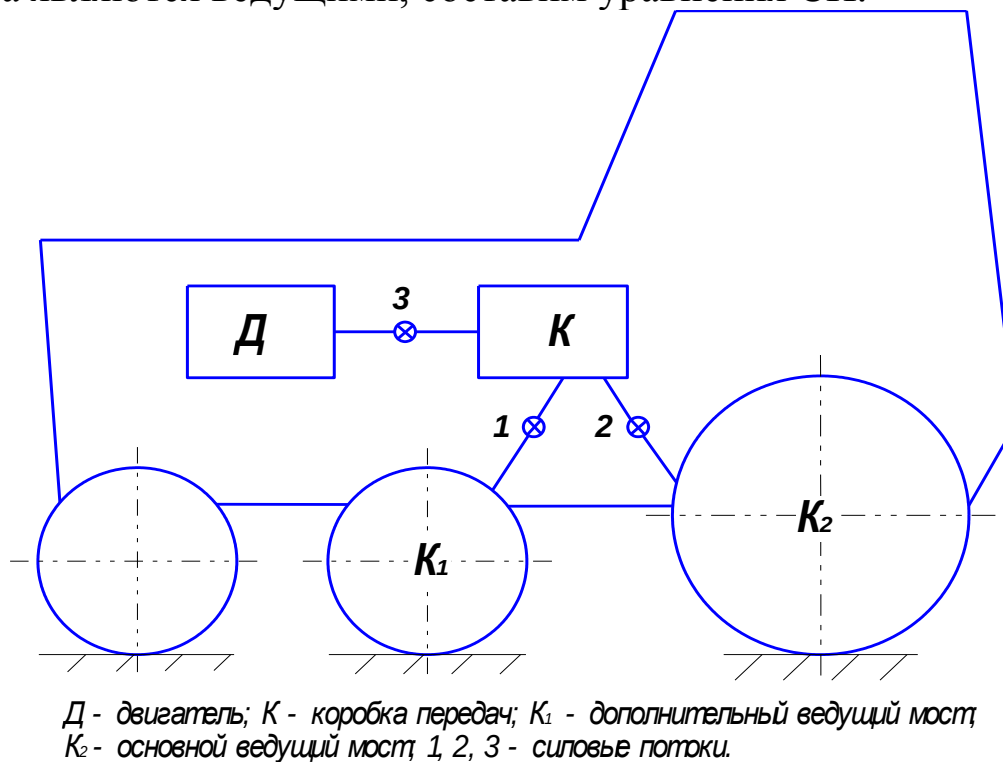


Рис.2.7. Кинематическая схема трактора с дополнительным ведущим мостом

С учетом теории силового потока узловая точка (УТ) колеса имеет следующие потоки:

- вращательный активный силовой поток со скоростным фактором (угловая скорость качения колеса) и силовым фактором (крутящий момент колеса);

- вращательный реактивный поток;
- поступательный реактивный поток.

В нашем случае реактивные потоки отсутствуют, так как реактивные силы работы не совершают, поэтому их силовой фактор равен нулю.

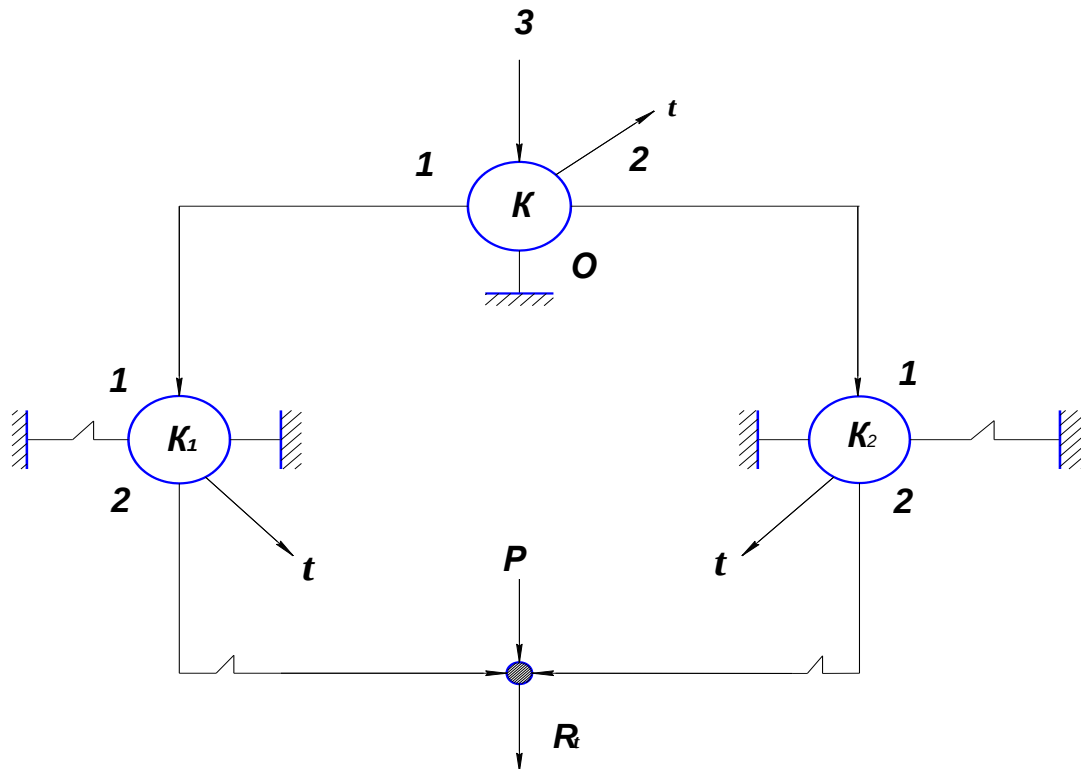


Рис.2.8. Схема силового потока для трактора с дополнительным ведущим мостом:

К - коробка передач;  $K_1$  - колесо дополнительного моста;  $K_2$  - колесо заднего моста; 1 и 2 - направленные силовые потоки от коробки передач к ведущим колесам; 3 - направленный силовой поток от двигателя к коробке передач; P - узловая точка;  $R$  - результирующая сила сопротивления; t - рассеянный силовой поток; O - осто́в трактора.

Составим уравнения силового потока.

Уравнение мощностей УТ-К

$$\eta_K \cdot M_{3K} - i_{13} \cdot M_{1K} - i_{23} \cdot M_{2K} = 0, \quad (2.18)$$

где  $\eta_K$  - к.п.д. УТ-К (коробка передач);  $M_{1K}, M_{2K}, M_{3K}$  соответственно крутящие моменты двигателя, дополнительного и основного колеса трактора, Нм;  $i_{13}, i_{23}$  - передаточные отношения.

Уравнение крутящего момента приложенного к ведущим колесам для УТ-К1 и УТ-К2 можем записать следующим образом:

-для дополнительного колеса

$$M_{1K} = a_1 \cdot y_{K1} + r_{K1} \cdot P_{K1}, \quad (2.19)$$

где  $y_{K1}$  - нормальная реакция почвы на дополнительное колесо, Н;  $a_1$  - смещение нормальной реакции почвы, м;  $r_{K1}$  - радиус качения

дополнительного колеса, им;  $P_{к1}$  -касательная сила тяги развиваемая дополнительным колесом, Н.

-для основного колеса

$$M_{2к} = a_2 \cdot y_{к2} + r_{к2} \cdot P_{к2}, \quad (2.20)$$

где  $y_{к2}$  – нормальная реакция почвы на основное колесо, Н;  $a_2$  - смещение нормальной реакции почвы, м;  $r_{к2}$  - радиус качения основного колеса, м;  $P_{к2}$  -касательная сила тяги развиваемая основным колесом, Н.

В работе А.С. Антонова [1] предлагается радиус качения колеса определять по выражению

$$r_k = r_0 + \lambda \cdot P_k, \quad (2.21)$$

где  $r_0$  - свободный радиус качения колеса, м;  $\lambda$  - коэффициент касательной деформации почвы.

Уравнение равновесия УТ-Р

$$P_{к1} + P_{к2} = R_t, \quad (2.22)$$

где  $R_t$  - результирующая сила сопротивления, Н.

Из кинематической характеристики УТ запишем скорость движения ведущих колес трактора:

-дополнительного колеса

$$v = \omega_{1к} \cdot r_{к1} = i_{13} \cdot \omega_{3к}(r_{01} - \lambda \cdot P_{к1}), \quad (2.23)$$

где  $\omega_{1к}$  - угловая скорость дополнительного колеса, об/мин;  $i_{13}$  - передаточное отношение;  $\omega_{3к}$ - угловая скорость двигателя, об/мин.

- заднего колеса

$$v = \omega_{2к} \cdot r_{к2} = i_{23} \cdot \omega_{3к}(r_{02} - \lambda \cdot P_{к1}), \quad (2.24)$$

где  $\omega_{2к}$  - угловая скорость основного колеса, об/мин;  $i_{23}$  - передаточное отношение.

Решая данную систему, определим касательную силу тяги:

- дополнительного колеса

$$P_{к1} = \frac{\lambda \cdot R_t + (r_{01} - r_{02})}{2 \cdot \lambda}, \quad (2.25)$$

- заднего колеса

$$P_{к2} = \frac{\lambda \cdot R_t - (r_{01} - r_{02})}{2 \cdot \lambda}, \quad (2.26)$$

Проанализировав СП на присутствие циркуляции мощности с учетом ранее полученных формул, условие безциркуляционной работы трактора будет иметь вид

$$\frac{\Delta L}{\lambda \cdot R_t} = \frac{\Delta L}{\lambda \cdot P_{кр}} < 1, \quad (2.27)$$

где  $\Delta L$  -разность пройденного пути колесами трактора, м;  $P_{кр}$  - тяговое усилие трактора, Н.

Из полученной формулы видно, циркуляция мощности зависит от разности пройденного пути, суммарного сопротивления движению и коэффициента эластичности шин. Основным составляющим суммарного сопротивления для трактора является тяговое усилие на крюке, которое в свою очередь зависит от сцепного веса. Использование дополнительного ведущего моста позволяет повысить сцепной вес.

### **2.3 Определение касательной силы тяги трактора с дополнительным ведущим мостом**

При использовании неполноприводных колесных тракторов в составе ТТА на транспортных работах при движении по поверхностям с низкой несущей способностью, в частности по твёрдому мерзлотному подстилающему слою или снежному покрову, увеличивается величина буксования, снижаются тягово-сцепные свойства, производительность. Поэтому можно предположить, что движение трактора со вспомогательным устройством - дополнительным ведущим мостом позволяет улучшить его тягово-сцепные свойства. Рассмотрим, как постановка дополнительного ведущего моста будет влиять на тягово-сцепные качества трактора.

Существующие математические модели взаимодействия ведущих колес с почвой не позволяют использовать их для сравнительной оценки тягово-сцепных свойств серийного неполноприводного трактора и трактора со вспомогательным устройством - дополнительным ведущим мостом ввиду отсутствия явно выраженных зависимостей (например, изменение площади пятна контакта вследствие передачи части веса трактора с переднего управляемого моста на устройство).

Для выявления данных зависимостей, которые позволят построить достоверную математическую модель, необходимо рассмотреть процесс формирования касательной силы тяги в зависимости от изменения вертикальной нагрузки, приходящейся на колесо трактора.

Общая касательная сила тяги колеса, по мнению ряда авторов, зависит от числа грунтозацепов, входящих в почву, то есть от площади пятна контакта колеса с поверхностью. Исходя из этого, величина касательной силы тяги в основном зависит от изменения вертикаль-

ной нагрузки, приходящейся на мост трактора и значений площади пятна контакта колеса с поверхностью.

$$P_{kcm} = P_{зос} + P_{kmp}, \quad (2.28)$$

где  $P_{зос}$  - касательная сила тяги, развиваемая колесом заднего моста трактора, Н;  $P_{kmp}$  - касательная сила тяги, развиваемая ведущим колесом дополнительного моста трактора, Н.

Учитывая, что определение величины касательной силы тяги ведущего колеса трактора  $P_{зос}$  подробно рассмотрено в работах [26,47,48,80,110,160,161,180,193,200], детально рассмотрим касательную силу тяги, развиваемую ведущим колесом дополнительного моста трактора, которую можно представить как произведение

$$P_{kmp} = G_{k(t)} \cdot \varphi, \quad (2.29)$$

где  $G_{k(t)}$  - нормальное контактное давление колеса на поверхность в мгновенный момент времени;  $\varphi$  – коэффициент сцепления.

Рассмотрим процесс формирования касательной силы тяги, развиваемой ведущим колесом дополнительного моста трактора, и оценим изменение среднего контактного давления, определяемого выражением

$$G_{k(t)} = \frac{F_{k(t)}}{S_{(t)}}, \quad (2.30)$$

где  $F_{k(t)}$  - мгновенное значение вертикальной нагрузки, приходящейся на колесо дополнительного моста трактора;  $S_{(t)}$  – мгновенное значение площади пятна контакта пневматического колеса с поверхностью.

Величина мгновенного значения вертикальной нагрузки, приходящейся на колесо дополнительного моста трактора, определяется (рис.2.9)

$$F_{k(t)} = G_{k(c)} + G_{k(\partial)}, \quad (2.31)$$

где  $G_{k(c)}$  - собственный вес дополнительного моста трактора, Н;  $G_{k(\partial)}$  - передаваемая нагрузка на дополнительный мост трактора, Н.

Используя алгебраический момент сил, лежащих в одной плоскости относительно центра, получим

$$G_{k(\partial)} = \frac{Fh_1}{h_2}, \quad (2.32)$$

где  $h_1$ ,  $h_2$  - соответствующие плечи приложения силы, м;  $F$  - прилагаемая сила, Н.

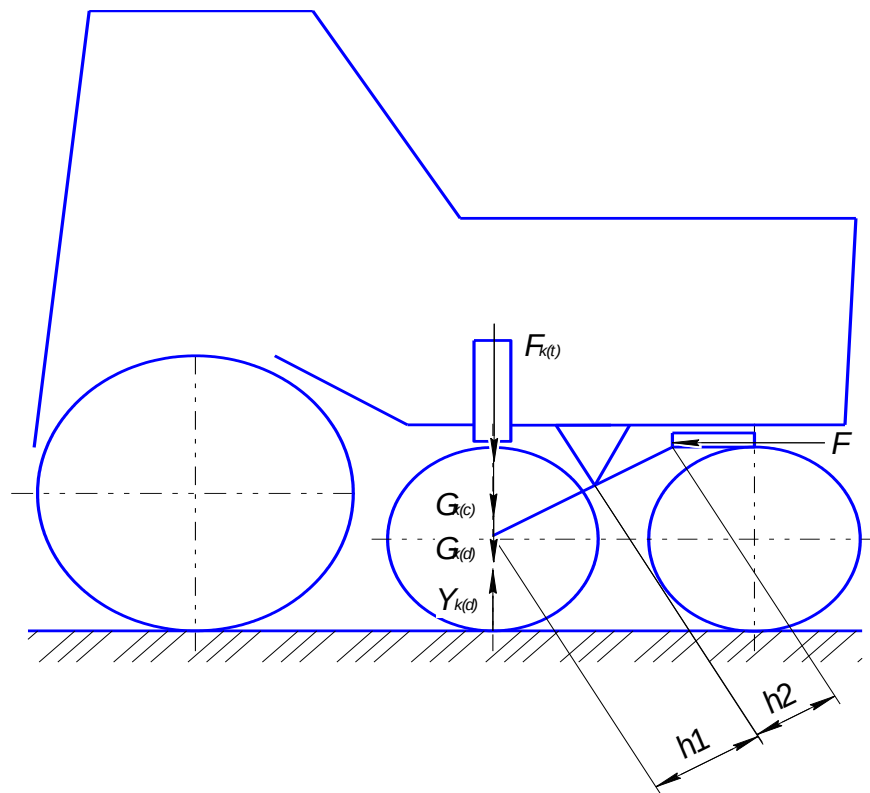


Рис.2.9. Схема к определению вертикальной нагрузки на дополнительный ведущий мост трактора

Анализируя выведенную формулу (2.32) можно предположить, что изменение плеч передающего устройства позволит изменить передаваемую нагрузку на дополнительный мост трактора.

Более наглядно это представлено на рисунке 2.10.

Установим математические закономерности взаимодействия колеса с опорной поверхностью при изменении вертикальной нагрузки на дополнительный ведущий мост трактора (рис.2.11).

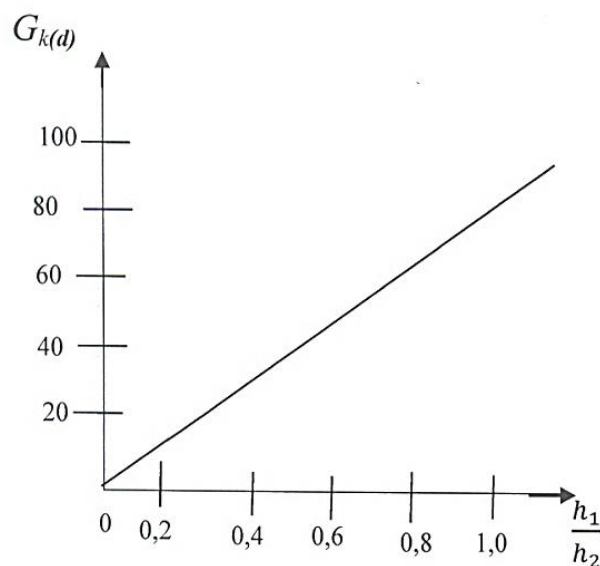


Рис.2.10. Зависимость передаваемой нагрузки от изменения соотношения длины плеч

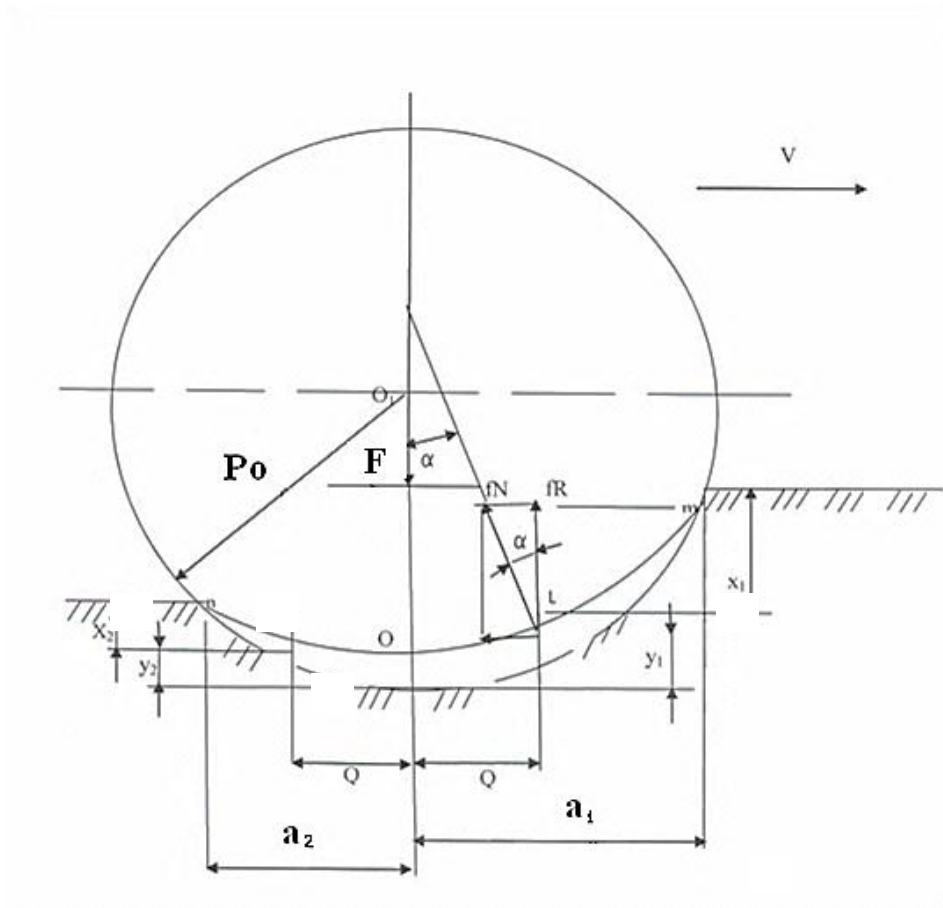


Рис.2.11. Схема взаимодействия колеса с опорной поверхностью

Проанализируем, как изменяется длина пятна контакта  $L = l_1 + l_2$ , где  $l_1$  – длина контакта в зоне *то*,  $l_2$  – длина контакта в зоне *но*.

Нормальное контактное давление в зоне загрузки  $P_1$  и разгрузки  $P_2$  (соответственно участки *то* и *но*) выражаются формулами для грунта

$$\begin{aligned} to &= P_1 = G_1 X_1; \\ no &= P_2 = G_2 X_2. \end{aligned} \quad (2.33)$$

для шин (если деформация не превышает критического значения)

$$\begin{aligned} P_1 &= S_1 Y_1; \\ P_2 &= S_2 Y_2, \end{aligned} \quad (2.34)$$

где  $G_1, G_2$  – коэффициенты полной  $X_1$  и упругой  $X_2$  деформации грунта;  $S_1, S_2$  – коэффициенты упругой деформации шины в зоне загрузки и разгрузки;  $Y_1, Y_2$  – радиальная деформация шины в зоне загрузки и разгрузки.

Элементарную вертикальную силу  $fR$ , действующую на элементарную площадку  $fl$  (рис. 2.6), запишем как

$$fR = fN \cos \alpha. \quad (2.35)$$

При условии, что

$$\sum fR = R = F_k.$$

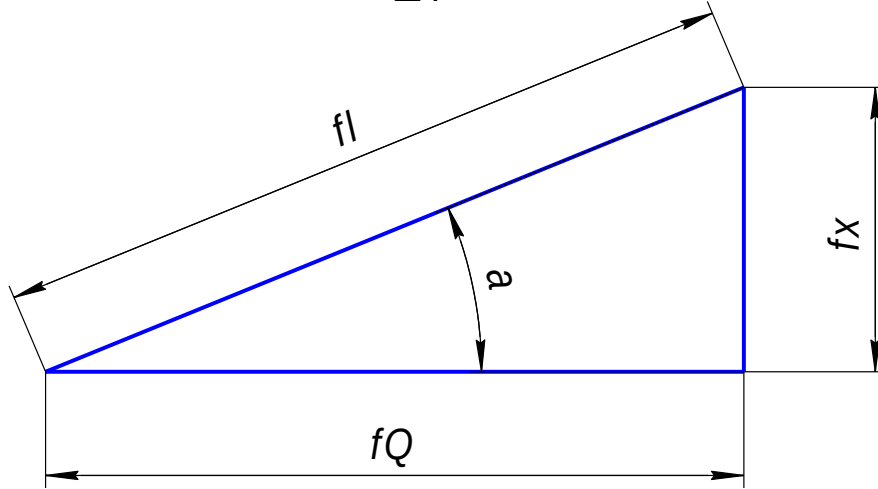


Рис.2.12. Проекция сил, действующих на элементарную площадку при движении колеса

При ширине поверхности контакта колеса с почвой  $B_{ш}$  имеем

$$fN \cos \alpha = PflB_{ш} \cos \alpha = P(Q)fQB_{ш}, \quad (2.36)$$

где  $B_{ш}$  - ширина протектора шины, м;  $Q$ - продольная координата точки  $l$ .

Если принять, что  $\alpha_1$  соответствует  $mo$ ,  $\alpha_2$  соответствует  $no$  получим

$$F_k = B_{ш} \left[ \int_0^{\alpha_1} P(Q)fQ + \int_{\alpha_2}^0 P(Q)fQ \right],$$

или

$$F_k = \frac{B_{ш}}{3r_0} \left[ \frac{G_1 S_1}{G_1 + S_1} \cdot \alpha_1^3 + \frac{G_2 S_2}{G_2 + S_2} \cdot \alpha_2^3 \right], \quad (2.37)$$

то

$$F_k = \frac{B_{ш} G_1}{3r_0 (G_1 + S_1)} \cdot \alpha_1^3 \left[ (S_1 + S_2) \sqrt{\frac{G_1 (G_1 + S_2)}{G_2 (G_1 + S_1)}} \right]. \quad (2.38)$$

Среднее значение величины нормального контактного давления можно записать как соотношение

$$G_{k(\partial)} = \frac{F_k}{B_{ш} L}. \quad (2.39)$$

Из рисунка 2.11 следует

$$\begin{aligned} fL &= fQ \frac{1}{\cos \alpha}; \\ \frac{fX}{f\alpha} &= tg \alpha; \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$X_1 + Y_1 = \frac{\alpha_1^2}{2r_0} - \frac{Q^2}{2r_0},$$

где  $r_0$ -радиус колеса, м.

Тогда 
$$L = \int_0^{\alpha_1} \frac{1}{\cos \alpha} f Q + \int_{-\alpha_2}^0 \frac{1}{\cos \alpha} f Q, \quad (2.41)$$

Используя уравнения (2.33-2.39), определим изменения нормального давления по длине пятна контакта в зоне загрузки  $P_1$  и в зоне разгрузки  $P_2$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{G_1 S_1}{G_1 + S_1} \left( \frac{\alpha_1^2}{2r_0} - \frac{Q^2}{2r_0} \right), \\ P_2 &= \frac{G_2 S_2}{G_2 + S_2} \left( \frac{\alpha_2^2}{2r_0} - \frac{Q^2}{2r_0} \right). \end{aligned} \quad (2.42)$$

Так как

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\alpha_1^2 - Q^2}{2r_0 \left( 1 + \frac{G_1}{S_1} \right)}, \\ \frac{f X_1}{f Q} &= \frac{Q}{r_0 \left( 1 + \frac{G_1}{S_1} \right)}. \end{aligned}$$

Отсюда 
$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + t g^2 \alpha}}. \quad (2.43)$$

Введём обозначение  $V_1 = \frac{1}{r_0 \left( 1 + \frac{G_1}{S_1} \right)}.$

Тогда первое слагаемое формулы (2.22) будет иметь вид

$$l_1 = \int_0^{\alpha_1} \sqrt{1 + V_1^2 Q^2 f Q} = \int_0^{\alpha_1} V_1 \sqrt{\frac{1}{V_1^2} + Q^2 Q}. \quad (2.44)$$

В результате интегрирования получена длина контакта колеса в зоне загрузки

$$l_1 = \frac{1}{2V_1} \left\{ V_1 \alpha_1 \sqrt{1 + (V_1 \alpha_1)^2} + \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + (V_1 \alpha_1)^2} + V_1 \alpha_1}{1 + \sqrt{1 + (V_1 \alpha_1)^2} - V_1 \alpha_1} \right] \right\}. \quad (2.45)$$

Обозначив второе слагаемое уравнение (2.41) через  $l_2$  (длина контакта в зоне разгрузки), предварительно введя следующее обозначение:

$$V_2 = \frac{\sqrt{\frac{G_1(G_2 + S_2)}{G_2(G_1 + S_1)}}}{r_0 \left( 1 + \frac{G_2}{S_2} \right)},$$

и произведя аналогичные действия получим

$$l_2 = \frac{\sqrt{\frac{G_1(G_2 + S_2)}{G_2(G_1 + S_1)}}}{2V_1} \left\{ V_2 \alpha_1 \sqrt{1 + (V_2 \alpha_1)^2} + \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + (V_2 \alpha_1)^2} + V_2 \alpha_1}{1 + \sqrt{1 + (V_2 \alpha_1)^2} - V_2 \alpha_1} \right] \right\}. \quad (2.46)$$

Используя уравнение (2.23) и введя следующее обозначение:

$$T = \left\{ \frac{B_{\text{ш}} G_1}{3r_0(G_1 + S_1)} \left[ S_1 + S_1 \sqrt{\frac{G_1(G_2 + S_2)}{G_2(G_1 + S_1)}} \right] \right\}^{-\frac{1}{3}},$$

получим

$$\alpha_1 = T \sqrt[3]{F_k}. \quad (2.47)$$

С учетом уравнений (2.30-2.47) получаем зависимость среднего нормального контактного давления пневматического колеса на деформируемый грунт от нагрузки, приходящейся на его ось

$$G_{k(\partial)} = \frac{F_{k(\partial)}}{L(F_k B_{III})} = \frac{Y_k}{L(Y_k) B_{III}}, \quad (2.48)$$

где  $L(F_k)$  - общая длина пятна контакта.

Тогда знаменатель формулы (2.48) равен

$$\begin{aligned} & \frac{T^3 \sqrt[3]{F_k}}{2} \sqrt{1 + (V_1 T^3 \sqrt[3]{F_k})^2} + \frac{1}{2V_1} \ln \left( V_1 T^3 \sqrt[3]{F_k} + \sqrt{1 + (V_1 T^3 \sqrt[3]{F_k})^2} + \right. \\ & \left. \frac{1}{2V_2} \sqrt{\frac{G_1(G_2+S_2)}{G_2(G_1+S_1)}} \left[ V_2 T^3 \sqrt[3]{F_k} \sqrt{1 + (V_2 T^3 \sqrt[3]{F_k})^2} + \right. \right. \\ & \left. \left. \ln \left( V_2 T^3 \sqrt[3]{F_k} + \sqrt{1 + (V_2 T^3 \sqrt[3]{F_k})^2} \right) \right] \right), \end{aligned}$$

или

$$\frac{U}{2} A_1 + \frac{1}{2V_1} \ln \left( V_1 U + A_1 + \frac{1}{2V_2} \sqrt{\frac{G_1(G_2+S_2)}{G_2(G_1+S_1)}} [U_2 A_2 + \ln(U_2 + A_2)] \right),$$

где  $A_1 = \sqrt{1 + (V_1 T^3 \sqrt[3]{F_k})^2},$

$$A_2 = \sqrt{1 + (V_2 T^3 \sqrt[3]{F_k})^2},$$

$$U = T^3 \sqrt[3]{F_k},$$

$$U_2 = V_2 T^3 \sqrt[3]{F_k} - \text{введённые обозначения.}$$

Таким образом, формулу (2.29) касательной силы тяги, развиваемой ведущим колесом дополнительного моста трактора, можно представить

$$P_{ktr} = \frac{Y_{k(\partial)} \cdot \varphi}{\frac{U}{2} A_1 + \frac{1}{2V_1} \ln \left( V_1 U + A_1 + \frac{1}{2V_2} \sqrt{\frac{G_1(G_2+S_2)}{G_2(G_1+S_1)}} [U_2 A_2 + \ln(U_2 + A_2)] \right)}. \quad (2.49)$$

В общем случае суммарная касательная сила тяги трактора с дополнительным ведущим мостом равна

$$P_{kст} = P_{зос} + \frac{2Y_{k(\partial)} \cdot \varphi}{\frac{U}{2} A_1 + \frac{1}{2V_1} \ln \left( V_1 U + A_1 + \frac{1}{2V_2} \sqrt{\frac{G_1(G_2+S_2)}{G_2(G_1+S_1)}} [U_2 A_2 + \ln(U_2 + A_2)] \right)}. \quad (2.50)$$

Из полученной формулы видно, что постановка дополнительного моста повышает касательную силу трактора по сравнению с серийным.

## 2.4 Тяговое усилие, развиваемое трактором с дополнительным ведущим мостом

Значения нормальных реакций почвы на колеса трактора оказывают большое влияние на тягово-сцепные свойства трактора. Рассмотрим общий случай движения трактора с дополнительным ведущим мостом (рис.2.13).

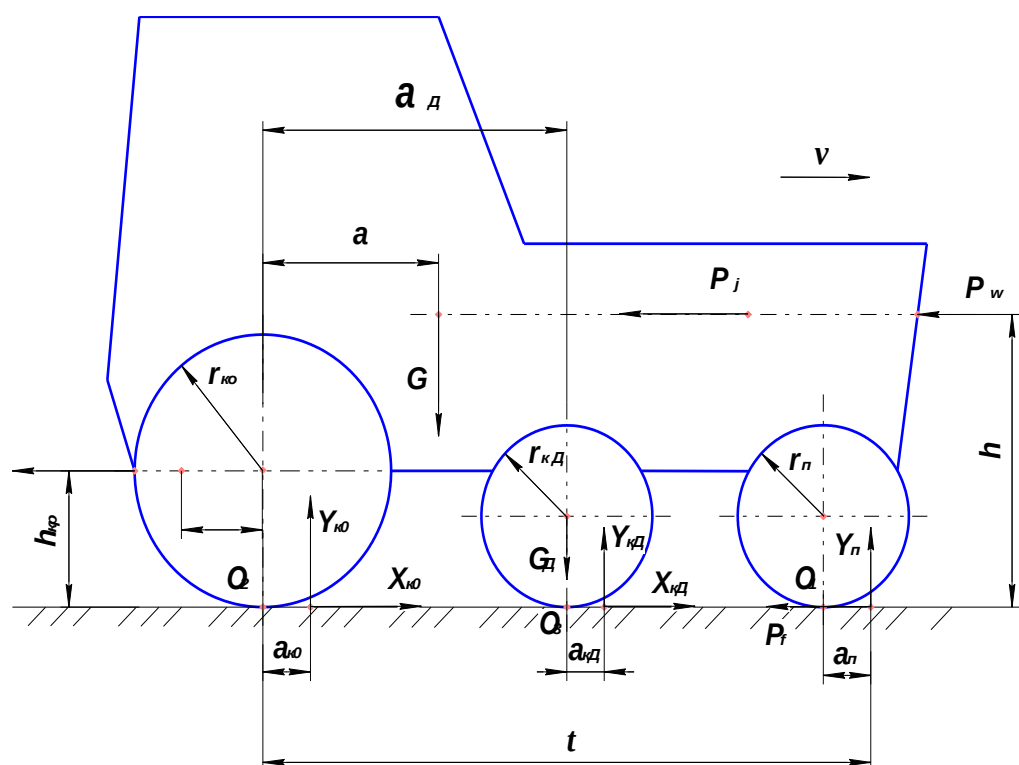


Рис.2.13. Схема сил действующих на трактор с дополнительным ведущим мостом:

$h_{кр}$  – расстояние до точки приложения тягового усилия;  $h$  – расстояние до центра тяжести трактора;  $Y_{к0}$  – нормальная реакция почвы на задние колеса трактора;  $X_{к0}$  – толкающая реакция почвы на задние ведущие колеса трактора;  $Y_{кД}$  – нормальная реакция почвы на дополнительное колесо трактора;  $X_{кД}$  – толкающая реакция почвы на дополнительное ведущее колесо трактора;  $Y_{п}$  – нормальная реакция почвы на переднее колесо трактора;  $X_{п}$  – сила сопротивления перекачиванию передних колес трактора;  $G$  – вес трактора;  $P_j$  – сила инерции трактора;  $P_w$  – сила сопротивления воздуха;  $r_{к0}$  – радиус качения заднего колеса трактора;  $r_{кД}$  – радиус качения дополнительного колеса трактора;  $r_{п}$  – радиус качения переднего колеса трактора;  $a$  – расстояние от оси задних колес трактора до центра тяжести;  $a_{Д}$  – расстояние от задней оси трактора до оси дополнительных колес трактора;  $L$  – база трактора;  $a_n$  – горизонтальная координата нормальной реакции почвы на ведомое колесо трактора;  $a_{к}$  – горизонтальная координата нормальной реакции почвы на ведущее колесо трактора;  $a_{к0}$  – горизонтальная координата нормальной реакции почвы на дополнительное ведущее колесо трактора

Рассмотрим схему сил, действующих на трактор с дополнительным ведущим мостом трактора (рис.2.13).

Касательная сила тяги транспортного агрегата является суммой

$$P_{ка} = P_{ктр} + P_{кд}, \quad (2.51)$$

где  $P_{ктр}$  – касательная сила тяги, развиваемая трактором, Н;  $P_{кд}$  – касательная сила тяги, развиваемая дополнительным колесом трактора, Н.

Касательная сила тяги трактора по условию сцепления с почвой определяется

$$P_{ка} = Y_{ктр} \cdot \varphi_{тр} + Y_{кд} \cdot \varphi_{д}, \quad (2.52)$$

где  $Y_{ктр}, Y_{кд}$  – нормальные реакции почвы на ведущих колесах трактора и дополнительный ведущий мост;

$\varphi_{тр}, \varphi_{д}$  – коэффициенты сцепления ведущих колес трактора и дополнительного моста трактора с почвой.

Величину нормальной реакции почвы на дополнительные колеса от перераспределения сцепного веса с передних не ведущих колес в работе [200] предлагается определять по формуле

$$Y_{кд} = P \cdot F + G_{д}, \quad (2.53)$$

где  $P$  – давление в цилиндре, Н;

$F$  – диаметр поршня гидроцилиндра, м;

$G_{д}$  – вес дополнительного моста, Н.

С учетом выражения (2.53) формула (2.52) примет вид

$$P_{ка} = Y_{ктр} \cdot \varphi_{тр} + (Y_{кд} + P \cdot F + G_{д}) \cdot \varphi_{д}. \quad (2.54)$$

В общем случае касательная сила тяги трактора равна

$$P_{к} = P_{кр} + P_{f}, \quad (2.55)$$

где  $P_{f}$  – сила сопротивления движению.

Выразим, чему равняется тяговое усилие трактора

$$P_{кр} = P_{к} - P_{f} = P_{ка} = Y_{ктр} \cdot \varphi_{тр} + (Y_{кд} + P \cdot F + G_{д}) \cdot \varphi_{д} - P_{f} \quad (2.56)$$

Из формулы (2.16) видно, что постановка дополнительного моста и перераспределение сцепного веса между мостами трактора увеличивает силу тяги на крюке.

## 2.5 Определение касательной силы тяги, развиваемой трактором и прицепом с ведущим мостом

Рассмотрим схему сил, действующих на транспортный агрегат в составе трактора и прицепа (рис.2.14).

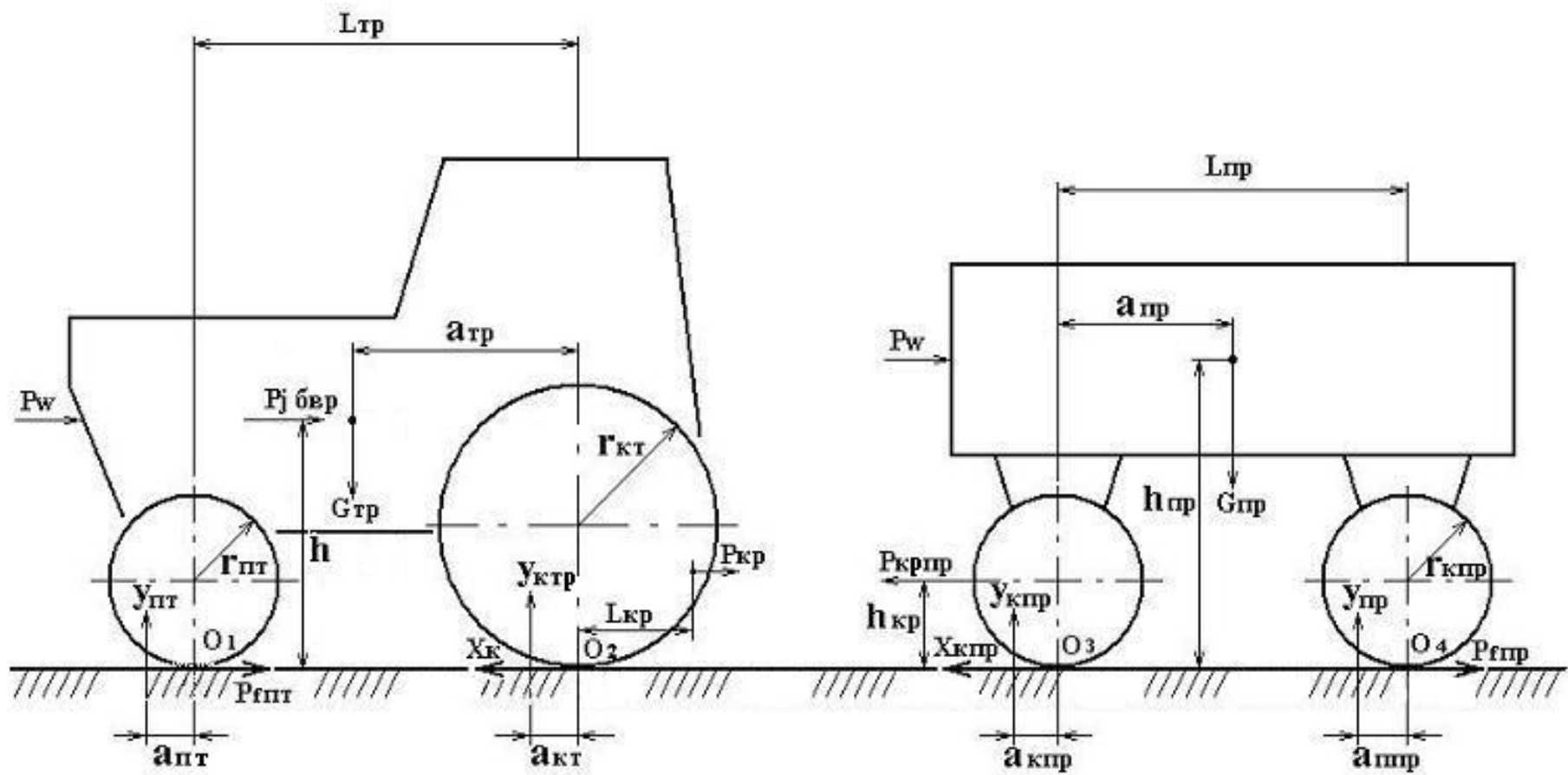


Рис.2.14. Схема сил действующих на трактор и прицеп с ведущим передним мостом

Касательная сила тяги транспортного агрегата является суммой

$$P_{ка} = P_{ктр} + P_{кпр}, \quad (2.57)$$

где  $P_{ктр}$  – касательная сила тяги, развиваемая трактором, Н;

$P_{кпр}$  – касательная сила тяги, развиваемая прицепом, Н.

Касательная сила тяги агрегата по условию сцепления с почвой определяется

$$P_{ка} = Y_{ктр} \cdot \varphi_{ктр} + Y_{кпр} \cdot \varphi_{кпр}, \quad (2.58)$$

где  $Y_{ктр}$ ,  $Y_{кпр}$  – нормальные реакции на ведущих колесах трактора и прицепа, Н;

$\varphi_{ктр}$ ,  $\varphi_{кпр}$  – коэффициенты сцепления ведущих колес трактора и прицепа с почвой.

Для определения нормальных реакций на ведущие колеса трактора и прицепа, общую схему агрегата расчленим, а взаимное влияние трактора и прицепа заменим соответствующими силами и моментами. В принятой схеме (рис. 2.14) тяговое сопротивление  $P_{кр}$ , приложенное в точке прицепа на высоте  $h_{кр}$  от поверхности пути, является для трактора тормозящей. Действие прицепа на трактор заменим силой  $P_{крпр}$  и направим в сторону трактора. Определим касательную силу тяги по методике предложенных в работах [12,46,47,160,161,191].

Для определения нормальной реакции дороги  $Y_n$ , действующей на передние колеса, составим согласно расчетной схемы (рис. 2.14.) уравнение моментов относительно точки  $O_2$

$$Y_{нтр}(L_{тр} + a_{nm}) + Y_{ктр} \cdot a_{кт} - G_{тр} \cdot a_{тр} + \delta_{вр} \cdot P_j \cdot h + P_w \cdot h \pm P_{кр} \cdot h_{крт} = 0, \quad (2.59)$$

где  $Y_{нтр}$  – нормальная реакция почвы на ведомое колесо трактора, Н;  $L_{тр}$  – продольная база трактора, м;  $a_{nm}$  – горизонтальная координата нормальной реакции почвы на ведомое колесо трактора, Н;  $Y_{ктр}$  – нормальная реакция почвы на ведущее колесо трактора, Н;  $a_{кт}$  – горизонтальная координата нормальной реакции почвы на ведущие колеса трактора, м;  $G_{тр}$  – вес трактора, Н;  $a_{тр}$  – горизонтальная координата веса трактора, м;  $P_j$  – сила инерции трактора, Н;  $\delta_{вр}$  – коэффициент учета вращающихся масс трактора;  $h$  – вертикальная координата веса трактора, м;  $P_{кр}$  – тяговое усилие трактора, Н;  $h_{крт}$  – вертикальная координата тягового усилия трактора, м;  $P_w$  – сила сопротивления воздуха трактора, Н.

В данном уравнении величины  $Y_{ктр}$ ,  $a_{кт}$  и  $Y_{нтр}$ ,  $a_{nm}$  заменим соответствующими моментами сопротивления качению  $Mf_{кт}$  и  $Mf_{nm}$  ве-

дущих и ведомых колес. Сумма данных моментов равна общему моменту сопротивления качению трактора

$$Mf_{km} + Mf_{nm} = Mf_m, \quad (2.60)$$

где  $Mf_{km}$  – момент сопротивления качению ведущих колес трактора, Нм;  $Mf_{nm}$  – момент сопротивления качению ведомых колес трактора, Нм;  $Mf_m$  – общий момент сопротивления качению трактора, Нм.

Из уравнений (2.20) и (2.21) выразим реакцию  $Y_{nm}$

$$Y_{nm} = \frac{G_{mp}a_{mp} - \delta_{vp}P_{jh} - P_w h \pm P_{kp}h_{kp} - Mf_m}{L_{mp}}. \quad (2.61)$$

Нормальную реакцию дороги определим, составив уравнение проекций

$$Y_{nmp} + Y_{kmp} = G_{mp}. \quad (2.62)$$

Решив совместно уравнение (2.61) и (2.62) найдем нормальную реакцию дороги на ведущие колеса трактора

$$Y_{kmp} = G_{mp} - \frac{G_{mp}a_{mp} \pm P_{jn}\delta_{vp} - P_w h \pm P_{kp}h_{kp} - Mf}{L_{mp}}. \quad (2.63)$$

При равномерном движении агрегата по полю значениями сил инерции и сопротивления воздуха можно пренебречь, погрешность допущения будет в допустимых пределах.

Аналогично определим нормальную реакцию дороги на колеса прицепа

$$-Y_{nmp}(L_{np} - a_{nmp}) + G_{np}a_{np} + Y_{knp}a_{knp} \pm P_{kp}h_{kp} = 0.$$

или

$$Y_{np} = \frac{G_{np}a_{np} + Mf_{np} \pm P_{kp}h_{kp}}{L_{np}}, \quad (2.64)$$

$$Y_{nmp} + Y_{kmp} = G_{np}, \quad (2.65)$$

тогда

$$Y_{knp} = G_{np} - \frac{G_{np}a_{np} + Mf_{np} \pm P_{kp}h_{kp}}{L_{np}}, \quad (2.66)$$

где  $Y_{nmp}$  – нормальная реакция почвы на ведомые колеса прицепа, Н;  $L_{np}$  – продольная база прицепа, м;  $a_{np}$  – горизонтальная координата нормальной реакции почвы на ведомое колесо прицепа, м;  $Y_{knp}$  – нормальная реакция почвы на ведущие колеса прицепа, Н;  $a_{knp}$  – горизонтальная координата нормальной реакции почвы на ведущее колесо прицепа, м;  $G_{np}$  – вес прицепа, Н;  $a_{np}$  – горизонтальная координата веса прицепа, м;  $P_{jn}$  – сила инерции прицепа, Нм;  $\delta_{vpnp}$  – коэффициент учета вращающихся масс прицепа;  $h_{mpnp}$  – вертикальная

координата веса прицепа, м;  $h_{крпр}$  – вертикальная координата тягового усилия прицепа, м;  $P_{wnp}$  – сила сопротивления воздуха прицепа, Н.

На основании формул (2.58, 2.63 и 2.66) получим общую касательную силу тяги тракторного поезда, в случае, когда ведущие колеса трактора имеют величину буксования более 5%

$$P_{ка} = \left( G_{mp} - \frac{G_{mp}a_{mp} \pm P_{кр}h_{кр} - Mf_{mp}}{L_{mp}} \right) \varphi_{mp} + \left( G_{np} - \frac{G_{np}a_{np} \pm P_{кр}h_{кр} + Mf_m}{L_{np}} \right) \varphi_{np}, \quad (2.67)$$

где  $Mf_{np}$  – общий момент сопротивления качению прицепа, Нм.

В полученной формуле величина тягового усилия может иметь знак (+) или (-) в зависимости от того, тянет трактор прицеп или прицеп толкает трактор. Кроме этого величина этой силы способствует разгрузке ведущих колес трактора, когда данная сила является толкающей и, наоборот, догружает их в случае, если она является тормозящей силой.

В случае, когда ведущие колеса трактора будут иметь величину буксования менее 5%, общая касательная сила тяги будет равна касательной силе тяги, развиваемой трактором, так как в этом случае ведущие колеса прицепа не получают крутящий момент от двигателя трактора

$$P_{ка} = P_{кtr} \left( G_{mp} - \frac{G_{mp}a_{mp} \pm P_{кр}h_{кр} - Mf}{L_{mp}} \right) \cdot \varphi_{mp}. \quad (2.68)$$

Сравнивая между собой формулы (2.28) и (2.29), необходимо отметить, что использование прицепа с ведущим мостом способствует повышению касательной силы тяги агрегата.

В то же время, полученные зависимости (2.67) и (2.68) не отражают влияние специфических особенностей почв Амурской области на величину касательной силы тяги транспортного агрегата.

## 2.6 Влияние физико-механических характеристик почвы на величину касательной силы тяги трактора

Касательная сила тяги, развиваемая ведущим колесом, является сумой горизонтальных реакций почвы [53,157]

$$P_k = \sum_{i=1}^n T_{зац}, \quad (2.69)$$

где  $n$  – число почвозацепов, контактирующих с почвой, шт;  $T_{зац}$  – реакция почвы, действующая на отдельный почвозацеп, Н.

Для определения касательной силы тяги, развиваемой одним почвозацепом, необходимо знать вид функциональной зависимости касательных напряжений от деформации сдвига почвы. Процесс де-

формации переувлажненных почв Дальнего Востока в горизонтальной плоскости, с достаточной степенью точности, описывается уравнением [55,56,57]

$$\tau_i = f_{ck} q t h \frac{S}{K_\tau}, \quad (2.70)$$

где  $\tau_i$  – касательное напряжение почвы;  $q$  – нормальное давление на почву, Па;  $f_{ck}$  – коэффициент внешнего трения скольжения почвы;  $S$  – величина сдвига почвозацепа относительно почвы, м;  $K_\tau$  – коэффициент деформации, Н/м<sup>3</sup> [47].

$$K_\tau = \frac{\tau_{ck} m_s}{tg(\alpha)_{\tau=0} \cdot m_\tau}, \quad (2.71)$$

где  $\tau_{ck} = f_{ck} \cdot q$ ;  $tg(\alpha)_{\tau=0}$  – тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной к кривой в начале координат;  $m_\tau$  – масштаб на оси ординат;  $m_s$  – масштаб на оси абсцисс.

Формулу (2.70) перепишем с учетом коэффициента трения скольжения [46]

$$\tau_i = (c + qtg\rho) \cdot th \frac{S}{K_\tau}, \quad (2.72)$$

где  $c$  – коэффициент сцепления почвы, МПа;  $\rho$  – угол внутреннего трения почвы, град.

Из теории трактора известно, что касательная сила тяги, обусловленная одним почвозацепом, изменяется по такому же закону, что и касательная реакция почвы

$$T_{зац} = [(c + qtg\rho) B_n h_n + 2(c + \varepsilon_q qtg\rho) B_n h_n] \cdot t_n \frac{S}{K_\tau}, \quad (2.73)$$

где  $B_n$  – ширина почвозацепа, м;  $t_n$  – шаг почвозацепа, м;  $\varepsilon_q$  – коэффициент бокового давления почвы;  $h_n$  – высота почвозацепа, м.

Суммируя касательные реакции почвы, получим силу тяги, развиваемую одним колесом

$$P_K = \frac{1}{t_n} \int_0^l T_{зац} dx. \quad (2.74)$$

Подставив в формулу (2.35) значение  $T_{зац}$ , будем иметь

$$P_K = \frac{1}{t_n} [(c + qtg\rho) B_n h_n + 2(c + \varepsilon_q qtg\rho) B_n h_n] \int_0^l th \frac{S}{K_\tau} dx. \quad (2.75)$$

Решив данный интеграл, определим силу тяги, развиваемую ведущим колесом

$$P_K = \frac{1}{t_n} [(c + qtg\rho) B_n h_n + 2(c + \varepsilon_q qtg\rho) B_n h_n] \cdot \frac{K_\tau}{\delta} \ln \left| ch \frac{\delta \cdot l}{K_\tau} \right|. \quad (2.76)$$

Исходя из формулы (2.76) запишем касательную силу тяги для трактора с формулой 4×2

$$P_{кmp} = \frac{1}{t_{nmp}} \left[ (c + qtg\rho) B_{nmp} h_{nmp} + 2(c + \varepsilon_q qtg\rho) B_{nmp} h_{nmp} \right] \times \\ \times \frac{K_\tau}{\delta_{mp}} \ln \left| ch \frac{\delta_{mp} \cdot L_{mp}}{K_\tau} \right|, \quad (2.77)$$

где  $B_{nmp}$  – ширина почвозацепа колеса трактора, м;  $t_{nmp}$  – шаг почвозацепа колеса трактора, м;  $h_{nmp}$  – высота почвозацепа колеса трактора, м;  $\delta_{mp}$  – величина буксования ведущего колеса трактора, %.

Касательная сила тяги, развиваемая ведущими колесами прицепа

$$P_{кnp} = \frac{1}{t_{nnp}} \left[ (c + qtg\rho) B_{nnp} h_{nnp} + 2(c + \varepsilon_q qtg\rho) B_{nnp} h_{nnp} \right] \times \\ \times \frac{K_\tau}{\delta_{np}} \ln \left| ch \frac{\delta_{np} \cdot L_{np}}{K_\tau} \right|, \quad (2.78)$$

где  $B_{nnp}$  – ширина почвозацепа колеса прицепа, м;  $t_{nnp}$  – шаг почвозацепа колеса прицепа, м;  $h_{nnp}$  – высота почвозацепа колеса прицепа, м;  $\delta_{np}$  – величина буксования ведущего колеса прицепа, %.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные формулы (2.77) и (2.78) позволяют определить касательную силу тяги трактора и прицепа с передним ведущим мостом в зависимости от физико-механических характеристик почвы и площади контакта колес с почвой.

При работе трактора с прицепом, имеющим передний ведущий мост, имеет место два режима работы. В первом случае, когда буксование ведущих колес трактора  $\delta \leq 5\%$ , касательная сила тяги определится по выражению (2.79). Во втором случае, когда буксование ведущих колес трактора  $\delta > 5\%$ , суммарная касательная сила транспортного агрегата

$$P_{ка} = P_{кmp} + P_{кnp}, \quad (2.79)$$

или в развернутом виде

$$P_{кmp} = \frac{2}{t_{nmm}} \left[ (c + qtg\rho) B_{nmp} h_{nmm} + 2(c + \varepsilon_q qtg\rho) B_{nmp} h_{nmm} \right] \times \\ \times \frac{K_\tau}{\delta_{mp}} \ln \left| ch \frac{\delta_{mp} \cdot L_{mp}}{K_\tau} \right| + \\ + \frac{2}{t_{nnp}} \left[ (c + qtg\rho) B_{nnp} \cdot h_{nnp} + 2(c + \varepsilon_q qtg\rho) B_{nnp} \cdot h_{nnp} \right] \times \\ \times \frac{K_\tau}{\delta_{np}} \ln \left| ch \frac{\delta_{np} \cdot L_{np}}{K_\tau} \right|. \quad (2.80)$$

Анализ формул (2.78) и (2.79) позволяет сделать вывод, что на почвах с низкой несущей способностью, использование прицепа с ведущим передним мостом позволяет повысить тягово-сцепные качества транспортного агрегата на транспортных работах. Это особенно актуально для почв Амурской области в период проведения ранневесенних сельскохозяйственных работ, а также в период выпадения большого количества осадков. В данный период производительность транспортного агрегата ограничивается не мощностью двигателя (тяговым усилием), а тягово-сцепными свойствами трактора. Также из формулы (2.78) и (2.79) видно, что на величину касательной силы тяги транспортного агрегата большое влияние оказывает ширина контакта колес с почвой.

### **2.6.1 Повышение продольной устойчивости машинно-тракторного агрегата в транспортном положении**

В настоящее время сельхозпроизводителям поступает новая техника, позволяющая совмещать несколько операций. Это дает возможность повысить производительность труда и снизить техногенное воздействие на почву за счет уменьшения числа проходов. В то же время, повышая функциональные возможности сельскохозяйственной машины, за счет совмещения ряда операций происходит увеличение веса самой машины. При непосредственном выполнении операции увеличение веса навесной машины не влияет на поперечную устойчивость самого трактора. При поворотах и переездах, когда сама навесная сельскохозяйственная машина находится в транспортном положении, она оказывает влияние на перераспределение сцепного веса между мостами трактора. Для обеспечения безопасного движения на управляемый передний мост должно приходиться не менее 20% сцепного веса. Поэтому возникает необходимость автоматического перераспределения сцепного веса в транспортном и рабочем положении. Нами разработано устройство, позволяющее корректировать данное перераспределение при наличии дополнительного моста. Общая схема такого МТА приведена на рисунке 2.15

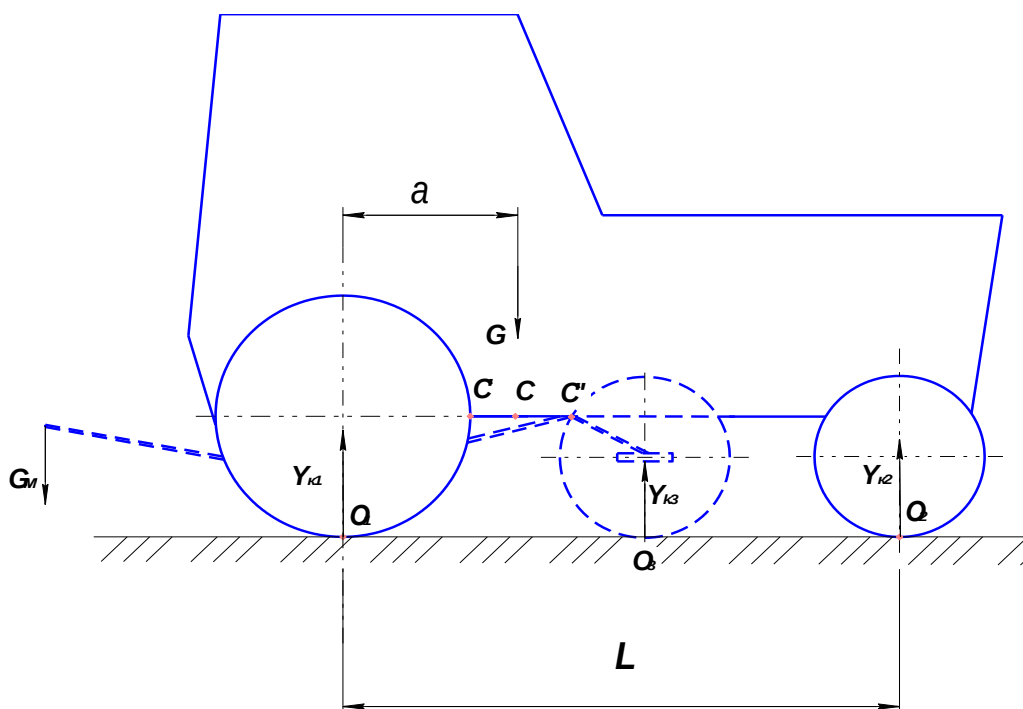


Рис. 2.15. Схема трактора с дополнительным ведущим мостом

$G$  – полный вес трактора;  $GM$  – вес сельскохозяйственной машины;  $Y_{k1}$  и  $Y_{k2}$  реакции почвы на ведущее и направляющие колеса;  $Y_{k3}$  – реакция почвы на дополнительный мост;  $a$  – координата центра тяжести трактора  $L$  – продольная база трактора.

Рассмотрим вариант, когда дополнительный мост находится в рабочем положении. В этом случае трактор и дополнительный мост представляют собой составную конструкцию. Первая часть – дополнительный мост, вторая – трактор. Так как устройство позволяет перемещать точку воздействия дополнительного моста на трактор, то возникает необходимость рассмотреть три положения точки  $C, C', C''$ :

- т.  $C$  – находится на линии действия силы тяжести трактора;
- т.  $C'$  – находится ближе к заднему колесу трактора;
- т.  $C''$  – находится ближе к переднему колесу трактора.

Решая уравнения равновесия системы тел, учтем все внешние и внутренние силы, приложенные к каждой части в отдельности. Следовательно, в случае плоской системы сил можно составить по три уравнения равновесия для каждого из этих частей в отдельности.

Рассмотрим равновесие первой части (дополнительного моста) составной конструкции (рис. 2.16).

На него действуют силы: приложенное усилие для перераспределения сцепного веса; усилие гидроцилиндра; вес дополнительного ведущего моста; реакция действия трактора на дополнительный мост.

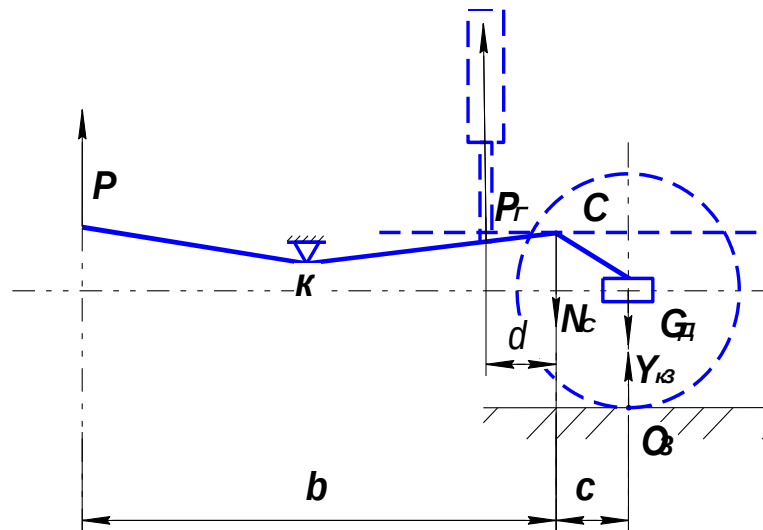


Рис. 2.16. Схема действия сил дополнительного ведущего моста трактора

$P$  - приложенное усилие для перераспределения сцепного веса;  $P_T$  - усилие гидроцилиндра;  $G_D$  - вес дополнительного ведущего моста;  $N_C$  - реакция воздействия трактора на дополнительный мост;  $Y_{k3}$  - реакция почвы на дополнительный мост;  $b$  - расстояние между приложенным усилием для перераспределения сцепного веса и реакцией воздействия трактора на дополнительный мост;  $c$  - расстояние между реакцией воздействия трактора на дополнительный мост и геометрической осью дополнительного моста;  $d$  - расстояние между усилием гидроцилиндра и реакцией воздействия трактора на дополнительный мост.

Составим уравнения равновесия для определения  $N_C$

$$\sum F_{ky} = 0; \quad P + P_T - N_C + Y_{k3} - G_D = 0; \quad (2.81)$$

$$\sum M_C = 0; \quad -P \cdot b + Y_{k3} \cdot c - G_D \cdot c - P_T \cdot d = 0. \quad (2.82)$$

Из второго уравнения определим реакцию почвы, приходящуюся на дополнительный мост

$$Y_{k3} = \frac{P \cdot b + P_T \cdot d + G_D \cdot c}{c}.$$

Из первого уравнения определим реакцию трактора на дополнительный мост

$$N_C = P + P_T - G_D + \frac{P \cdot b + P_T \cdot d + G_D \cdot c}{c},$$

или

$$N_C = P(b + c) + P_T(d + c). \quad (2.83)$$

Рассмотрим вторую часть конструкции – трактор (рис.2.17). На него действуют силы: вес трактора; вес сельскохозяйственной машины; реакции почвы на ведущее и направляющие колеса; реакция действия дополнительного моста на трактор (она равна по модулю и

противоположна по направлению реакции действия трактора на дополнительный мост).

Составим уравнения равновесия для выбранных трех положений точки С.

Точка С

$$\sum M_{O1} = 0; \quad -G \cdot a + N_C \cdot a + Y_{k1} \cdot L + G_M \cdot l = 0.$$

$$\sum M_{O2} = 0; \quad G_M \cdot (l + L) + G \cdot (L - a) - N_C \cdot (L - a) - Y_{k1} \cdot L = 0.$$

Определим реакции  $Y_{k1}$  и  $Y_{k2}$

$$Y_{k1} = \frac{G_M \cdot (l + L) + G \cdot (L - a) - N_C \cdot (L - a)}{L}, \quad (2.84)$$

$$Y_{k2} = \frac{G \cdot a - G_M \cdot l - N_C \cdot a}{L}. \quad (2.85)$$

Точка С'

$$\sum M_{O1} = 0; \quad G_M \cdot l + N_{C'} \cdot a_1 - G \cdot a + Y'_{k2} \cdot L = 0.$$

$$\sum M_{O2} = 0; \quad G_M \cdot (l + L) - Y'_{k1} \cdot L - N_{C'} \cdot (L - a_1) + G \cdot (L - a) = 0.$$

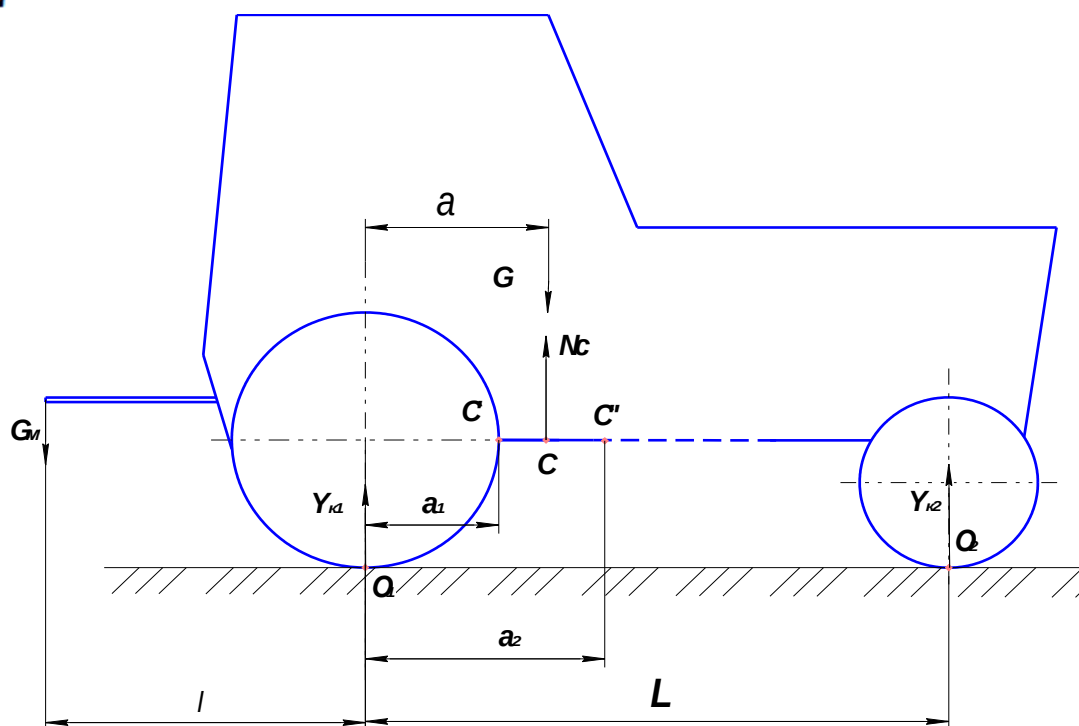


Рис. 2.17. Схема действия сил на трактор:

$G$  – полный вес трактора;  $G_M$  – вес сельскохозяйственной машины;  $Y_{k1}$  и  $Y_{k2}$  – реакции почвы на ведущее и направляющие колеса;  $N_C$  – реакция воздействия трактора на дополнительный мост;  $a$  – координата центра тяжести трактора  $L$  – продольная база трактора;  $l$  – расстояние от геометрической оси ведущего колеса до веса сельскохозяйственной машины;  $a_1$  и  $a_2$  – расстояния от геометрической оси ведущего колеса до точками приложения воздействия дополнительного моста на трактор  $C'$  и  $C''$ .

Определим реакции  $Y_{k1}$  и  $Y_{k2}$

$$Y'_{k1} = \frac{G_M \cdot (l+L) + G \cdot (L-a) - N_{C'} \cdot (L-a_1)}{L}, \quad (2.86)$$

$$Y'_{k2} = \frac{G \cdot a - G_M \cdot l - N_{C'} \cdot a_1}{L}. \quad (2.87)$$

Точка  $C''$

$$\sum M_{O1} = 0; \quad G_M \cdot l + N_{C''} \cdot a_2 - G \cdot a + Y''_{k2} \cdot L = 0.$$

$$\sum M_{O2} = 0; \quad G_M \cdot (l+L) - Y''_{k1} \cdot L - N_{C''} \cdot (L-a_2) + G \cdot (L-a) = 0.$$

Определим реакции  $Y''_{k1}$  и  $Y''_{k2}$

$$Y''_{k1} = \frac{G_M \cdot (l+L) + G \cdot (L-a) - N_{C''} \cdot (L-a_2)}{L}, \quad (2.88)$$

$$Y''_{k2} = \frac{G \cdot a - G_M \cdot l - N_{C''} \cdot a_2}{L}. \quad (2.89)$$

Проанализировав выражения 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, и предполагая, что  $N_C = N_{C'} = N_{C''}$ , а так же согласно уравнению 2.19 можно сделать следующий вывод, что при смещении точки приложения  $N_C$  назад ведущее колесо разгружается, переднее догружается. При перемещении точки вперед загружается ведущее колесо, переднее разгружается.

Более наглядно влияние точки действия между мостами трактора для перераспределения сцепного веса приведено на рисунке 2.18.

$Y_k$

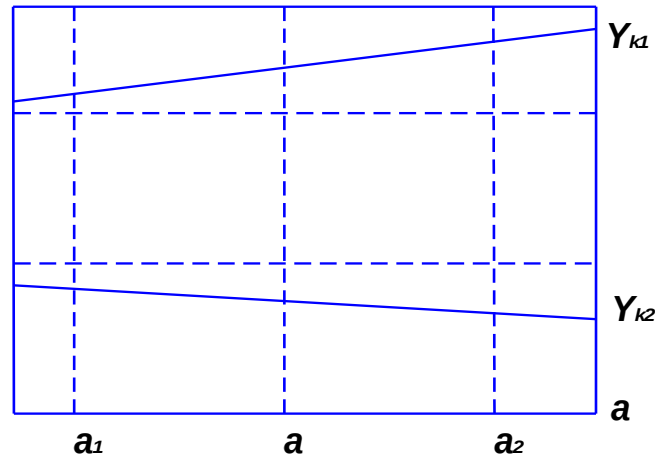


Рис. 2.18. Влияние точки расположения воздействия дополнительного моста на трактор для перераспределения сцепного веса:

$Y_{k1}$  и  $Y_{k2}$  нормальные реакции ведущего и ведомого колес;  $a$  - расстояние между центром тяжести трактора и задним ведущим колесом;  $a_1$  и  $a_2$  - расстояния между нормальной реакцией ведущего колеса и точками приложения воздействия дополнительного моста на трактор  $C'$  и  $C''$ .

Таким образом, из рисунка 2.18 видно, что изменение точки расположения воздействия дополнительного моста на трактор ( $C, C', C''$ .) позволяет влиять на перераспределение сцепного веса между мостами трактора.

Для соблюдения стабильной поперечной устойчивости необходимо, чтобы время подъема навесной сельскохозяйственной машины было равно времени перемещения подвижной точки  $C$ . Рассмотрим силы, действующие в продольном направлении (рис. 2.19).

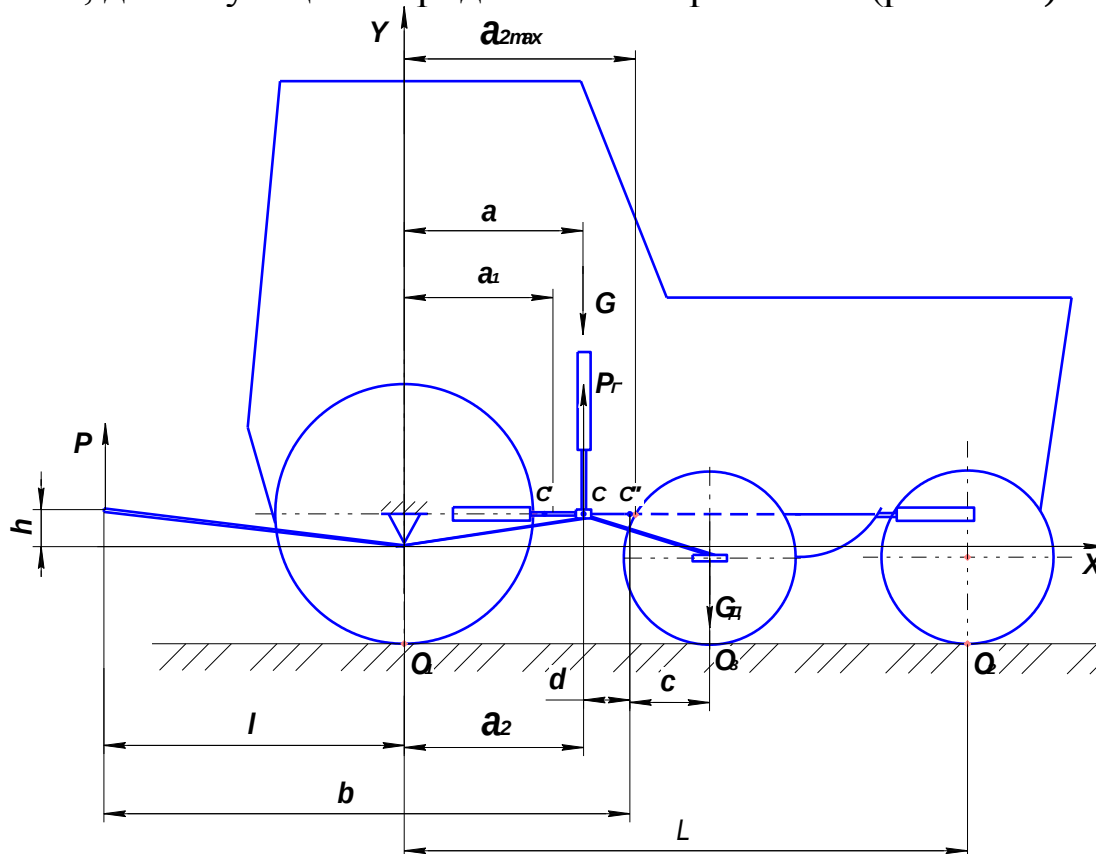


Рис 2.19.

Силы, действующие на трактор в продольном направлении

$P$  - приложенное усилие для перераспределения сцепного веса;  $P_{Г}$  усилие гидроцилиндра;  $G_{д}$  - вес дополнительного ведущего моста;  $G$  - полный вес трактора;  $h$  - вертикальное перемещение приложенного усилия для перераспределения сцепного веса;  $a$  - координата центра тяжести трактора;  $a_1$  - расстояние между подвижной точкой  $C'$  и геометрической осью ведущего моста;  $a_2$  - расстояние между подвижной точкой  $C$  и геометрической осью ведущего моста;  $L$  - продольная база трактора;  $b$  - расстояние между точкой  $C''$  и вертикальным перемещением приложенного усилия для перераспределения сцепного веса;  $c$  - расстояние между геометрической осью дополнительного моста и точкой  $C''$ ;  $d$  - расстояние между точками  $C'$  и  $C''$ ;  $l$  - расстояние между геометрической осью ведущего моста и вертикальным перемещением приложенного усилия для перераспределения сцепного веса.

Для определения времени подъема необходимо знать расстояние которое проходит точка  $C$

$$C'C'' = a_{2max} - a_1. \quad (2.90)$$

Известно, что перераспределение веса трактора на передние колеса составляет примерно  $1/3$  полного веса трактора, опрокидывание происходит при условии

$$Y_{k2_{устойч}} \leq 0,2 Y_{k2}.$$

Предположим, что  $Y_{k2} \approx \frac{1}{3}G$ , тогда при разгрузке передних колес максимальное расстояние  $a_{2max}$  определяется из уравнения (9)

$$Y''_{k2} = \frac{1}{15}G,$$

$$G_M \cdot l + \frac{1}{15}G \cdot L - G \cdot a + N_{C''}a_{2max} = 0,$$

или

$$a_{2max} = \frac{G(a - \frac{1}{15}L) - G_M l}{P(b+c) + P_\Gamma(d+c)}. \quad (2.91)$$

Из кинематики, при равномерном движении, определим время

$$\frac{h}{v} = \frac{a_{2max} - a_1}{v_C}$$

или

$$v_C = \frac{v \cdot (a_{2max} - a_1)}{v}. \quad (2.92)$$

Введем замену

$$\left. \begin{aligned} h &= f(y) \text{ и } S_C = f(x); \\ v_C &= \frac{dS_C}{dt} = \frac{dx}{dt} \text{ и } v = \frac{dh}{dt} = \frac{dy}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2.93)$$

Уравнение (2.28) с учетом выражений (2.29) примет вид

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dt} (a_{2max} - a_1), \quad (2.94)$$

Преобразуем уравнение (2.30), умножив его на  $dt$

$$dx = \frac{dy}{y} \left[ \frac{G(a - \frac{1}{15}L) - G_M l}{P(b+c) + P_\Gamma(d+c)} - a_1 \right]. \quad (2.95)$$

Интегрируем уравнение (2.31), для левой части берем пределы от  $a_1$  до  $(a_{2max} - a_1)$ , для правой части от  $0$  до  $h$

$$x|_{a_1}^{a_{2max}} = \left[ \frac{G(a - \frac{1}{15}L) - G_M l}{P(b+c) + P_\Gamma(d+c)} - a_1 \right] \ln h \Big|_0^h \quad (2.96)$$

Решая уравнение (2.96) получим следующую зависимость:

$$a_{2max} = \left[ \frac{G(a - \frac{1}{15}L) - G_M l}{P(b+c) + P_\Gamma(d+c)} - a_1 \right] \ln h - \left[ \frac{G(a - \frac{1}{15}L) - G_M l}{P(b+c) + P_\Gamma(d+c)} - a_1 \right] \ln 0. \quad (2.97)$$

В уравнении (2.97) рассмотрен  $\ln 0$ , который не существует, поэтому вводим значение  $m$ , бесконечно малое положительное число, близкое к 0 и решаем его через предел

$$\lim_{m \rightarrow 0} m \approx 0$$

или бесконечно малое положительное число. С учетом вышеизложенного решим уравнение (2.97)

$$a_{2max} = \left[ \frac{G(a - \frac{1}{15}L) - G_M \cdot l}{P(b+c) + P_T(d+c)} - a_1 \right] \ln h. \quad (2.98)$$

Таким образом, для обеспечения продольной устойчивости максимальное значение длины перемещения точки  $C$  можно определить с помощью уравнения (2.98).

### 2.6.2 Влияние дополнительного ведущего моста на величину буксования

Касательная сила тяги ведущих колес любого энергетического средства создается в пятне контакта колеса с почвой на расстоянии радиуса колеса от его оси. Касательная сила тяги «по сцеплению» с почвой – это наибольшее значение реакции почвы, соответствующее крутящему моменту, который подводится к движителю энергетического средства от двигателя и в общем случае может определяться по выражению [77,129,145]

$$P_k = \varphi_{сц} \times Y_k, \quad (2.99)$$

где  $\varphi_{сц}$  – коэффициент использования сцепного веса;  $Y_k$  – сцепной вес трактора, Н.

Коэффициент использования сцепного веса можно определить по формулам

для *серийного* трактора

$$\varphi_{сц}^c = \frac{P_k^c}{Y_k^c}, \quad (2.100)$$

где  $Y_k^c$  – сцепной вес серийного трактора, Н;  $P_k^c$  – касательная сила тяги серийного трактора;

для *экспериментального* трактора

$$\varphi_{сц}^э = \frac{P_k^э}{Y_k^c + Y_k^д}, \quad (2.101)$$

где  $Y_k^д$  – сцепной вес, приходящийся на дополнительный мост, Н;  $P_k^э$  – касательная сила тяги экспериментального трактора.

При сравнении формул 2.100 и 2.101 видно, что коэффициент использования сцепного веса у экспериментального трактора с дополнительным мостом меньше, чем серийного трактора.

Буксование любого энергетического средства можно определить по формуле предложенной профессором И.И. Трепененковым [145]

$$\delta = \frac{0,248\varphi_k}{1-3.077\varphi_k^3}, \quad (2.102)$$

где  $\varphi_k$  – коэффициент использования сцепного веса.

С учетом ранее полученных формул выражение 2.102 по определению величины буксования можно представить следующим образом:

для *серийного* трактора

$$\delta^c = \frac{0,248 \times \frac{P_k^c}{Y_k^c}}{1-3.077 \left( \frac{P_k^c}{Y_k^c} \right)^3}, \quad (2.103)$$

для *экспериментального* трактора (с дополнительным ведущим мостом)

$$\delta^3 = \frac{0,248 \times \frac{P_k^3}{Y_k^c + Y_k^d}}{1-3.077 \left( \frac{P_k^3}{Y_k^c + Y_k^d} \right)^3}. \quad (2.104)$$

Анализируя полученные выражения (2.103) и (2.104) можно отметить, что постановка дополнительного моста позволяет снизить величину буксования по сравнению с серийным трактором. Это в свою очередь позволит увеличить рабочую скорость движения и как следствие величину производительности машинно-тракторного агрегата.

### 2.6.3 Влияние дополнительного ведущего моста трактора на величину производительности

Как было сказано ранее, снижение величины буксования повышает рабочую скорость движения, которая на прямую влияет на величину производительности [3,54,113,150,174,175,178,180]

$$W = \left( \frac{\vartheta \times J}{L \times V_m (1-\delta) \vartheta t_{пр}} \right) m_{прс} V_m (1 - \delta), \quad (2.105)$$

где  $m_{прс}$  – масса прицепного состава, кг;  $\vartheta$  – коэффициент использования пробега;  $J$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $L_p$  – длина ездки, км;  $V_m$  – теоретическая скорость, м/с;  $\delta$  – величина буксования;  $t_{пр}$  – время движения, с.

Используя полученные в предыдущем параграфе формулы (2.103) и (2.37), позволяющие определить величину буксования для трактора серийного и с дополнительным ведущим мостом, решая совместно ранее полученные формулы (2.36-2.38) получим величину производительности

для серийного трактора

$$W^c = \left( \frac{\vartheta \times J}{L_p \times V_m \left( \frac{0,248 \frac{P_k^c}{Y_k^c}}{1 - \frac{0,248 \frac{P_k^c}{Y_k^c}}{1 - 3,077 \left( \frac{P_k^c}{Y_k^c} \right)^3}} \right)^{\vartheta t_{пр}}} \right) m_{прс} V_m \left( 1 - \frac{0,248 \frac{P_k^c}{Y_k^c}}{1 - 3,077 \left( \frac{P_k^c}{Y_k^c} \right)^3} \right). \quad (2.106)$$

Для трактора с дополнительным ведущим мостом  $W^3 =$

$$\left( \frac{\vartheta \times J}{L_p \times V_m \left( \frac{0,248 \frac{P_k^3}{Y_k^c + Y_k^д}}{1 - \frac{0,248 \frac{P_k^3}{Y_k^c + Y_k^д}}{1 - 3,077 \left( \frac{P_k^3}{Y_k^c + Y_k^д} \right)^3}} \right)^{\vartheta t_{пр}}} \right) m_{прс} V_m \left( 1 - \frac{0,248 \frac{P_k^3}{Y_k^c + Y_k^д}}{1 - 3,077 \left( \frac{P_k^3}{Y_k^c + Y_k^д} \right)^3} \right). \quad (2.107)$$

Анализируя полученные зависимости, необходимо отметить, что теоретическая производительность у машинно-тракторного агрегата с дополнительным ведущим мостом выше, чем производительность серийного машинно-тракторного агрегата. Более наглядно это можно проследить по номограмме (рис.2.20).

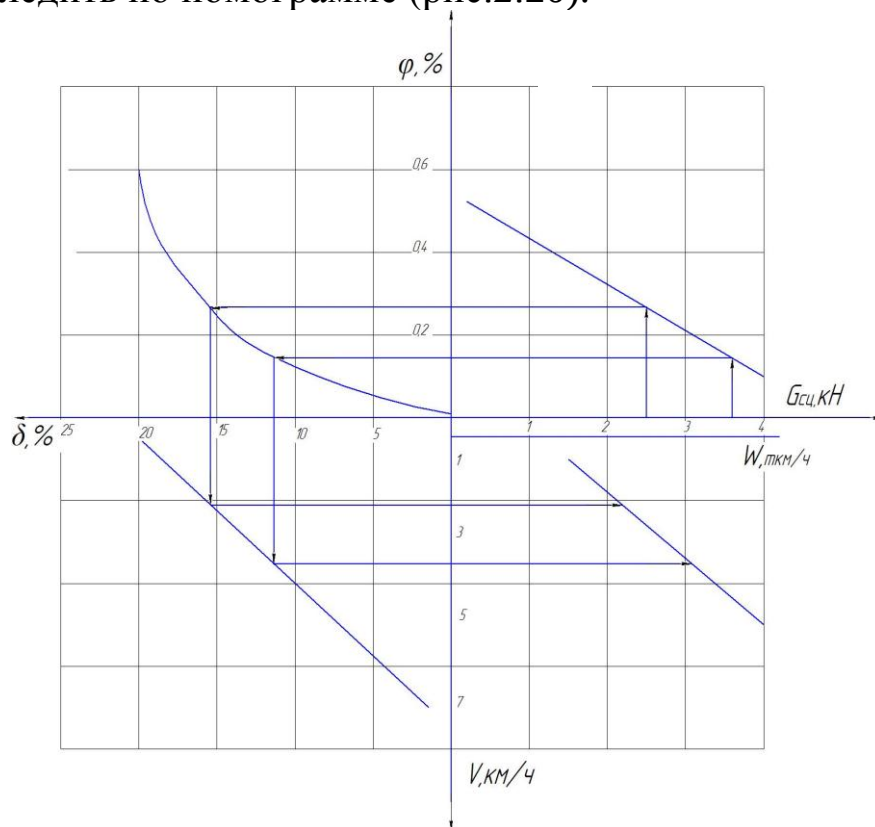


Рис. 2.20. Номограмма для определения влияния сцепного веса на величину производительности ТТА

## 2.7 Влияние дополнительного моста прицепа на производительность транспортного агрегата

Производительность транспортного агрегата на транспортных работах зависит от параметров характеризующий данный технологический процесс. В работе [46] производительность транспортного агрегата определяется по формуле

$$W = \left( \frac{\lambda \cdot j}{L + V_p \cdot \lambda \cdot t_{np}} \right) \cdot m_{nrc} \cdot V_p, \quad (2.108)$$

где  $m_{nrc}$  – масса прицепного состава, т;  $\lambda$  – коэффициент использования пробега;  $j$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $L$  – длина ездки, км.

Анализ формулы (2.108) показывает, что если сравнить работу двух агрегатов в равных условиях, то есть величины  $L, \lambda, j, t_{np}$  брать одинаковыми, то производительность транспортного агрегата во многом будет зависит от других параметров: скорости движения и массы перевозимого груза, то есть массы прицепного состава. Использование колесных тракторных поездов на почвах с низкой несущей способностью с целью снижения техногенного воздействия на почву, лучше всего идти по пути снижения величины буксования ведущих колес трактора, что наглядно видно, если формулу (2.108) представить следующим образом:

$$W = \left( \frac{\lambda \cdot j}{L \cdot V_m \cdot (1 - \delta) \cdot \lambda \cdot t_{np}} \right) \cdot m_{nrc} \cdot V_m \cdot (1 - \delta). \quad (2.109)$$

Как показали ранее полученные теоретические зависимости, использование на транспортных работах колесных тракторов с активным ведущим мостом прицепа, дает возможность повышать касательную силу тяги агрегата. Анализ зависимостей (2.106 и 2.107) показывает, что величина буксования во многом зависит также от касательной силы тяги. Более наглядно данная зависимость представлена на рисунке 2.21.

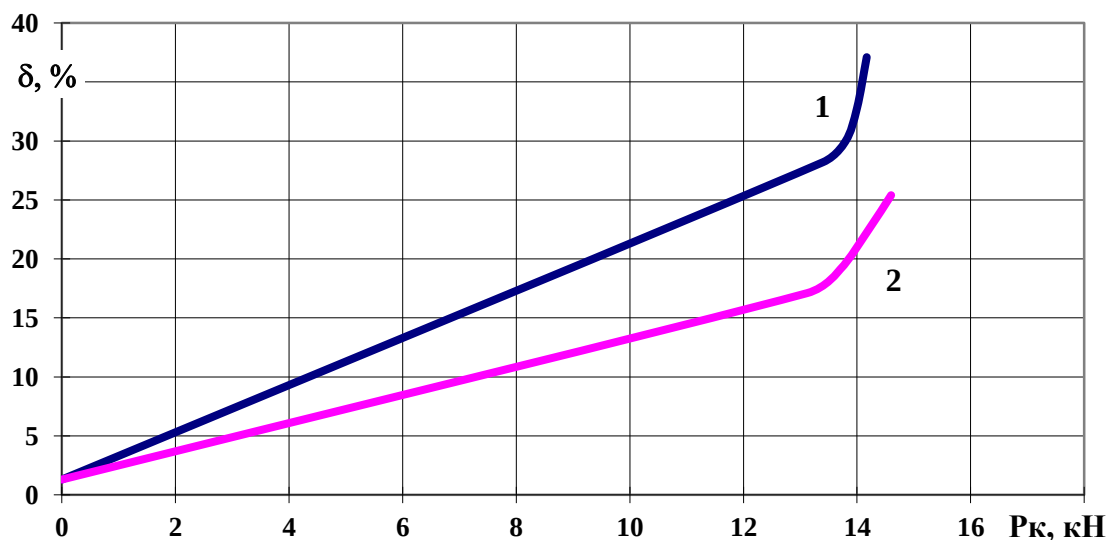


Рис.2.21. Теоретическая зависимость величины буксования от касательной силы тяги: 1 – с серийным прицепом; 2 – с экспериментальным прицепом.

Из полученной графической зависимости  $\delta = f(P_k)$  видно, что с увеличением тягового усилия буксование возрастает, как для трактора с серийным прицепом, так и для трактора с прицепом, имеющим активный ведущий мост. Причем интенсивность возрастания величины буксования у трактора с серийным прицепом больше, чем у трактора с прицепом, имеющим активный ведущий мост. Например, при тяговом усилии  $P_{kp}=14$  кН буксование у серийного прицепа  $\delta=33\%$ , у экспериментального варианта  $\delta=21\%$ , то есть буксование уменьшается практически на 50%.

Таким образом, использование прицепа с активным ведущим мостом, особенно для почв с низкой несущей способностью, позволяет повысить рабочую скорость движения, а, следовательно, и производительность транспортных агрегатов. Более наглядно вышесказанное можно представить на диаграмме (рис. 2.22).

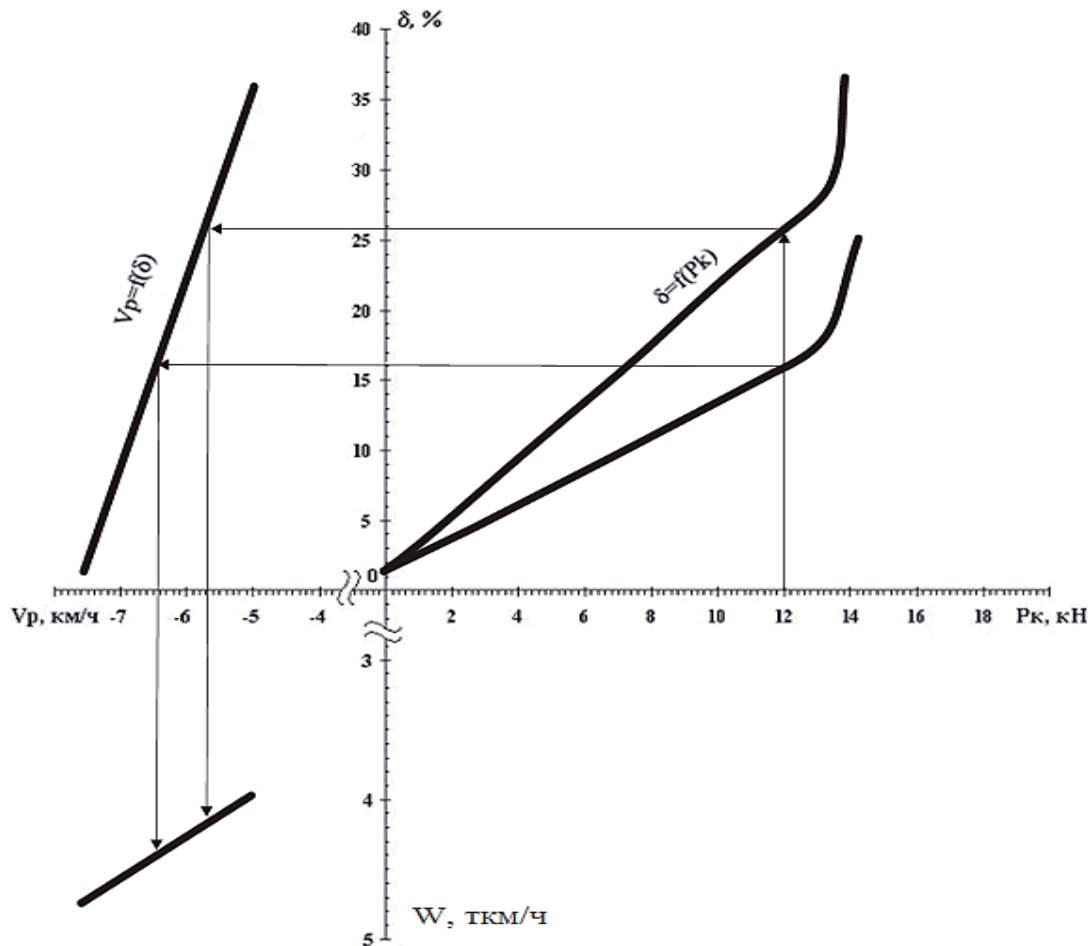


Рис.2.22. Номограмма для определения производительности транспортного агрегата на транспортных работах

При построении диаграммы воспользуемся формулой (2.109), при этом примем следующие значения постоянных величин:

- длина ездки,  $L = 1,0$  км;
- коэффициент использования пробега,  $\lambda = 0,5$ ;
- грузоподъемность тракторного поезда,  $m_{nrc} = 4$ , т;
- коэффициент использования грузоподъемности,  $j = 0,9$ ;
- время простоя тракторного поезда на погрузочно-разгрузочных операциях,  $t_{np} = 0,5$  ч.

Как видно из номограммы (рис. 2.22.) использование прицепа с активным ведущим мостом позволяет повысить производительность при одном и том же тяговом усилии. Так при тяговом усилии 12 кН величина буксования у экспериментального транспортного агрегата составляет 16,1%, скорость 6,4 м/с, производительность 4,4 т км/ч, а у серийного соответственно 26%, 5,8 м/с, 4,17 т км/ч.

## **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1 Задачи экспериментальных исследований**

Для подтверждения полученных во второй главе аналитических зависимостей необходимо проведение экспериментальных исследований. Это позволит подтвердить достоверность аналитических исследований. С этой целью были поставлены следующие задачи экспериментальных исследований:

1. Экспериментально установить процесс перераспределения сцепного веса между мостами трактора.
2. Исследовать тягово-сцепные свойства трактора с дополнительным ведущим мостом
3. Определить влияние дополнительного ведущего моста трактора на производительность.
4. Установить влияние ведущего моста прицепа на тягово-сцепные качества трактора.
5. Определить производительность колесного трактора класса 1,4 с ведущим мостом прицепа на транспортных работах.
6. Исследовать техногенное воздействие на почву многоосного энергетического средства на почву.
7. Провести топливно-энергетическую оценку использования многоосных энергетических средств.

### **3.2 Общая методика проведения экспериментальных исследований**

При проведении экспериментальных исследований различают два основных случая:

- проведение в лабораторных условиях;
- проведение в реальных условиях эксплуатации.

Каждый из вышеназванных способов имеет свои преимущества и недостатки. При исследовании сельскохозяйственных процессов наиболее приемлемым способом проведения экспериментальных исследований считается в реальных условиях эксплуатации. Это объясняется тем, что любой сельскохозяйственный процесс обуславливается постоянно изменяющимися внешними воздействиями, обусловленными многочисленными и разнообразными факторами:

- физико-механическими свойствами почвы;

- неровностью поверхности поля;
- физико-механическими свойствами растений;
- свойствами транспортируемых и перерабатываемых материалов и т.д.

Все вышеназванные факторы, как правило, имеют переменную величину по времени и оказывают большое влияние на эксплуатационные показатели работы машинно-тракторных агрегатов (МТА), это в свою очередь определяет и существенно влияет на энергетические затраты МТА.

### 3.3 Объекты и условия проведения экспериментальных исследований

При исследовании любого МТА необходимо рассматривать его изменения на входные внешние возмущения и управляющие воздействия. С этой целью при проектировании любой машины за основу принимается схема, работающая по принципу «вход-выход». При этом в данной схеме обязательно должны учитываться связи между входными и выходными переменными, а также динамика их прохождения и преобразования.

В общем случае любое энергетическое средство может быть представлено в виде следующей схемы (рис.3.1).

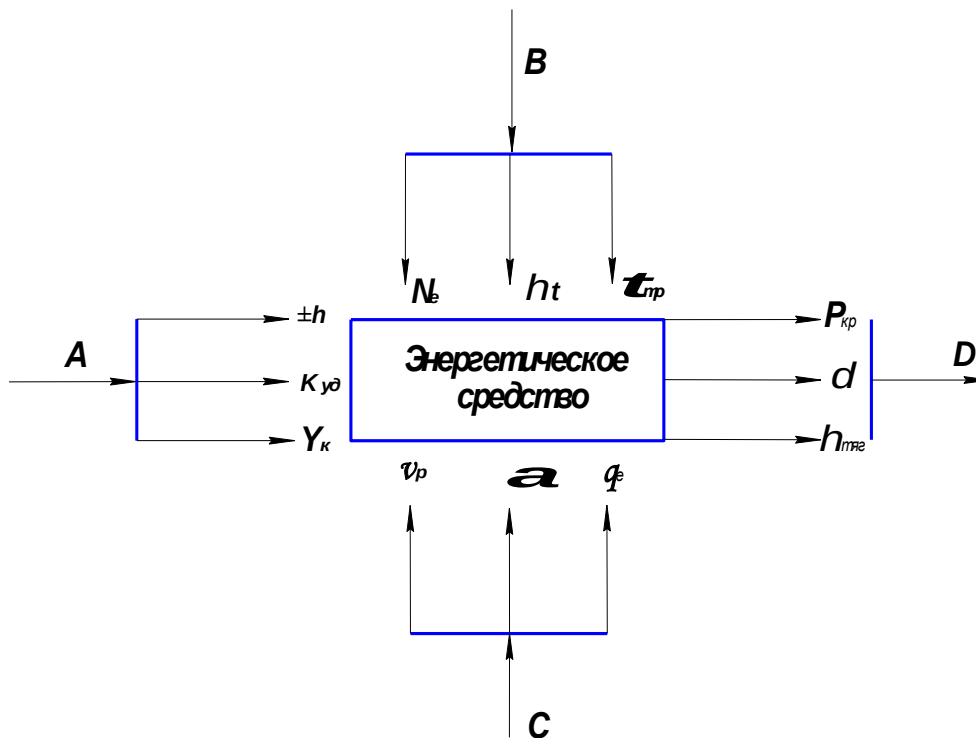


Рис.3.1. Расчетная схема энергетического средства

$A$  – внешнее возмущение ( $h$  – неравномерность высоты поверхности поля;  $K_{уд}$  – сопротивление среды;  $Y_k$  – реакция почвы на ходовую часть и др.);  $B$  – внутренние связи ( $N_e$  – эффективная мощность двигателя,  $\eta_t$  – к.п.д. трансмиссии,  $\tau_{тр}$  – ходовая часть и т.д.);  $C$  – управляющие связи ( $V_p$  – скорость движения,  $a$  – повороты руля,  $q_e$  – расход топлива и т.д.);  $D$  – выходные переменные ( $P_{кр}$  – тяговое усилие,  $\delta$  – буксование,  $\eta_{тяг}$  – тяговый к.п.д., направление движения и т.д.).

Необходимо отметить, что все вышеперечисленные связи являются переменными, поэтому расчетная модель любого МТА является, как правило, динамической.

Объектами исследования были выбраны следующие тракторы:

1. МТЗ-82 серийный (рис.3.1).
2. МТЗ-80 с дополнительным ведущим мостом (рис.3.2).
3. Прицеп 2-ПТС-4 серийный.
4. Прицеп 2-ПТС-4 с передним ведущим мостом (Рис. 3.3).

При выполнении различных транспортных работ трактор комплектовался серийным прицепом 2-ПТС-4, обычно используемым в Амурской области. Кроме этого был использован модернизированный прицеп с ведущим мостом от автомобиля ГАЗ-66 (рис. 3.3). Крутящий момент от вала отбора мощности к ведущему мосту прицепа передается через редуктор обгонной муфты, установленный на дышле прицепа (рис. 3.4).

При выполнении различных работ трактор комплектовался набором с.-х. машин, обычно используемых в технологии возделывания с.-х. культур Амурской области. Для перераспределения сцепного веса на трактор было установлено устройство (рис. 3.5, 3.6), которое состоит из двух гидроцилиндров, передающего устройства (полуэллиптической рессоры), соединительных гидравлических шлангов, дополнительного ведущего моста, манометра и элементов конструкции.

Работает данное устройство следующим образом. В транспортном положении за счет первого гидроцилиндра дополнительный мост вывешивается в транспортное положение, и трактор совершает движение без дополнительного ведущего моста. В условиях недостаточных сцепных свойств трактора, ведущий дополнительный мост получал вращение от коробки передач трактора (рис. 3.7) и при помощи первого гидроцилиндра опускается на опорную поверхность. Для обеспечения перераспределения сцепного веса между передним мостом и дополнительным мостом трактора во второй гидроцилиндр

подается гидравлическая жидкость под давлением и через передающее устройство часть веса передается на дополнительный мост.



Рис.3.1. Трактор МТЗ-80 серийный



Рис.3.2. Трактор класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом

В настоящее время для повышения эффективности использования МТА нашли применение комбинированные агрегаты, а также агрегаты с большей шириной захвата. Это позволяет повысить производительность МТА и снизить техногенное воздействие на почву. Наряду с этим все вышеназванные способы повышения эффективности использования МТА влекут за собой увеличения веса самой машины. При выполнении основных с.-х. работ, когда машина находится в рабочем положении, основной ее вес приходится на опорные колеса самой машины. При переездах или изменении направлении движения, то есть, когда машина находится в транспортном положении, вес машины приходится в основном на задние колеса. В этом случае возникает момент, который стремится перевернуть трактор относительно точки опоры задних колес трактора. Для устранения этого недостатка применяют дополнительное балластирование за счет установки грузов на переднюю часть трактора. Увеличение таким образом веса, приходящегося на передние колеса, вызывает дополнительное техногенное воздействие на почву. Для устранения этого недостатка предлагается установить дополнительное устройство, позволяющее менять сцепной вес, приходящийся на задние колеса в транспортном положении (рис. 3.8). Предлагаемое устройство работает следующим образом. При подъеме навесной машины передающее устройство вместе с точкой воздействия на трактор 5 перемещается вперед за счет гидроцилиндра 3 и на него дополнительно воздействует усилие от гидроцилиндра 4, которое передается на дополнительный мост трактора. Таким образом происходит разгрузка заднего моста трактора и загрузка дополнительного моста. Это способствует повышению продольной устойчивости трактора при переездах.

Экспериментальные исследования проведены на предприятиях АПК. При этом выбирались горизонтальные участки с ровным микрорельефом и углом наклона не более двух градусов. Длина участка составила 800 - 1200 м, режим работы трактора – вторая-шестая передачи.



Рис. 3.3. Модернизированный прицеп 2-ПТС-4

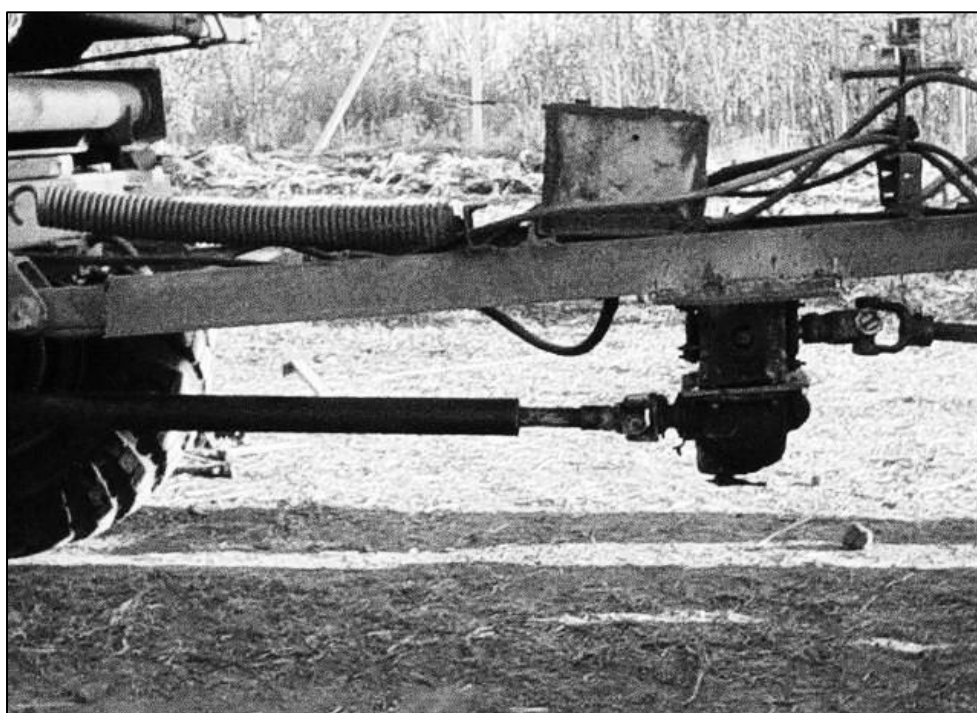


Рис.3.4. Привод ведущего моста прицепа 2-ПТС-4



Рис.3.5. Устройство для перераспределения сцепного веса (вид справа)



Рис.3.6. Устройство для перераспределения сцепного веса (вид слева)



Рис.3.7. Привод дополнительного ведущего моста

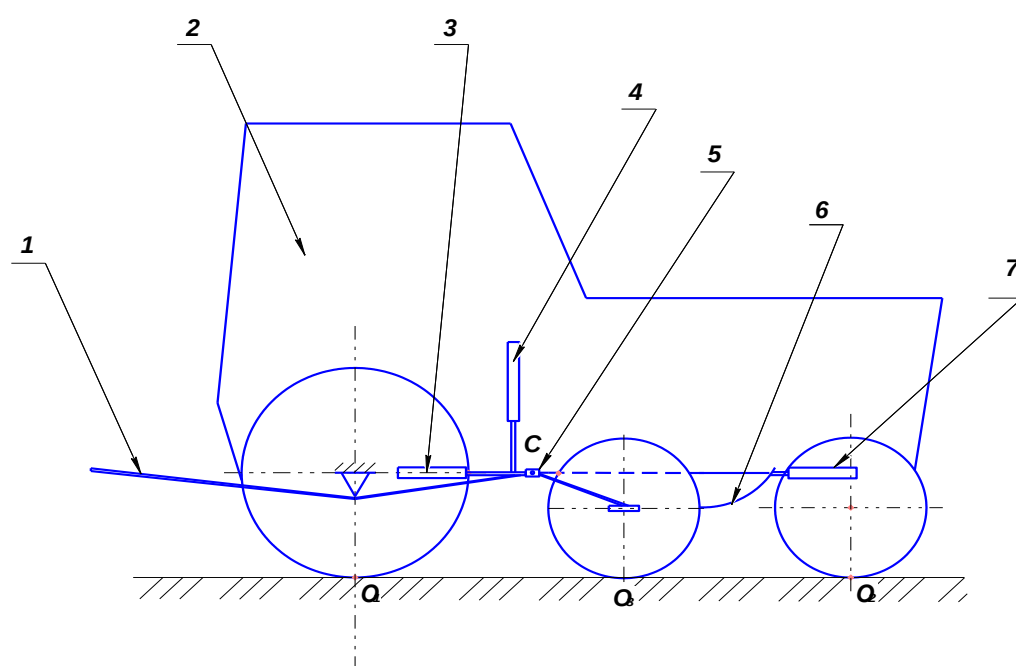


Рис. 3.8. Схема устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора с учетом веса навесной машины

1 – навесное оборудование; 2 – трактор; 3 – силовой гидроцилиндр, воздействующий на подвижную точку  $C$  в продольной плоскости; 4 – силовой гидроцилиндр, воздействующий на передающее устройство в продольной плоскости; 5 – точка воздействия передающего устройства на дополнительный мост и трактор;

тор; 6 – сдвоенная полуэллиптическая листовая рессора; 7 – горизонтальный гидроцилиндр для перераспределения сцепного веса между мостами трактора.

### 3.4 Средства измерений, тарировка тензометрических узлов

Для определения влияния дополнительно установленного моста на прицеп 2-ПТС-4 и перераспределения сцепного веса между мостами трактора на тягово-сцепные свойства в реальных условиях эксплуатации были проведены сравнительные тяговые испытания на заснеженной дороге (рис.3.9) и поле, подготовленном под посев (рис.3.10). При этом замерялись следующие параметры:

- частота вращения ведущих колес трактора (рис.3.11).
- тяговое усилие (рис.3.12);
- время опыта;
- пройденный путь (рис.3.13);

Измерение вышеназванных параметров проводилось тензометрической аппаратурой, смонтированной на тракторе (рис. 3.14).



Рис.3.9. Фрагмент тяговых испытаний на заснеженной дороге



Рис.3.10. Фрагмент тяговых испытаний в полевых условиях



Рис.3.11. Измерение частоты вращения ведущих колес трактора



Рис.3.12. Тензометрическое звено



Рис.3.13. Измерение пройденного пути



Рис.3.14. Измерительная аппаратура, смонтированная на тракторе

### 3.4.1 Измерение тягового усилия

При измерении тягового усилия на крюке трактора применяются динамографы (гидравлические и электрические динамографы), которые состоят из силового звена и регистрирующего устройства.

При тяговых испытаниях тракторов обычно используют электрические динамографы, у которых преобразование механических величин в электрические осуществляется посредством датчиков омического сопротивления.

Для измерения тягового усилия трактора использовалось тензометрическое звено (рис.3.12) и бортовой измерительный комплекс (рис. 3.15-3.17). Тензометрическое звено тарировалось перед началом и в конце испытаний (рис. 3.18).

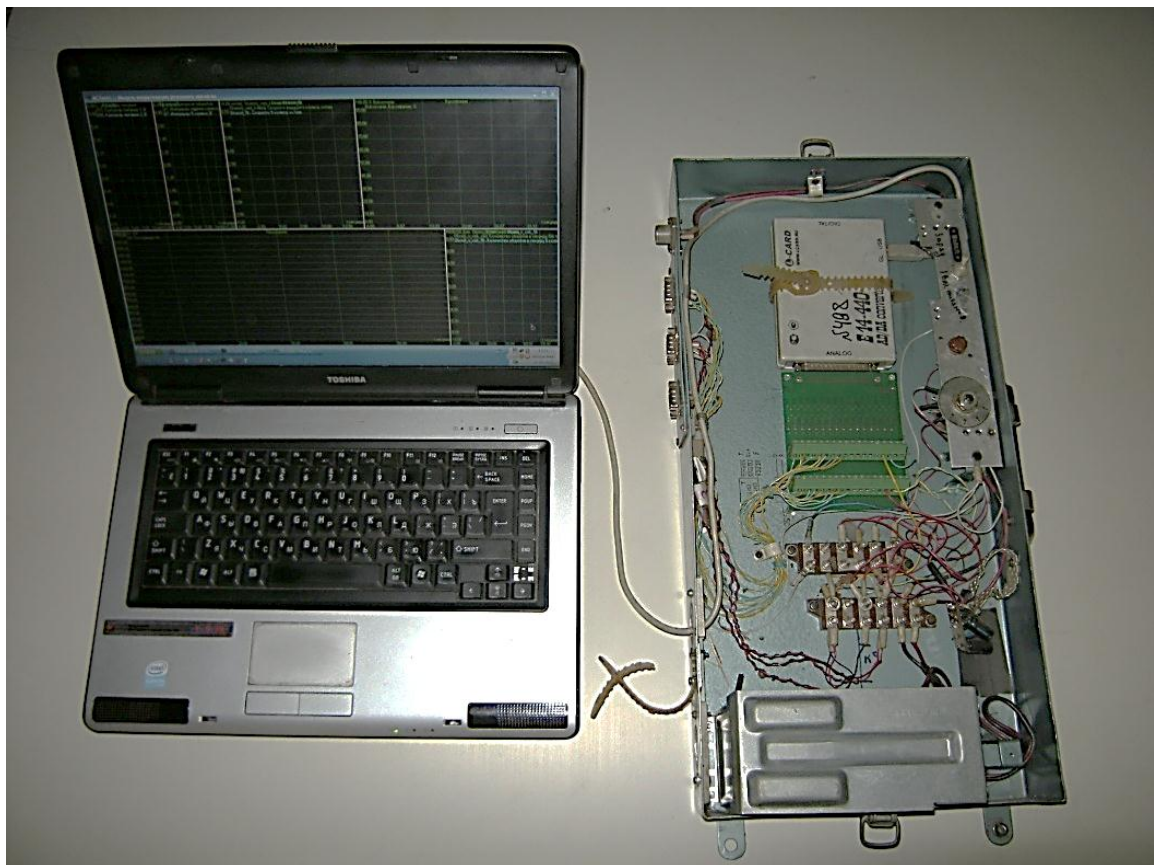


Рис.3.15. Бортовой измерительный комплекс

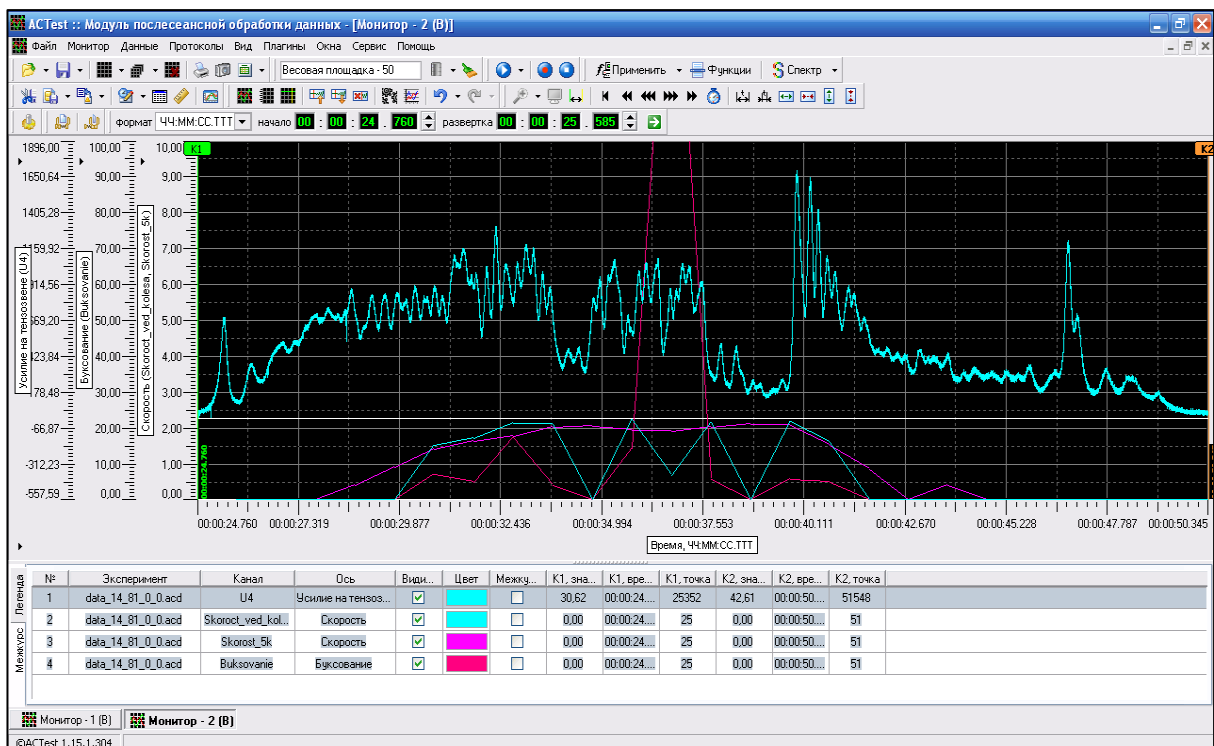


Рис.3.16. Окно измерительного комплекса

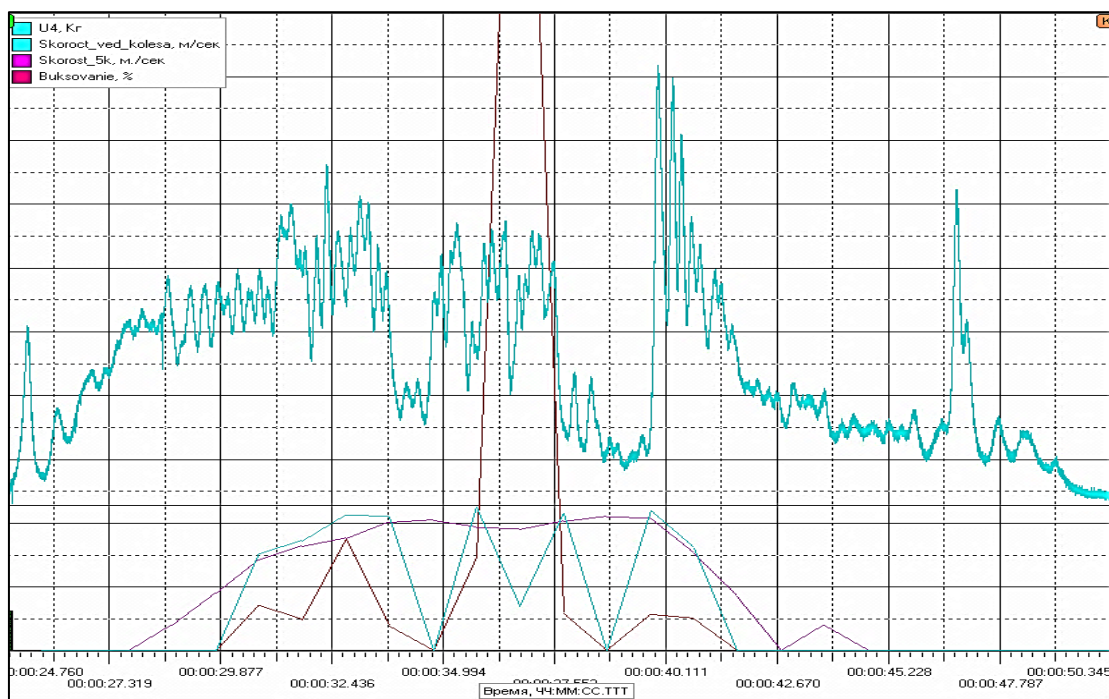


Рис 3.17. Образец записи полученных данных



Рис 3.18. Тарировка тензометрического звена

### 3.4.2 Измерение усилия на дополнительный ведущий мост

Измерение усилия на дополнительный ведущий мост осуществлялось с помощью манометра, включенного в гидросистему между распределителем трактора и силовым гидроцилиндром, установленным между передним управляемым мостом трактора и передающим звеном (полуэллиптическая рессора) (рис 3.19).

Гидроцилиндр соединен с силовой магистралью гидравлической системы трактора. Величина дополнительного усилия определялась по формуле

$$P_d = P_{\text{ц}} \cdot F, \quad (3.1)$$

где  $P_{\text{ц}}$  - давление в гидроцилиндре, Па;  $F$  – площадь поршня гидроцилиндра, м<sup>2</sup>.

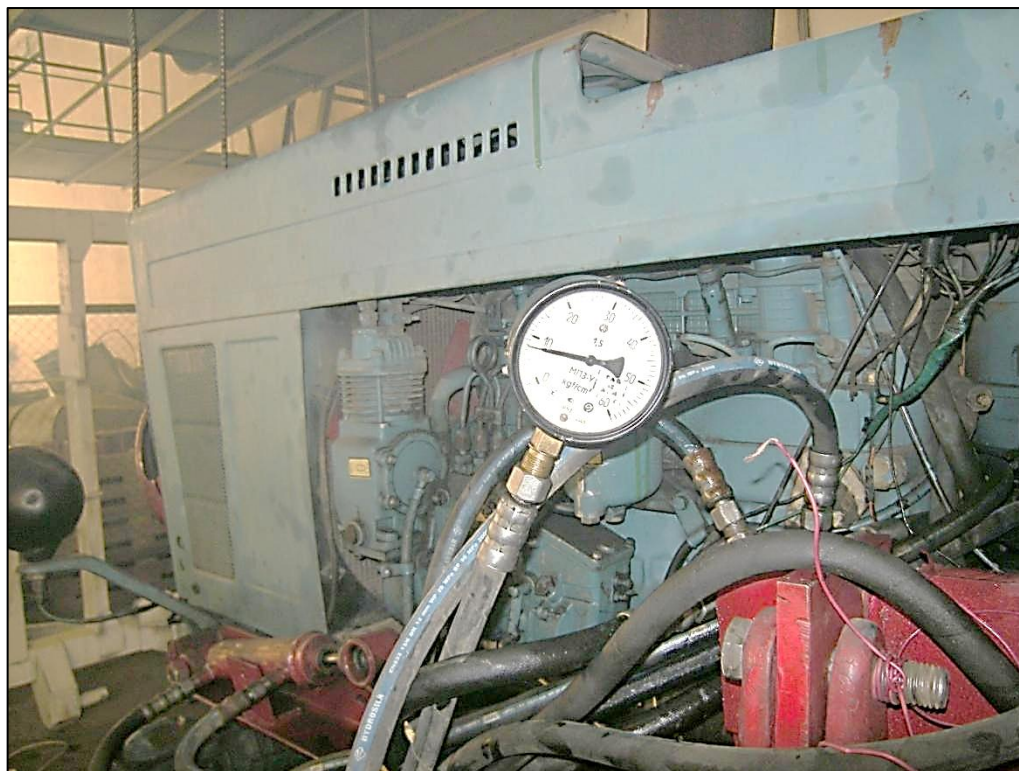


Рис. 3.19. Фрагмент измерения давления

### 3.4.3 Измерение дополнительной нагрузки на ведущие колеса трактора

Для определения дополнительной нагрузки, передающейся на ведущие колеса трактора, используются датчики давления, выполненные в форме низкого цилиндра (3.20,3.21), внутри которого наклеены тензорезисторы, соединенные в мостовую измерительную схему.

Сверху и снизу датчики закрыты мембранами жесткости, служащими для компенсации перепада давления при изменении температуры окружающей среды. Для соединения датчика давления с преобразователем сигналов в корпусе установлен разъем. Перед началом и в конце испытаний датчики давления тарировались (3.22).



Рис.3.20. Датчик давления

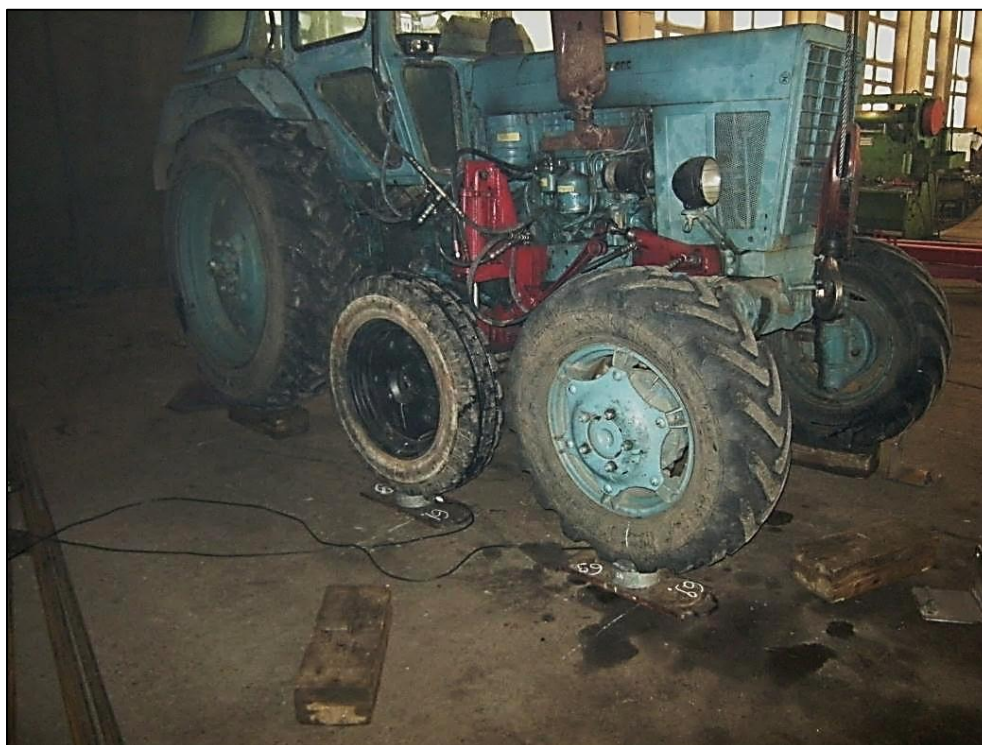


Рис.3.21. Фрагмент определения перераспределения сцепного веса между передним и дополнительным мостами трактора



Рис 3.22. Тарировка датчика давления

#### 3.4.4 Измерение частоты вращения ведущего колеса трактора

Измерение частоты вращения ведущего колеса трактора было осуществлено на основании методик, изложенных в работах [171,174,175,180] (рис.3.11).

Теоретическая скорость при этом определялась по формуле

$$V_T = \frac{2\pi \cdot r_k \cdot n_k}{t}, \quad (3.2)$$

где  $t$  – время опыта, с;  $r_k$  – динамический радиус качения ведущего колеса, м;  $n_k$  – частота вращения ведущего колеса трактора.

Определение динамического радиуса качения ведущего колеса осуществлялось следующим образом: трактор передвигался по горизонтальному участку поля в установившемся режиме холостого хода. При этом принималось два допущения:

- буксование ведущих колес отсутствует (отсутствие тяговой нагрузки);
- радиус качения ведущих колес при различных крюковых нагрузках остается постоянным.

Динамический радиус качения ведущих колес при этом определялся по формуле

$$r_k = \frac{L}{2\pi \cdot n_{xx}}, \quad (3.3)$$

где  $L$  – пройденный путь за опыт, км;  $n_{xx}$  – количество оборотов ведущих колес трактора при холостом ходе на длине мерного гона.

### 3.4.5 Измерение пройденного пути и буксования трактора

Пройденный путь определялся с помощью датчика установленного на ведомое колесо трактора (рис. 3.13).

На ступице колеса было смонтировано бесконтактное устройство, позволяющее за каждый оборот колеса восемь раз размыкать электрическую цепь, что фиксировалось регистрирующим устройством.

Пройденный путь за опыт определялся по формуле

$$L = 2\pi \cdot r'_k \cdot n, \quad (3.4)$$

где  $r'_k$  – радиус качения путеизмерительного колеса, м;  $n$  – число оборотов путеизмерительного колеса.

Количество оборотов ведущего колеса определялось по формуле

$$n = NI / 8, \quad (3.5)$$

где  $NI$  – количество импульсов по счетчику.

Рабочая скорость находилась по формуле

$$V_P = \frac{L}{t}. \quad (3.6)$$

Буксование ведущих колес трактора определялась по формуле

$$\delta = \frac{V_T - V_P}{V_T}. \quad (3.7)$$

## 3.5 Методика определения физико-механических характеристик почвы

Физико-механические свойства почвы определялись в соответствии с методикой разработанной ВИМ [84]. При этом замерялись следующие показатели: влажность, твердость, объемный вес (плотность почвы).

### 3.5.1 Определение влажности почвы

Относительная влажность почвы определялась по общепринятой методике [84].

Пробы почвы на влажность отбирались буром, по диагонали участка в пятикратной повторности. Влажность почвы определялась по среднему образцу в горизонте от 0-10 см.

Отобранная почва массой 30-40 г высушивалась в специальном шкафу, и по разнице массы почвы до и после сушки определяли количество влаги, содержащейся в отобранной почве.

### 3.5.2 Определение твердости почвы

Определение твердости почвы проводилось с помощью конструкции Ю.Н. Ревякина. В грунт вдавливался наконечник определенной площади, диаграмма твердости почвы записывается на бумагу регистрирующим устройством. Твердость почвы определяется по формуле [128]

$$H_P = 10^{-2} \cdot h_{\text{ср}} \cdot \frac{\mu_p}{S_p}, \quad (3.8)$$

где  $h_{\text{ср}}$  - средняя ордината диаграммы твердости, ;  $\mu_p$  - масштаб пружины твердомера;  $S_p$  - площадь поперечного сечения вдавливаемого в почву плунжера наконечника,  $\text{м}^2$ .

### 3.5.3 Определение объемного веса (плотности почвы)

Объемный вес (плотность почвы) определялся методом режущего цилиндра, который вдавливается в почву. Объемный вес (плотность почвы) равен

$$\rho = \frac{g_1 - g_2}{V}, \quad (3.9)$$

где  $g_1$  - вес цилиндра с почвой;  $g_2$  - вес цилиндра без почвы;  $V$  - объем цилиндра.

Степень уплотнения почвы после прохода по ней движителя определялась по формуле

$$Y = \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad (3.10)$$

где  $\rho_1$  - объемный вес (плотность почвы) после прохода трактора;  $\rho_2$  - объемный вес (плотность почвы) до прохода трактора.

### 3.6 Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний

Показателем эффективности применения новой техники является повышение производительности труда. Для определения эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов с трактором, имеющим дополнительный ведущий мост и устройство для перераспределения сцепного веса между его мостами, были проведены сравнительные хозяйственные испытания в естественных условиях применения ТТА в Амурской области. Испытания проводились методом хронометражных наблюдений.

Основными эксплуатационно-технологическими показателями являются:

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

Первичными показателями, регистрируемыми при испытании, являются:

- время основной работы; затраты времени работы машины по элементам;
- размер обработанной площади; количество израсходованного топлива;
- технологическое время работы машины включает следующие элементы:

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

Сменное время работы машинно-тракторных агрегатов включает элементы технологического времени, а также:

- время на транспортные переезды;
- время на подготовку машины к работе;
- регламентируемые элементы затрат времени;
- время на ежесменное техническое обслуживание машин.

Эксплуатационное время работы машинно-тракторных агрегатов включает элементы сменного времени:

- время на переоборудование и комплектование агрегата;

- время на проведение периодического технического обслуживания;
- время на проведение периодического технического обслуживания;
- время на устранение технических отказов.

Производительность за 1 ч эксплуатационного и сменного времени определяют по формулам [23,60,67]

$$W_{\text{эк}} = W_0 K_{\text{эк}}, \quad (3.11)$$

$$W_{\text{см}} = W_0 K_{\text{см}}, \quad (3.12)$$

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

Производительность за 1 час основного времени определяют по формуле

$$W_0 = \frac{F_m}{T_0}, \quad (3.13)$$

где  $F_m$  – наработка агрегата в гектарах.

Производительность за 1 ч технологического времени  $W_{\text{тех}}$  определяют по формуле

$$W_{\text{тех}} = W_0 \cdot K_{\text{тех}} \quad (3.14)$$

где  $K_{\text{тех}}$  - коэффициент использования технологического времени.

### 3.7 Методика математической обработки экспериментальных данных

#### 3.7.1 Оценка точности измерений

При проведении экспериментальных исследований неизбежно встречаются ряд ошибок: случайные, систематические и грубые.

При математической обработке и обосновании аналитических выводов можно использовать лишь те результаты опытов, которые не содержат грубых и систематических односторонних ошибок.

При планировании экспериментов и обработке результатов исследований учитывали относительную суммарную погрешность. Например, при определении влажности суммарная погрешность почвы имела следующие составляющие [15,55,109,128,177]:

$$P = P_T + P_n + P_{\partial} + P_{об}, \quad (3.15)$$

где  $\Pi_T$  - относительная погрешность весов;  $\Pi_n$  - относительная погрешность, вносимая сушильным шкафом при эксперименте;  $\Pi_\partial$  - относительная погрешность испарения влаги из буюков;  $\Pi_{об}$  - относительная погрешность обработки данных.

Аналогичным образом находили погрешность при определении других параметров (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Суммарные относительные ошибки прямых и косвенных измерений

| Замеряемые величины                   | Относительная ошибка, % |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Тяговое усилие                        | 3,7 - 4,3               |
| Буксование                            | 4,3 - 4,5               |
| Теоретическая скорость движения       | 4,2 - 4,4               |
| Рабочая скорость движения             | 4,3 - 4,5               |
| Давление на движитель                 | 4.2 - 4.5               |
| Дополнительное усилие на ведущий мост | 3,8 - 4,2               |

### 3.7.2 Статистическая обработка экспериментальных данных

Числовыми характеристиками случайных величин является математическое ожидание и дисперсия. Обычно оценками математического ожидания и дисперсии случайных величин являются выборочное среднее и выборочная дисперсия [18,24,25,55,115,119]. При определении точности и надежности оценки математического ожидания пользуются доверительным интервалом, соответствующим определенной надежности [55]

$$P\left(\bar{X} - t_s \frac{s}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + t_s \frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha, \quad (3.16)$$

где  $m$  – математическое ожидание;  $P$  – надежность опыта ( $P = 95\%$ );  $\alpha$  – доверительная вероятность ( $\alpha = 5\%$ );  $t_s$  – коэффициент Стьюдента.

Относительная погрешность результата измерений отдельного параметра определялась по формуле [55]

$$\varepsilon_X = \frac{t_s \cdot S}{\bar{X}}, \quad (3.17)$$

где  $S$  – среднеквадратическое отклонение.

Доверительный интервал для оценки выборочной дисперсии нормального распределения при этом определялся по выражению

$$\frac{s^2(n-1)}{x_1^2} < G_x^2 < \frac{s^2(n-1)}{x_2^2}, \quad (3.18)$$

где  $X_1^2$ ,  $X_2^2$  – табличные значения величин, соответствующих вероятностям.

$$P_1 = \frac{\alpha}{2}, \quad P_2 = 1 - \frac{\alpha}{2}. \quad (3.19)$$

Однородность дисперсий можно проверить по критерию, который определяется по выражению [55]

$$G = \frac{S_{\max}^2}{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2}, \quad (3.20)$$

где  $S_{\max}$  – максимальная дисперсия из  $S_1^2, S_2^2, \dots, S_m^2$ .

Полученный результат сравнивался с табличными данными. Для оценки экспериментальных нелинейных зависимостей использовалась полиномиальная модель  $n$ -го порядка с одной независимой переменной [55]

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_m x^m + \varepsilon, \quad (3.21)$$

где  $\beta_{0,1,2,\dots,n}$  – неизвестные коэффициенты модели;  $\varepsilon$  – случайная ошибка.

Исходя из того, что значения равноотстоящие, получим

$$Y_0 = B_0 P_{n(x)}^{(0)} + B_1 P_{n(x)}^{(1)} + B_2 P_{n(x)}^{(2)} + \dots + B_m P_{n(x)}^{(m)} + \varepsilon, \quad (3.22)$$

где  $P_{n(x)}(xi)$  – ортогональные многочлены Чебышева, которые определялись по формулам, приведенным в работах [55].

Оценка коэффициентов, полученных по методу наименьших квадратов, имеет вид [55]

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_{n(xi)}^{(j)}}{\sum_{i=1}^n \left[ P_{n(xi)}^{(j)} \right]}, \quad (3.23)$$

где  $Y_i$  – результат измерения.

Оценки дисперсий для коэффициентов вычисляются по формуле [55]

$$S_j^2 = \frac{D^2}{\sum_{i=1}^n \left[ P_{n(xi)}^{(j)} \right]^2}, \quad (3.24)$$

где  $D^2$  – дисперсия, которая оценивается на основе данных таблицы дисперсионного анализа.

## **4 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **4.1 Производственные исследования с трактором класса 1,4 и дополнительным ведущим мостом на транспортных работах**

#### **4.1.1 Результаты производственных исследований по распределению сцепного веса по мостам трактора**

Тягово-сцепные качества тракторов во многом определяются его сцепным весом, то есть весом, приходящимся на ведущие колеса трактора. Кроме того существует множество способов увеличения данного веса: применения различного рода догрузателей колес; использование балластирования; наполнения шин жидкостью и т.д. В то же время увеличение сцепного веса можно добиться за счет перераспределения сцепного веса между мостами трактора.

Как известно при использовании тракторов колесной формулы 4к2 сцепной вес приходится только на задние ведущие колеса, а вес, приходящийся на передние ведущие колеса, не используется. В то же время очень часто трактора класса 1,4 с колесной формулой 4к2 в крестьянско-фермерских используются на различных вспомогательных сельскохозяйственных работах.

Очень часто на тракторы данной марки навешивается рабочее оборудование для обеспечения погрузо-разгрузочных работ. В частности широкое применение данные тракторы нашли при погрузке и транспортировке сена, фуража или соломы с полей. В то же время из-за недостаточных тягово-сцепных свойств для обеспечения процесса транспортировки тяговое сопротивление на крюке искусственно снижают за счет уменьшения объема перевозимых грузов.

В связи с этим возникает вопрос о перераспределении части нагрузки с переднего управляемого моста на задние ведущие колеса трактора или на другой дополнительно-установленный ведущий мост. Это позволит повысить сцепной вес трактора, снизить нормальное давление на почву и повысить тягово-сцепные свойства трактора.

Кроме этого установка дополнительного ведущего моста позволяет увеличить площадь контакта движителей с почвой. С этой целью было предложено устройство позволяющее перераспределить сцепной вес между передним мостом трактора и дополнительным ведущим мостом (рис. 4.1).

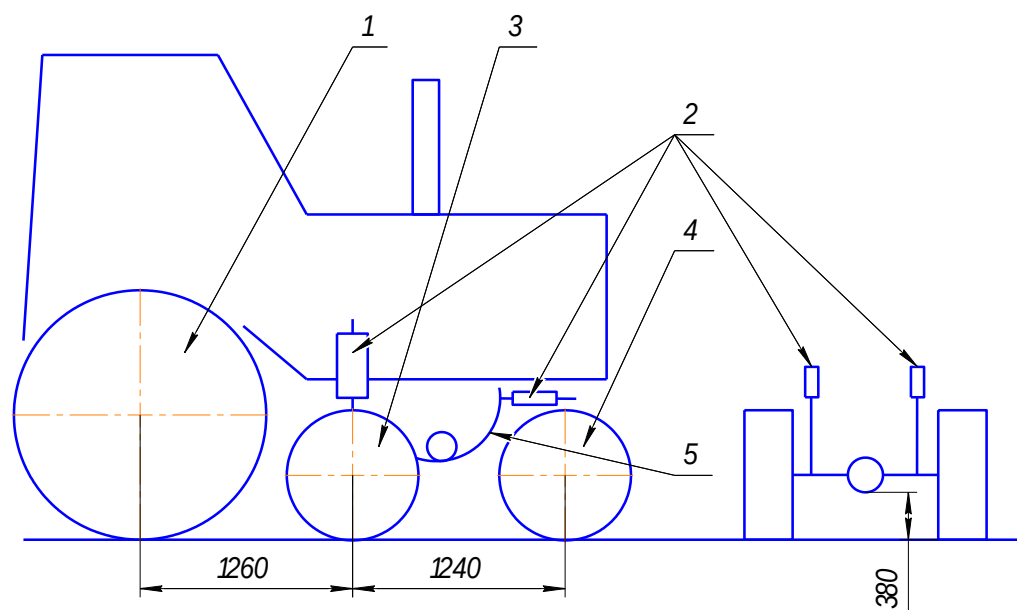


Рис.4.1. Схема устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора

1 – ведущее колесо; 2 – гидроцилиндры; 3 – дополнительный ведущий мост; 4 – управляемое колесо; 5 – полуэллиптическая рессора.

Для нахождения результатов перераспределения сцепного веса между мостами трактора были проведены экспериментальные исследования. Во время проведения развесовки трактора по осям, под каждое колесо трактора подкладывался датчик давления ДСТ. Полученные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Распределение нагрузки по осям трактора

| Ведущий мост трактора |      | Дополнительный мост |      | Управляющий мост |      | Примечание                                                                                                  |
|-----------------------|------|---------------------|------|------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| кН                    | %    | кН                  | %    | кН               | %    |                                                                                                             |
| 22,0                  | 61,1 | -                   | -    | 14,0             | 38,9 | Дополнительный ведущий мост поднят в транспортное положение                                                 |
| 20,0                  | 55,5 | 3,6                 | 10   | 12,4             | 34,5 | Дополнительный ведущий мост опущен и на него передается через вертикальный гидроцилиндр часть веса трактора |
| 17,4                  | 48,3 | 12,4                | 34,4 | 0,62             | 17,3 | Дополнительный ведущий мост опущен и на него передается часть веса с переднего моста трактора               |

Анализируя полученные данные можно сделать следующий вывод, что использование устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора позволяет увеличить сцепной вес, приходящийся на ведущие колеса трактора (рис. 4.2).

Так, в транспортном положении (дополнительный ведущий мост находится в поднятом состоянии), распределение сцепного веса по осям трактора составило следующие значения:

- на задний ведущий мост-22,0 кН;
- на передний управляемый мост-14,0 кН.

В положении, когда дополнительный ведущий мост находится в опущенном, ненагруженном состоянии (гидроцилиндр не воздействует через перераспределяющее устройство на дополнительный ведущий мост) распределение сцепного веса составило следующие значения: на задний ведущий мост-20,0 кН; на передний управляемый мост-12,4 кН; на дополнительный ведущий мост-3,6 кН.

В рабочем положении, то есть, когда на задний и дополнительный ведущие мосты трактора, через перераспределяющее устройство передается часть нагрузки с переднего управляемого моста распределение сцепного веса составило:

- на задний ведущий мост-17,4 кН;
- на передний управляемый мост-6,2 кН;
- на дополнительный ведущий мост-12,4 кН.

Более наглядно распределение силовой нагрузки по мостам трактора можно проследить по диаграмме (рис. 4.2).

Перераспределение сцепного веса в процентном соотношении между мостами экспериментального трактора представлено на диаграмме (рис. 4.3).

Так в транспортном положении (дополнительный ведущий мост находится в поднятом состоянии) распределение сцепного веса по осям трактора составило следующие значения:

- на задний ведущий мост-61,1%;
- на передний управляемый мост-38,9 %.

В положении, когда дополнительный ведущий мост находится в опущенном состоянии (вертикальный гидроцилиндр не воздействует на дополнительный ведущий мост) распределение сцепного веса составило:

- на задний ведущий мост-55,5 %;
- на передний управляемый мост-34,5 %;
- на дополнительный ведущий мост-10 %.

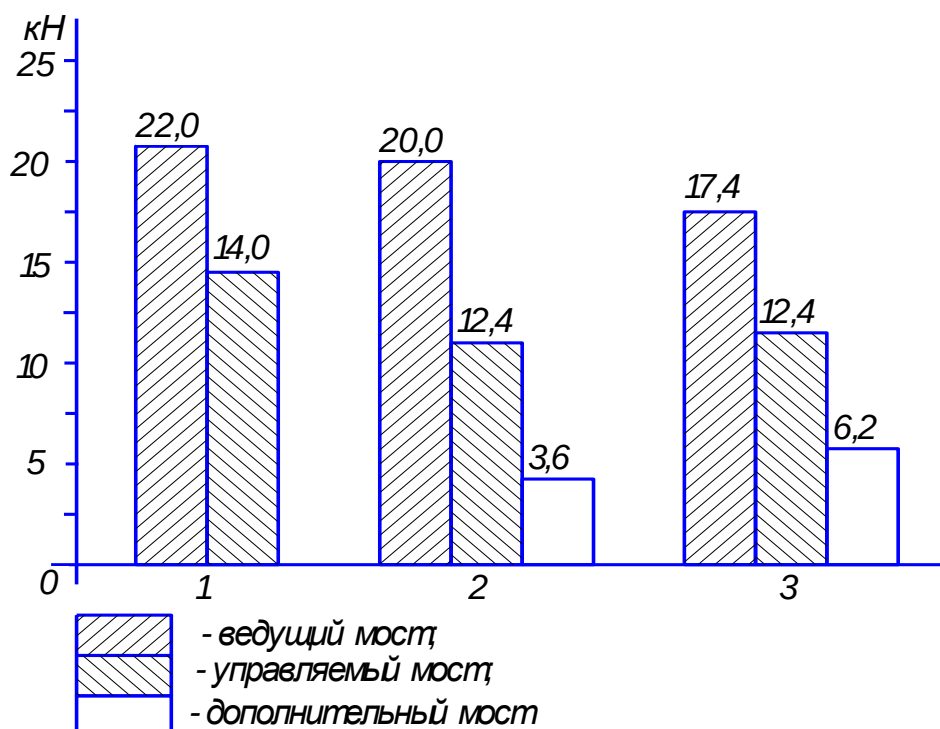


Рис. 4.2. Распределение нагрузки по мостам трактора  
 1 - транспортное положение; 2 - дополнительный мост трактора без нагрузки; 3 - дополнительный мост трактора под нагрузкой

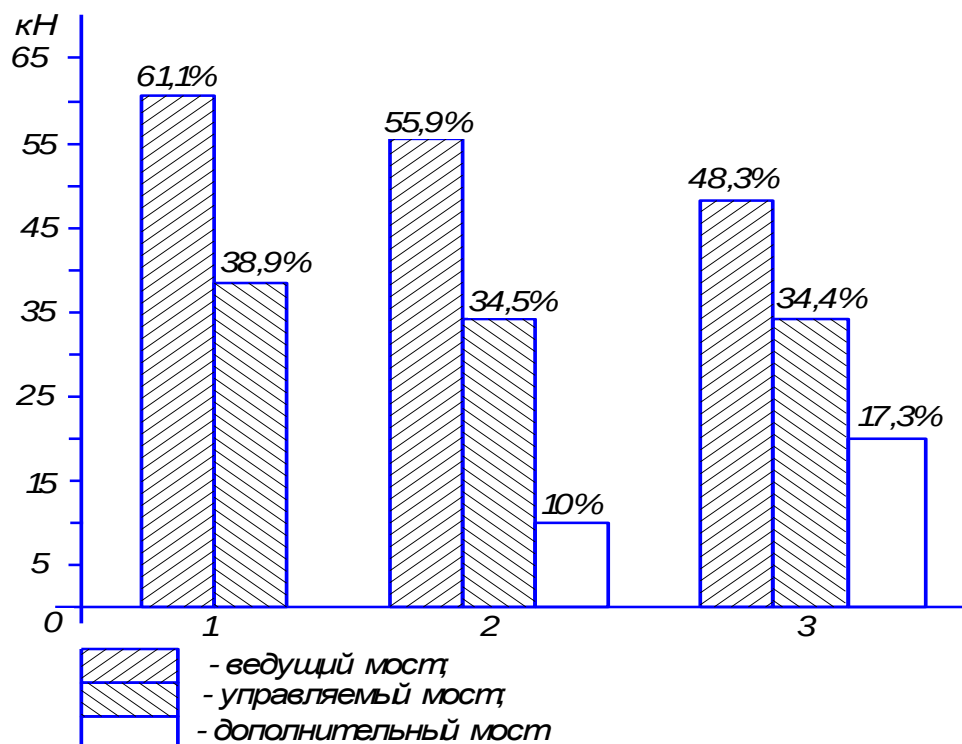


Рис.4.3. Распределение нагрузки между мостами трактора в процентном соотношении  
 1 - транспортное положение; 2 - дополнительный мост трактора без нагрузки; 3 - дополнительный мост трактора под нагрузкой

В рабочем положении, то есть когда на задний и дополнительный ведущие мосты трактора, через перераспределяющее устройство передается часть нагрузки с переднего моста, распределение сцепного веса составило: на задний ведущий мост-48,3 %; на передний управляемый мост-17,3 %; на дополнительный ведущий мост-34,4 %.

Как показали исследования в зависимости от давления, создаваемого в гидроцилиндрах, связанных с передающим устройством, происходит и перераспределение сцепного веса (рис. 4.4).

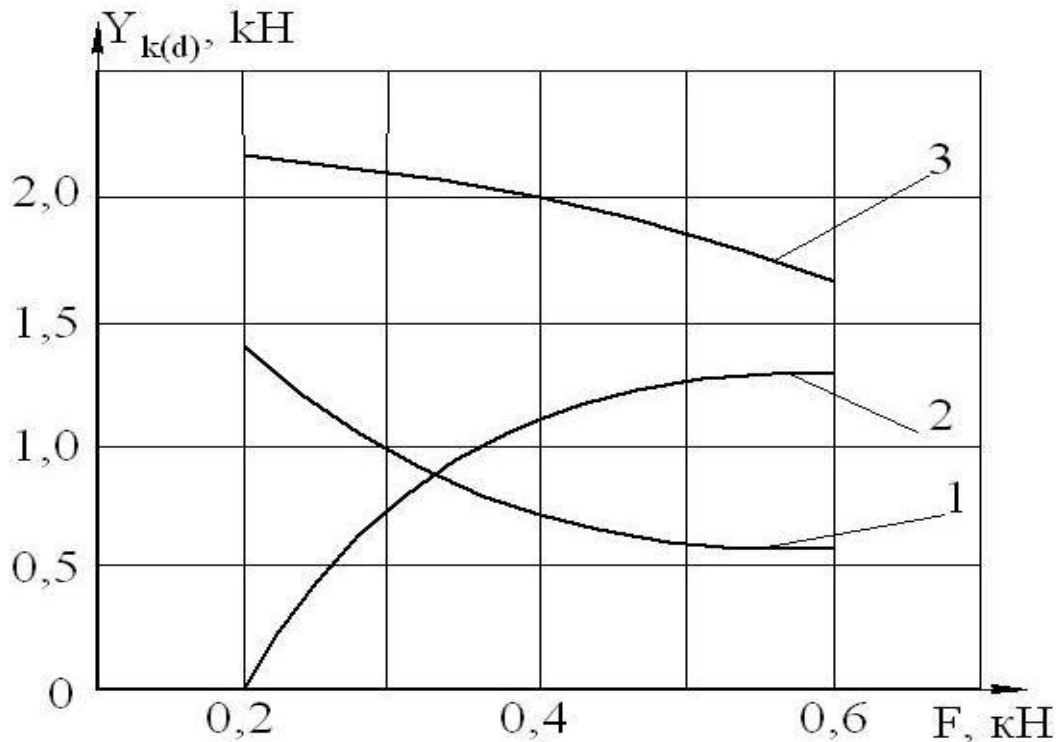


Рис. 4.4. Изменение сцепного веса по мостам трактора:  
1- дополнительный ведущий мост, 2-управляемый мост, 3-задний ведущий мост

При анализе экспериментально полученных результатов можно сделать вывод, что использование устройства для перераспределения сцепного веса позволяет повысить тягово-сцепные свойства трактора за счет перераспределения сцепного веса между его мостами. Более равномерное распределение нагрузки, приходящейся на колеса трактора, позволит снизить техногенное воздействие на почву, а также снизить величину буксования трактора.

#### 4.1.2 Результаты исследований по определению площади контакта колес трактора с дорогой

Тягово-сцепные свойства любого энергетического средства во многом зависят от площади контакта движителя с почвой. Особенно

это важно при движении по твердому подстилающему основанию. В зимний период времени при выполнении транспортных работ трактор движется в основном по твердому основанию, то есть без образования колеи. Поэтому площадь контакта будет определяться только площадью грунтозацепов. С целью определения площади контакта колес с почвой были проведены исследования по определению такой площади (табл. 4.2 ,4.3 и 4.4).

Площади контакта почвозацепов с поверхностью приведены снизу вверх и слева направо.

Как показали исследования, постановка дополнительных колес позволила увеличить площадь контакта ведущих колес с почвой на 42,5 %. Увеличение площади контакта ведущих колес с почвой позволит повысить тягово-сцепные свойства трактора.

Таблица 4.2

Площадь пятна контакта заднего колеса трактора

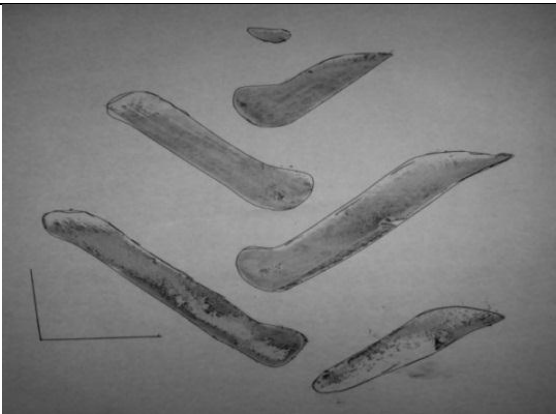
| Пятно контакта                                                                     | Площадь пятна контакта колеса трактора                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | $S_1 = 7455,2 \text{ мм}^2$<br>$S_2 = 12660,6 \text{ мм}^2$<br>$S_3 = 14782,2 \text{ мм}^2$<br>$S_4 = 10485,9 \text{ мм}^2$<br>$S_5 = 6537,9 \text{ мм}^2$<br>$S_6 = 570,1 \text{ мм}^2$<br>$S_{06} = 52492,0 \text{ мм}^2 = 0,052492 \text{ м}^2$ |

Таблица 4.3

Площадь пятна контакта дополнительного колеса трактора

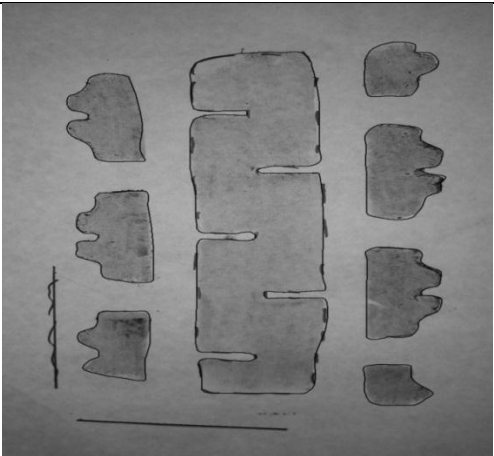
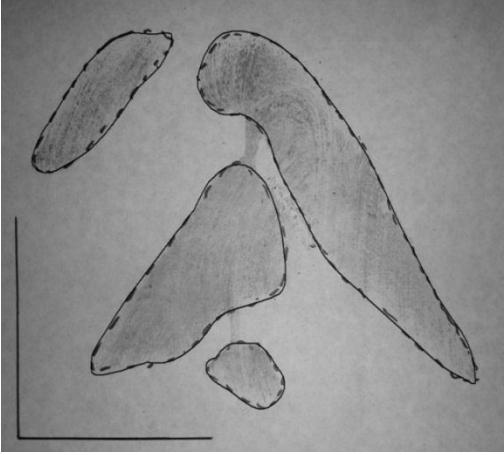
| Пятно контакта                                                                      | Площадь пятна контакта колеса трактора                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | $S_1 = 1530,6 \text{ мм}^2$<br>$S_2 = 16163,6 \text{ мм}^2$<br>$S_3 = 864,0 \text{ мм}^2$<br>$S_4 = 2228,2 \text{ мм}^2$<br>$S_5 = 2207,3 \text{ мм}^2$<br>$S_6 = 2018,3 \text{ мм}^2$<br>$S_7 = 2363,2 \text{ мм}^2$<br>$S_8 = 1212,8 \text{ мм}^2$<br>$S_{06} = 28588,0 \text{ мм}^2 = 0,028588 \text{ м}^2$ |

Таблица 4.4

Площадь пятна контакта переднего колеса трактора

| Пятно контакта                                                                    | Площадь пятна контакта колеса трактора                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | $S_1 = 833,1 \text{ мм}^2$<br>$S_2 = 4906,2 \text{ мм}^2$<br>$S_3 = 6921,3 \text{ мм}^2$<br>$S_4 = 2047,1 \text{ мм}^2$<br>$S_{\text{об}} = 14707,6 \text{ мм}^2 = 0,0147076 \text{ м}^2$ |

#### 4.1.3 Результаты исследований по определению величины буксования на транспортных работах

С целью определения влияния устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора на величину буксования были проведены испытания в реальных условиях эксплуатации. В зимний период времени колесные тракторы с формулой 4К2 чаще всего используются на внутрихозяйственных перевозках. Однако применение таких тракторов ограничивается их невысокими тягово-сцепными свойствами, что в конечном итоге снижает эффективность их использования. Поэтому в условиях недостаточных тягово-сцепных свойств на транспортных работах по перевозке грузов приходится применять гусеничные тракторы. Расширить сферу применения тракторов с колесной формулой 4К2 можно, как было сказано ранее, за счет повышения их тягово-сцепных свойств.

Применение устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора позволяет повысить сцепной вес, приходящийся на ведущие колеса.

Испытания, проведенные в зимних условиях на дорогах с низким коэффициентом сцепления позволили получить определенные результаты, представленные на рисунке 4.4.

После обработки результатов испытаний были построены графики по определению величины буксования и скорости движения в зависимости от тягового усилия на крюке (рис. 4.5).

Как показали исследования (рис. 4.6) с повышением тягового усилия величина буксования увеличивается как у трактора серийного без дополнительного моста, так и у трактора экспериментального с дополнительным ведущим мостом.

Так, при увеличении нагрузки на крюке от 5 до 14 кН величина буксования у серийного трактора возросла с 8 до 27,5%, а трактора с дополнительным ведущим мостом - с 4,5 до 15,0%. Как видно из графиков, постановка дополнительного ведущего моста позволила снизить величину буксования.

При дальнейшем увеличении нагрузки до 15 кН у серийного трактора величина буксования резко возросла, а у трактора с дополнительным ведущим мостом характер возрастания величины буксования остается линейным. Это говорит о том, что у серийного трактора тягово-сцепных свойств оказалось недостаточно. Для трактора с дополнительным ведущим мостом линейный характер изменения величины буксования оставался до 20 кН. Если сравнивать тяговые усилия трактора серийного и трактора с дополнительным ведущим мостом при одинаковой величине буксования, то можно отметить следующее:

- при величине буксования 10 % тяговое усилие у серийного трактора составило 6 кН, а у трактора с дополнительным ведущим мостом - 10 кН;

- при величине буксования 20% тяговое усилие серийного трактора составило 15 кН, экспериментального - 18 кН, то есть произошло увеличение тягового усилия на 17-18%.

Дальнейшее увеличение величины буксования повлекло снижение поступательной скорости движения, что, как следствие снизит производительность ТТА при выполнении транспортных работ.

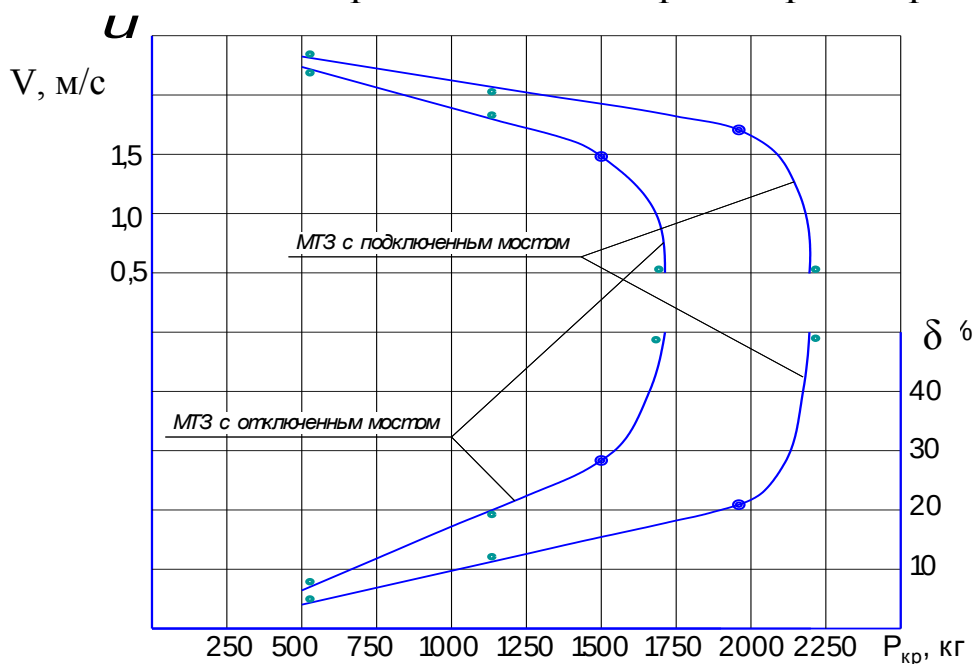


Рис 4.5. Зависимость величины буксования и скорости движения от тягового усилия

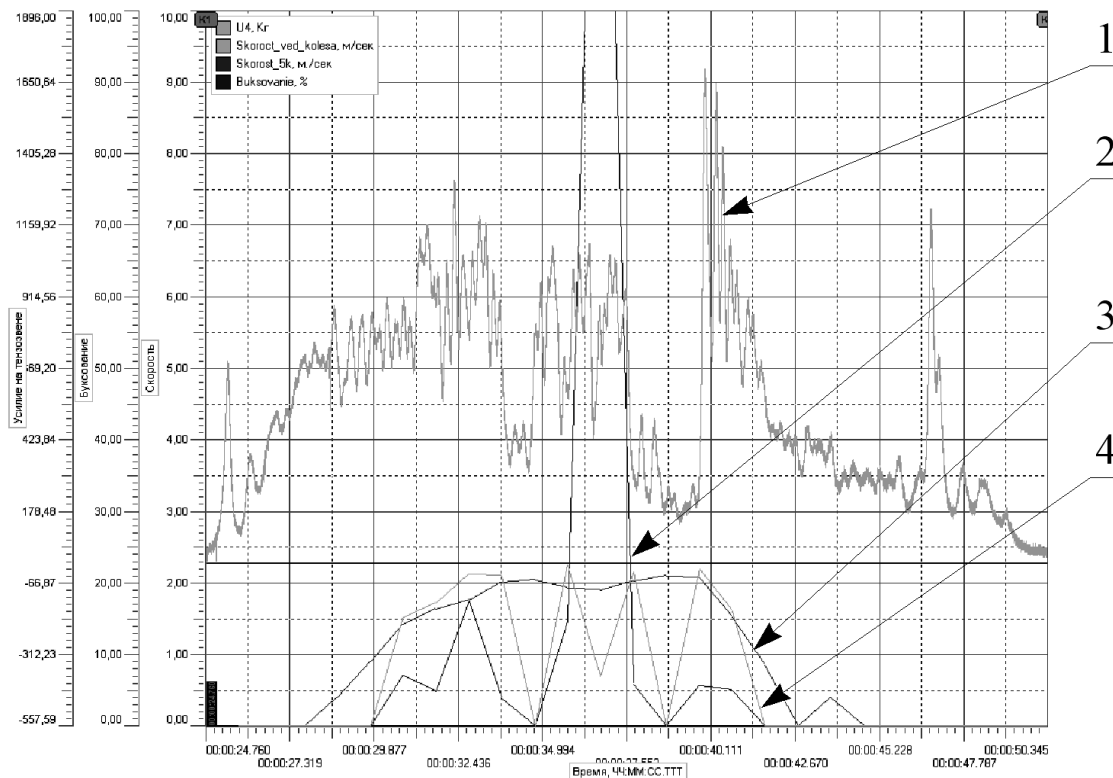


Рис 4.6. Фрагмент записи тяговых испытаний

1 – усилие на крюке (сигнал с тензозвена), кг; 2 – буксование (расчетная величина), %; 3 – скорость трактора (измеряется по 5 колесу, сигнал берется с датчика оборотов до установленного на оси 5-го колеса), м/с; 4 – скорость трактора по ведущему колесу (измеряется на ведущем колесе, сигнал берется с датчика оборотов до установленного на оси ведущего колеса).

#### 4.1.4 Результаты исследований по распределению мощностного баланса трактора класса 1,4 на транспортных работах

Снижение тягово-сцепных свойств трактора влечет за собой изменение и всего мощностного баланса трактора. Более наглядное распределение эффективной мощности можно проследить по диаграмме мощностного баланса. Для построения диаграммы мощностного баланса воспользуемся общеизвестными формулами.

Уравнение мощностного баланса в общем случае можно представить следующим образом [45,46]:

$$N_e = N_{кр} + N_{тр} + N_{\delta} + N_f, \quad (4.1)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность, кВт;  $N_{кр}$  – тяговая мощность, кВт;  $N_{тр}$  – мощность, затрачиваемая на механические потери, кВт;  $N_{\delta}$  – мощность, затрачиваемая на буксование, кВт;  $N_f$  – мощность, затрачиваемая на качение, кВт.

Тяговую мощность можно определить по формуле

$$N_{кр} = P_{кр} \cdot V_p,$$

где  $P_{кр}$  – тяговое усилие на крюке трактора, кН;  $V_p$  – рабочая скорость трактора, м/с.

Мощность, затрачиваемая на механические потери при постоянной загрузке двигателя можно определить по выражению

$$N_{mp} = N_e \cdot (1 - \eta_{mp}), \quad (4.2)$$

где  $\eta_{тр}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии.

При расчете мощности подводимой к ведущим колесам трактора величину  $N_{mp}$  учитывать не будем так, как она в дальнейшем не передается ведущим колесам

$$N_K = N_e - N_{mp}, \quad (4.3)$$

Мощность, затрачиваемая на буксование можно определить по уравнению

$$N_\delta = N_K \cdot \delta. \quad (4.4)$$

Мощность, расходуемая на качение трактора в общем случае равна [10]

$$N_f = 10^{-3} \cdot f \cdot G_{mp} \cdot V_m (1 - \delta), \quad (4.5)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению.

Распределение составляющих мощностного баланса трактора с серийным и экспериментальным прицепом приведено на рисунке 4.6 и 4.7. Из графиков видно, что происходит изменение составляющих баланса мощности трактора серийного и трактора с дополнительным ведущим мостом.

В то же время соотношение между отдельными его составляющими различно, что объясняется различными тягово-сцепными свойствами серийного трактора и трактора с дополнительным ведущим мостом.

Мощность, затрачиваемая на буксование выше у серийного трактора по сравнению с трактором, оборудованным дополнительным ведущим мостом, это говорит о том, что тягово-сцепные качества экспериментального трактора выше. Более наглядно распределение мощностного баланса представлено в процентном отношении в таблице 4.5 и рисунках 4.7-4.9.

Таблица 4.5

Распределение эффективной мощности двигателя, %

| Показатели                                              | Серийный трактор | Трактор с дополнительным ведущим мостом |
|---------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|
| Тяговая мощность                                        | 22,4             | 28,6                                    |
| Мощность, затрачиваемая на буксование $N_{\delta}$      | 27,8             | 15,0                                    |
| Мощность, затрачиваемая на механические потери $N_{mp}$ | 6,7              | 8,3                                     |
| Мощность, затрачиваемая на качение $N_F$                | 43,1             | 48,1                                    |

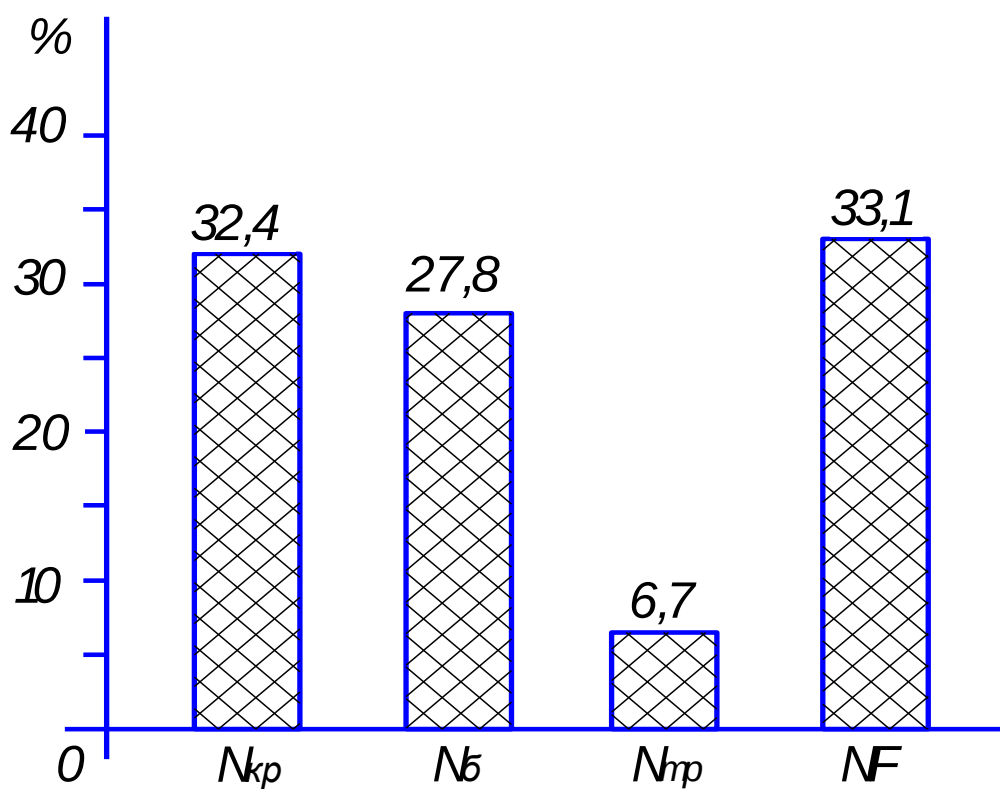


Рис.4.7. Мощностной баланс серийного трактора

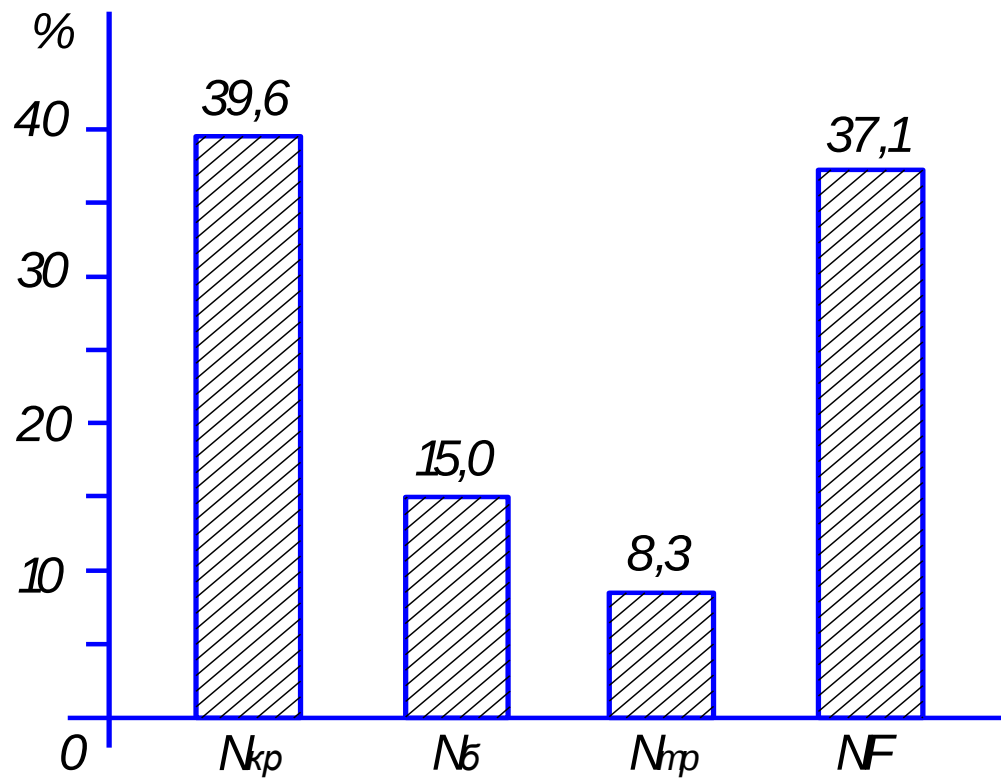


Рис.4.8. Мощностной баланс трактора с дополнительным ведущим мостом

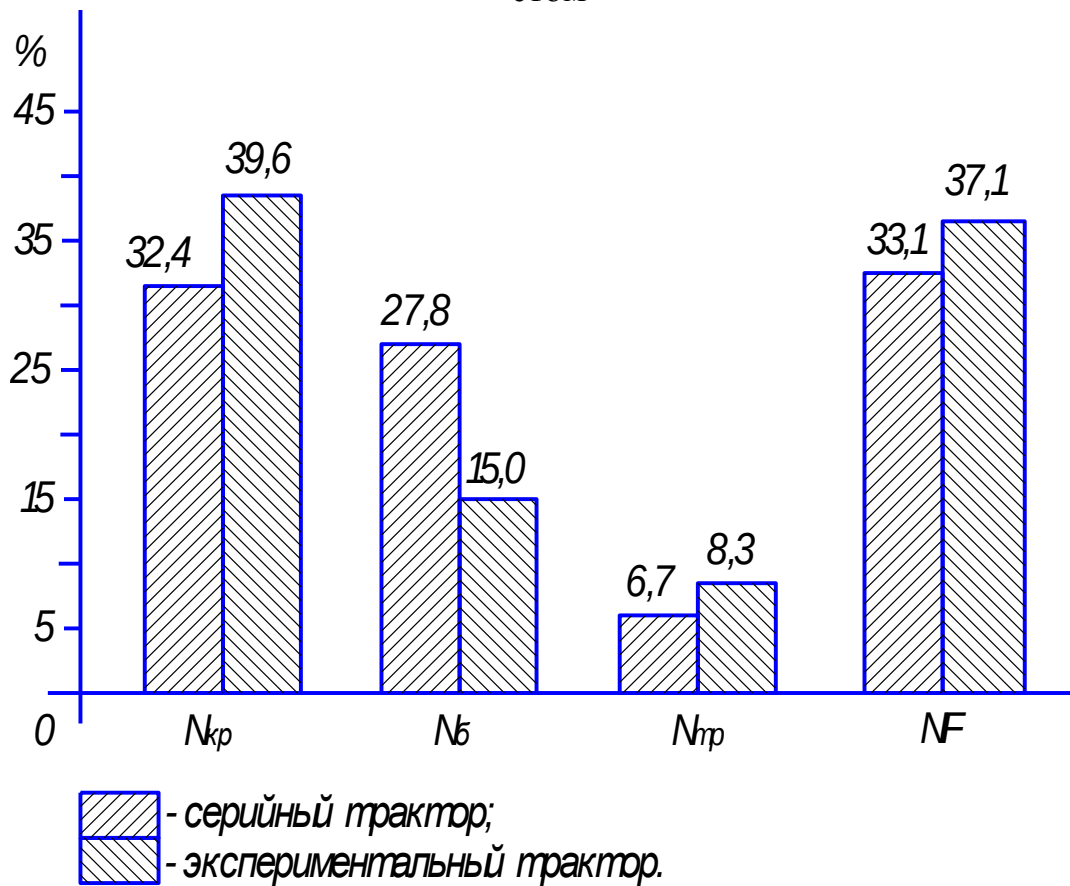


Рис.4.9. Сравнительный мощностной баланс серийного и экспериментального тракторов

#### 4.1.5 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний трактора класса 1,4

С целью определения эффективности использования трактора класса 1,4 с колесной формулой 4к2 и дополнительным ведущим мостом на транспортных работах в условиях, недостаточных тягово-сцепных свойств, были проведены сравнительные хозяйственные испытания в реальных условиях эксплуатации. Для сравнения брался серийный трактор класса 1,4 с колесной формулой 4к2 и прицеп 2ПТС-4, обычно используемый в сельскохозяйственном производстве.

Сравнение было выполнено методом хронометражных наблюдений за работой тракторно-транспортных агрегатов. Основная цель хронометражных наблюдений – определение основных параметров, характеризующих эффективность их работы:

$W_{\partial в}$  – производительность в час времени движения, т·км/ч;

$W_{ч}$  – производительность в час рабочего времени, т·км/ч;

$V_{ср}$  – средняя скорость движения, м/с.

Расчет основных параметров, характеризующих эффективность работы транспортных агрегатов произведен на основании общепринятых методик.

Производительность в час движения

$$W_{\partial в} = \frac{Q}{T_{\partial в}} = \frac{Q}{T_p + T_n}, \quad (4.6)$$

где  $Q$  – объем перевезенного груза, т;  $T_{\partial в}$  – время движения, ч;  $T_p$  – время движения без учета поворотов, ч;  $T_n$  – время поворотов, ч.

Средняя скорость движения по полю

$$V_{ср} = \frac{S_m}{T_p}, \quad (4.7)$$

где  $S_m$  – длина поля, м.

Производительность в час чистого рабочего времени

$$W_{ч} = \frac{Q}{T_p}. \quad (4.8)$$

Расход топлива на единицу перевезенного груза

$$G_y = \frac{M_{топ}}{Q}, \quad (4.9)$$

где  $M_{mon}$  – количество топлива, израсходованного на перевозку груза, кг.

Коэффициент использования времени движения

$$K_{\partial в} = \frac{T_p}{T_p + T_n} = \frac{T_p}{T_{\partial в}}. \quad (4.10)$$

В таблице 4.7 приведены сравнительные хозяйственные испытания трактора класса 1,4 с колесной формулой 4к2 и экспериментального с дополнительным ведущим мостом и прицепом 2ПТС-4.

Результаты показывают (табл.4.6), что использование в составе ТТА трактора с колесной формулой 4к2 и дополнительным ведущим мостом позволило повысить производительность в час времени движения на 30,5 %, и в час чистого рабочего времени на 20,1% по сравнению с серийным трактором и прицепом 2ПТС-4.

Таблица 4.6

Сравнительные хозяйственные испытания трактора МТЗ-80 и прицепа 2ПТС-4 на транспортных работах

| Показатели                                              | МТЗ-80 + 2ПТС-4 |                                                             |
|---------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                         | серийный        | экспериментальный (трактор с дополнительным ведущим мостом) |
| 1                                                       | 2               | 3                                                           |
| Длина поля, м                                           | 920             | 920                                                         |
| Длина поворота, м                                       | 65              | 65                                                          |
| Грузоподъемность теоретическая, т                       | 4               | 4                                                           |
| Грузоподъемность фактическая, т                         | 3,7             | 3,7                                                         |
| Скорость движения по прямой, м/с                        | 1,3             | 1,7                                                         |
| Скорость движения на поворотах, м/с                     | 1,2             | 1,5                                                         |
| Производительность в час времени движения, т·км         | 16,7            | 21,8                                                        |
| Производительность в час чистого рабочего времени, т·км | 18,4            | 22,1                                                        |
| Коэффициент использования времени движения              | 0,93            | 0,88                                                        |

## **4.2 Результаты экспериментальных исследований с трактором класса 1,4 и дополнительным ведущим мостом на полевых работах**

### **4.2.1 Результаты экспериментальных исследований по определению площади контакта колес с почвой**

При работе тракторов на почвах с низкой несущей способностью для повышения тягово-сцепных свойств и снижения техногенного воздействия на почву необходимо увеличивать площадь опорной поверхности. В настоящее время предлагаются различные конструкции и приспособления для увеличения опорной поверхности тракторов (установка сдвоенных колес, постановка полугусеничного хода, установка арочных шин и т. д.). В то же время данные устройства не позволяют улучшению использования сцепного веса за счет его перераспределения между мостами трактора. Постановка дополнительного ведущего моста, является одним из способов увеличения площади контакта энергетического средства с почвой.

С целью определения увеличения площади контакта колес трактора за счет постановки дополнительного моста с почвой были проведены исследования (табл. 4.8).

Как показали исследования, постановка дополнительных колес размером 200х508 позволило увеличить площадь контакта ведущих колес с почвой на 42,5 %, а при установке дополнительных колес размером 280х508 соответственно на 21,5%. Увеличение площади контакта ведущих колес с почвой позволит повысить тягово-сцепные свойства трактора и снизить техногенное воздействие на почву. При выборе размера дополнительных колес трактора необходимо обратить внимание на состояние почвы и условия эксплуатации. При использовании тракторов в условиях Амурской области необходимо помнить, что ранневесенние сельскохозяйственные работы начинаются, когда почва оттаивает на глубину посева. В это время верхний слой почвы пригоден для проведения работ, но главное внимание при этом должно уделяться тому, чтобы колеса не продавили верхний слой до мерзлоты за счет увеличения площади контакта опорной поверхности с почвой. Если это условие не выполнить, то трактор потеряет свою проходимость даже при небольшой нагрузке.

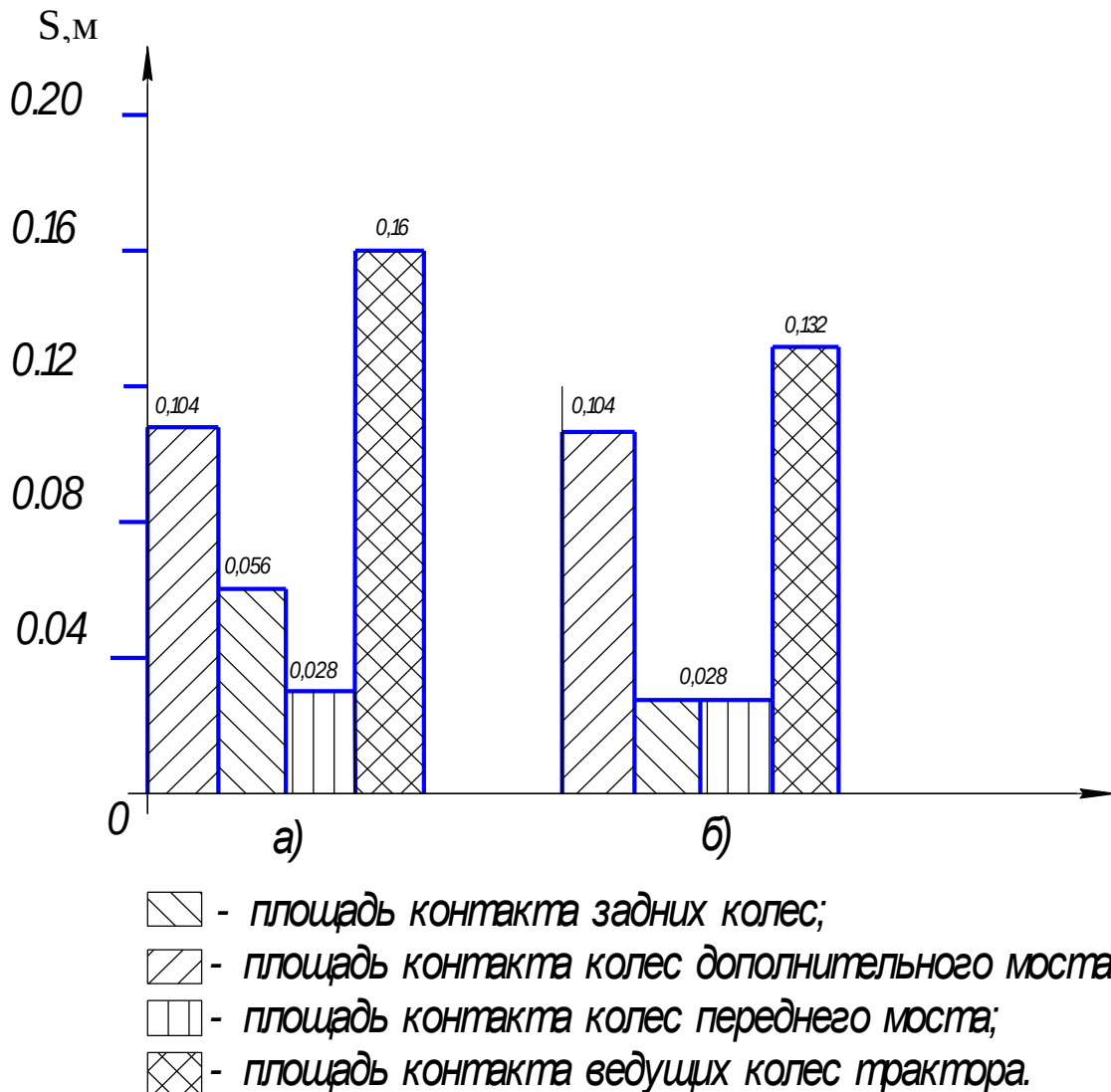


Рис.4.10. Результаты экспериментальных исследований по определению площади контакта опорной поверхности трактора с почвой  
 а - размер колес дополнительного моста 200х508; б - размер колес дополнительного моста 280х508)

#### 4.2.2 Результаты исследований по определению тягового усилия трактора класса 1,4

Известно, что касательная сила тяги любого энергетического средства во многом зависит от коэффициента сцепления движителя с почвой. Определяемую при этом касательную силу тяги с учетом коэффициента сцепления называют касательной силой тяги «по сцеплению» с почвой. Это максимальное значение реакции почвы, соответствующее крутящему моменту, который подводится к ведущим колесам трактора от двигателя. Касательная сила тяги «по сцеплению» с почвой во многом зависит от сцепного веса, то есть веса, приходящегося на ведущие колеса трактора. Одним из способов увеличения

сцепного веса у тракторов с колесной формулой 4х2 является его перераспределение между ведущими и не ведущими колесами. Известно, что при использовании тракторов с колесной формулы 4х2 сцепной вес приходится только на задние ведущие колеса, а вес, приходящийся на передние ведущие колеса, не используется.

Кроме этого с целью снижения отрицательного воздействия на почву за счет уменьшения количества проходов по полю на трактор навешивают дополнительное оборудование для совмещения нескольких операций. Это в свою очередь увеличивает вес трактора, но при использовании тракторов с колесной формулой 4х2 он остается не использованным.

В связи с этим возникает вопрос о перераспределении части нагрузки с переднего управляемого моста на задние ведущие колеса трактора или на другой дополнительно установленный ведущий мост. Перераспределение сцепного веса с не ведущего моста на ведущий позволит повысить касательную силу тяги «по сцеплению» с почвой.

Для определения влияния перераспределения сцепного веса на тяговое усилие развиваемое трактором были приведены экспериментальные исследования. Полученные данные приведены в таблице 4.7.

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы, что использование устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора позволяет увеличить тяговое усилие трактора с почвой (табл.4.7). На тяговое усилие трактора большое влияние оказывает фон, по которому движется трактор. Так, в зависимости от фона, по которому движется трактор, тяговое усилие изменяется от 16,5 кН по грунтовой дороге до 11,0 кН для поля, подготовленного под посев у серийного трактора. У трактора с дополнительным ведущим мостом за счет перераспределения нагрузки и фона, по которому движется трактор, изменение составило с 22,4 кН по грунтовой дороге, до 19,9 кН по полю подготовленному под посев.

Более наглядно распределение тягового усилия трактора «по сцеплению» можно проследить по диаграммам (рис 4.11 и 4.12).

Как показали исследования - в зависимости от давления, создаваемого в гидроцилиндрах, связанных с передающим устройством, происходит и перераспределение сцепного веса (рис. 4.13).

Таблица 4.7

## Распределение касательной силы тяги «по сцеплению»

| Трактор                                 | Фон                            | Касательная сила тяги |
|-----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Трактор без дополнительного моста       | грунтовая дорога               | 16,5                  |
|                                         | стерня                         | 15,4                  |
|                                         | вспаханное поле                | 13,2                  |
|                                         | поле, подготовленное под посев | 11,0                  |
| Трактор с дополнительным ведущим мостом | грунтовая дорога               | 22,4                  |
|                                         | стерня                         | 20,9                  |
|                                         | вспаханное поле                | 17,8                  |
|                                         | поле, подготовленное под посев | 14,9                  |

Анализ полученных данных показал, что использование устройства для перераспределения сцепного веса позволяет повысить общий сцепной вес трактора за счет перераспределения части сцепного веса с переднего, не ведущего, на ведущие мосты. Характерно отметить, что первоначально общий сцепной вес возрастает до определенной величины (3,2кН), а затем снижается. Это говорит о том, что дальнейшее увеличение перераспределения сцепного веса нерационально. Повышение сцепного веса на ведущие колеса можно достичь при увеличении сцепного веса, приходящегося на не ведущие колеса путем постановки дополнительных грузов или оборудования. Повышение сцепного веса влечет за собой изменение коэффициента использования сцепного веса (рис. 4.14).

Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что увеличение сцепного веса (за счет увеличения давления в гидроцилиндре передающего устройства) влечет за собой изменение коэффициента использования сцепного веса. Так, при увеличении давления с 2 кПА до 10 кПА коэффициент использования сцепного веса соответственно изменился с 0,61 до 0,47.

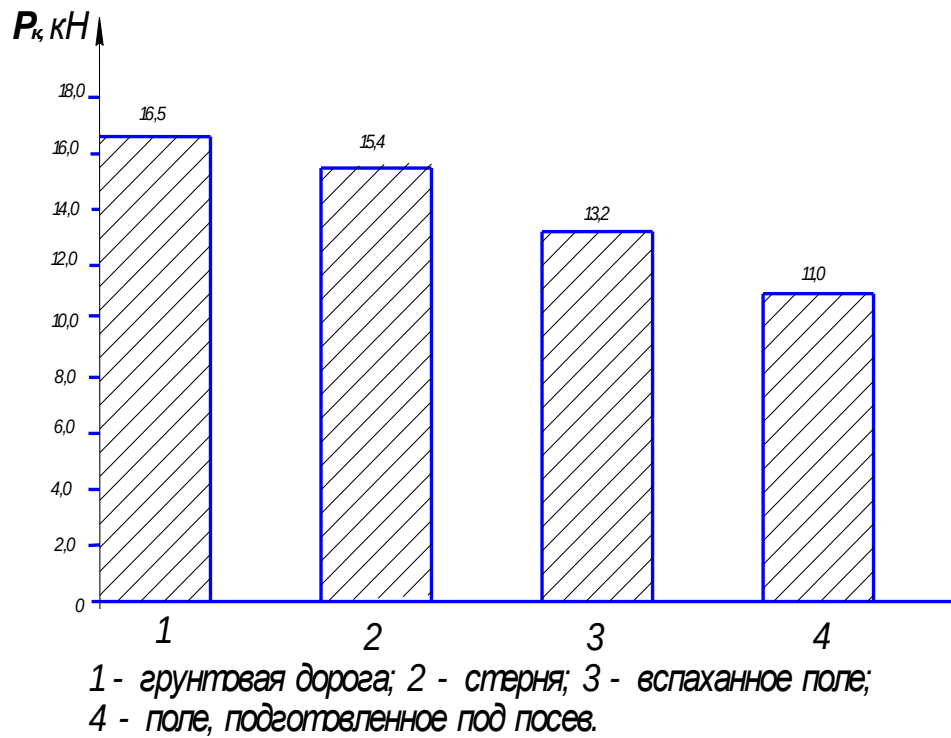


Рис. 4.11. Распределение касательной силы тяги «по сцеплению» без дополнительного моста

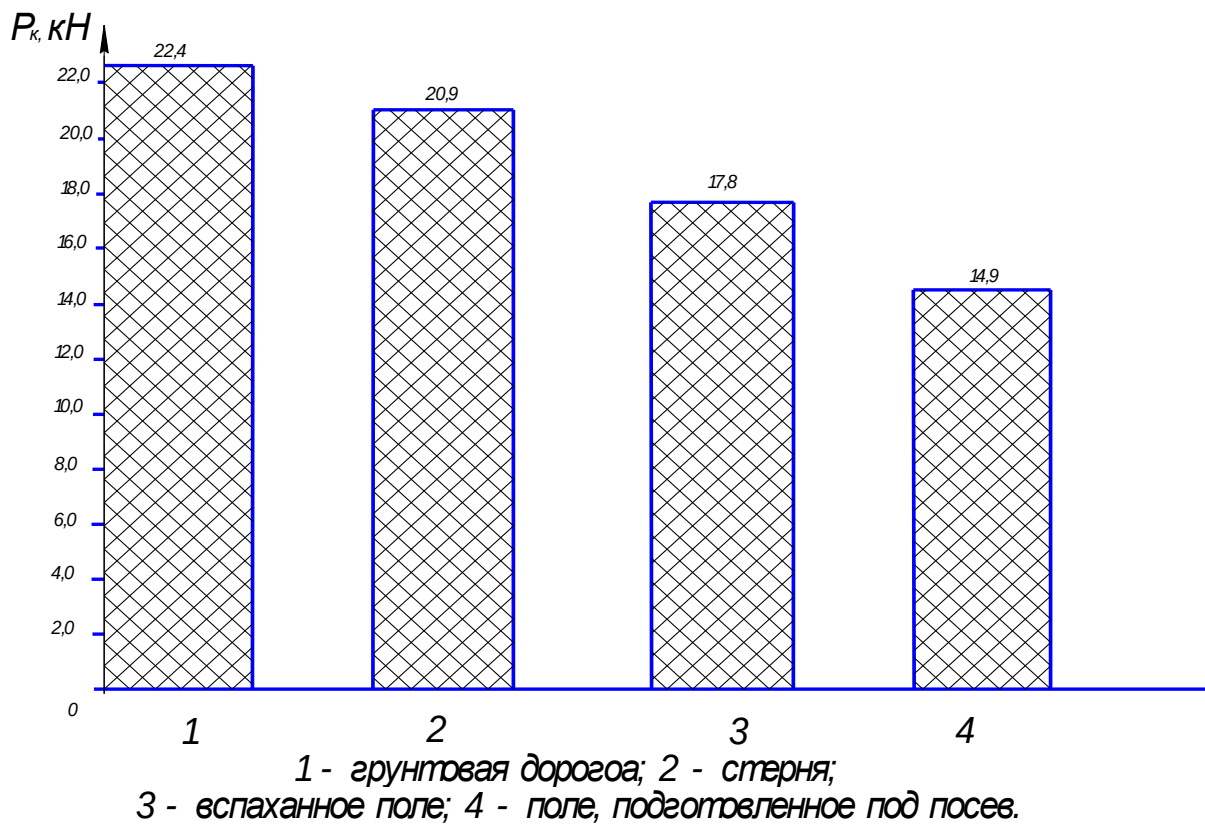


Рис.4.12. Распределение тягового усилия трактора с дополнительным мостом

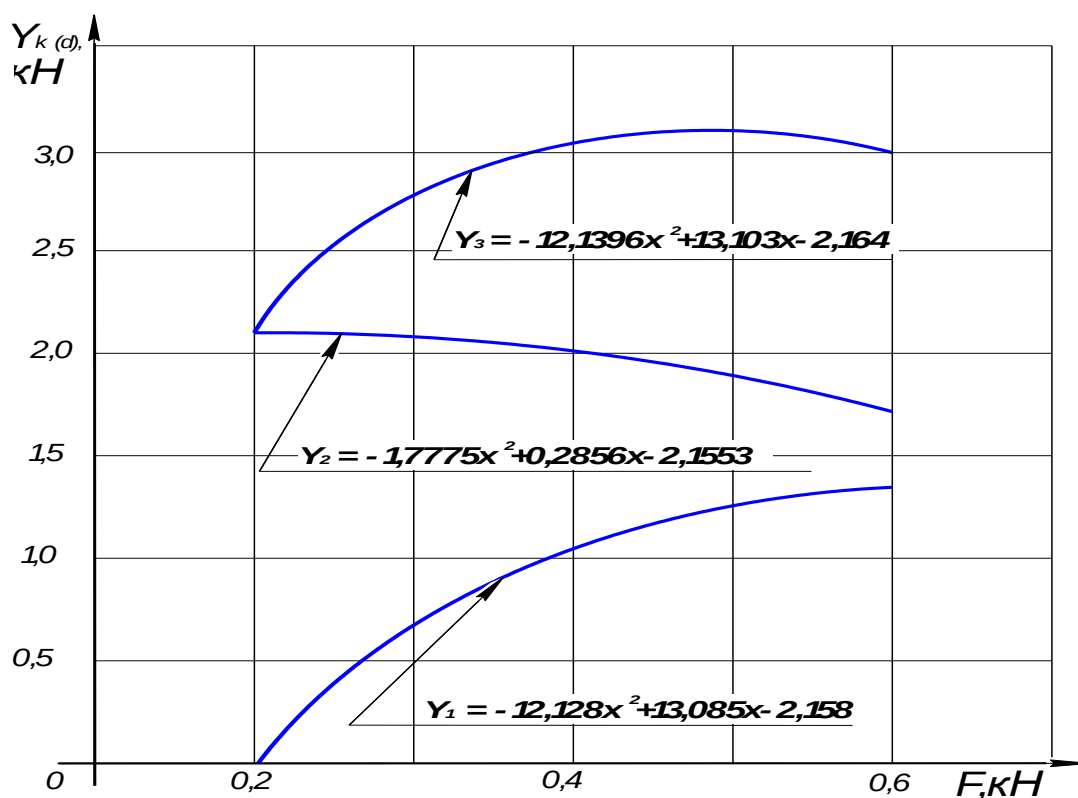


Рис. 4.13. Изменение сцепного веса в зависимости от дополнительного усилия

1 – сцепной вес, приходящийся на дополнительный вес; 2 – сцепной вес, приходящийся на задний мост; 3 – общий сцепной вес трактора.

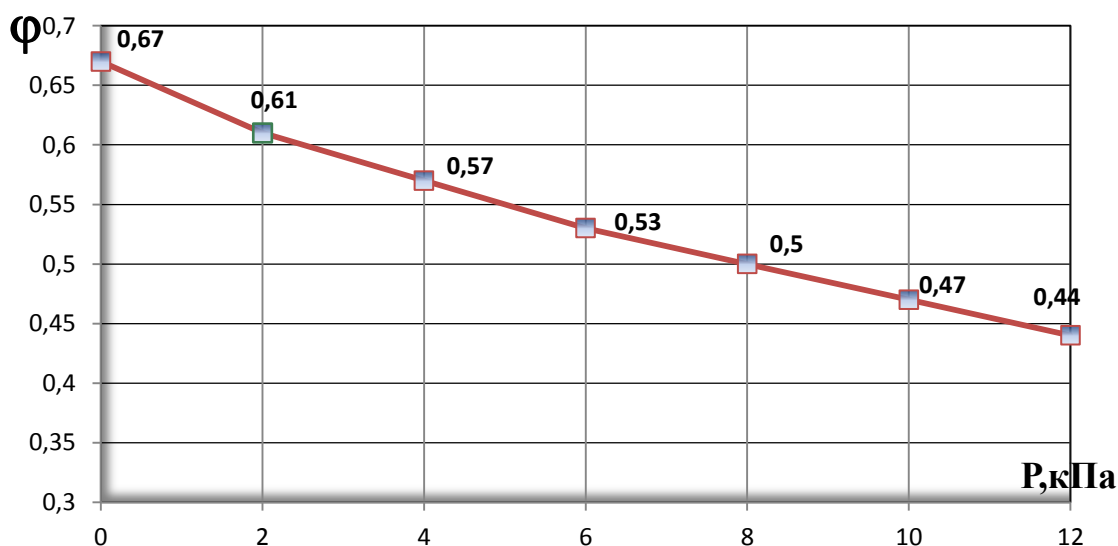


Рис.4.14. Зависимость коэффициента использования сцепного веса от перераспределения нагрузки.

#### 4.2.3 Результаты тяговых испытаний трактора класса 1,4

С целью определения влияния устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора на тягово-сцепные свой-

ства были проведены испытания в реальных условиях эксплуатации. При проведении основных сельскохозяйственных работ почва, как правило, имеет низкую несущую способность из-за повышенной влажности. Особенно неблагоприятные условия для проведения сельскохозяйственных работ складываются в весенний период. Это объясняется тем, что работы начинаются, как правило, когда почва оттаивает на глубину посева, а снизу находится твердый подстилающий слой в виде мерзлоты. В этот период времени колесные тракторы, проваливаясь до мерзлоты, теряют проходимость даже при небольших крюковых нагрузках. С целью повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов класса 1,4 с колесной формулой 4x2 предлагается установить дополнительный мост, передав на него часть нагрузки с переднего, не ведущего моста, а также часть веса сельскохозяйственной машины. Это можно достичь за счет применения специального устройства. Применение устройства для перераспределения сцепного веса между мостами трактора позволяет повысить сцепной вес, приходящийся на ведущие колеса.

Для подтверждения ранее полученных теоретических зависимостей по влиянию дополнительного ведущего моста и перераспределения сцепного веса были проведены тяговые испытания трактора. Полученные экспериментальные данные представлены на рисунке 4.15.

После обработки результатов испытаний были построены тяговые характеристики для трактора в серийном варианте и с дополнительным ведущим мостом.

Как показали исследования (рис. 4.15) с повышением тягового усилия величина буксования увеличивается как у трактора серийного без дополнительного моста, так и у трактора экспериментального с дополнительным ведущим мостом. Так, при увеличении нагрузки на крюке от 5 до 14 кН величина буксования у серийного трактора возросла с 10 до 28%, а трактора с дополнительным ведущим мостом с 7 до 15,0%. При дальнейшем увеличении нагрузки у серийного трактора величина буксования резко возросла, а у трактора с дополнительным ведущим мостом характер возрастания величины буксования остается линейным до 18 кН. Это говорит о том, что у серийного трактора тягово-сцепных свойств оказалось недостаточно. Если сравнивать тяговые усилия трактора серийного и трактора с дополнительным ведущим мостом при одинаковой величине буксования, то можно отметить, что при величине буксования 15 % тяговое усилие у серийного трактора составило 8,1 кН, а у трактора с дополнительным

ведущим мостом -14 кН, а при величине буксования 30% тяговое усилие серийного трактора составило 14 кН, экспериментального - 20 кН, то есть произошло увеличение тягового усилия. Дальнейшее увеличение величины буксования повлекло снижение поступательной скорости движения, что, как следствие, снизит производительность ТТА при выполнении работ.

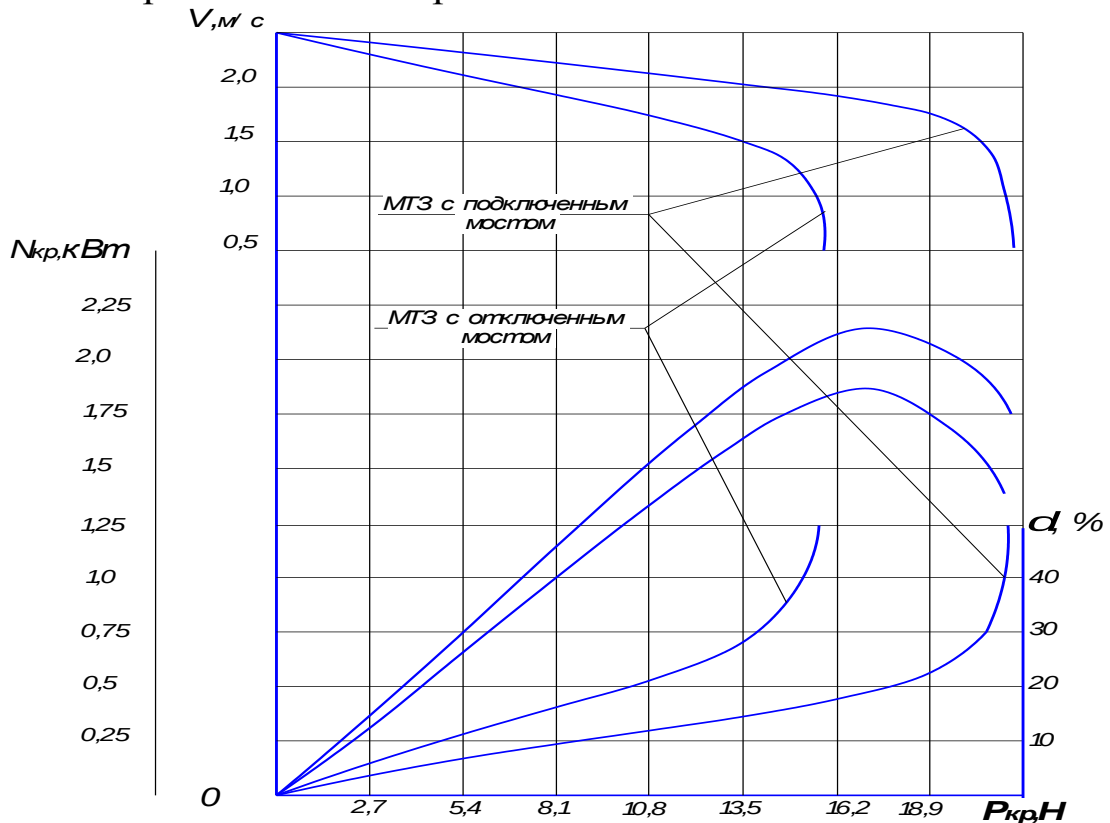


Рис 4.15. Результаты тяговых испытаний трактора класса 1,4

#### 4.2.4 Результаты техногенного воздействия на почву ходовой системы трактора класса 1,4 с дополнительным мостом

На урожайность сельскохозяйственных культур большое влияние оказывает состояние почвы, особенно такие составляющие как плотность (объемный вес), твердость, а также структурный состав.

Верхний плодородный слой почвы состоит из различных минеральных частиц и частиц органического происхождения, между которыми располагаются поры, заполненные воздухом и влагой с различными растворимыми в ней питательными веществами. Кроме этого почва является не только средой для выращивания сельскохозяйственных растений, но и основанием, по которому передвигается различная сельскохозяйственная техника.

При выполнении различных сельскохозяйственных операций происходит постепенное разрушение структуры почвы, ее уплотне-

ние. Наряду с этим, ходовые аппараты различной сельскохозяйственной техники после прохождения по полю оставляют после себя колею, которая затрудняет дальнейшую обработку почвы.

Для определения воздействия на почву ходовой системы трактора МТЗ-80 в серийном варианте и с дополнительным ведущим мостом были проведены экспериментальные исследования. В результате исследований были получены значения плотности, твердости, влажности, которые приведены на рисунке 4.16.

Как показали исследования, если до прохода трактора по полю плотность почвы составляла 1,11 - 1,12 г/см<sup>3</sup>, то после прохода трактора она возросла. Так, после прохода серийного трактора плотность почвы составила 1,29 - 1,31 г/см<sup>3</sup>, а после прохода экспериментального а 1,23 - 1,24 г/см<sup>3</sup>. Коэффициент уплотнения составил у серийного трактора 1,17, а у экспериментального - 1,12. Как видно, использование дополнительного ведущего моста позволило снизить коэффициент уплотнения почвы. Энергетический ущерб от переуплотнения почвы при выполнении технологии на площади можно определить на основании работ Камчадалова Е.П., Липкань А.В. и Рубана Ю.Н.[70,71,72]

$$y_{\text{Ш}_{nn}}^o = \sum_i^{\kappa=5} S_{ik}^o = \sum_i^{\kappa=5} S_1^o \cdot U_{ra} \cdot F_{ik} \cdot \rho_{onm} \cdot \left( k_{mp}^i \cdot k_{npoх}^k - 1 \right) \cdot \text{tg} \alpha, \quad (4.11)$$

где  $S_1^o$  – энергосодержание единицы урожая, кДж;  $S_{ik}^o$  – энергетический эквивалент потерянного урожая, кДж;  $\rho_{onm}$  – оптимальная плотность, г/мм<sup>3</sup>;  $F_{ik}$  – площадь урожая, га;  $k_{mp}^k$  – коэффициент, учитывающий возрастание плотности уплотнения при одном проходе;  $k_{npoх}^k$  – коэффициент, учитывающий возрастание плотности почвы в колее от числа проходов.

Расчеты показывают, что энергетический ущерб от применения серийного трактора на 11,3 % больше по сравнению с данными экспериментального варианта.

После прохода тракторов по полю изменяется не только плотность почвы, но и твердость. Как известно твердость почвы характеризует сопротивление почвы резанию, то есть ее обработке. Увеличение твердости почвы повышает энергозатраты на проведение различных сельскохозяйственных работ. В результате экспериментальных исследований по определению твердости почвы были получены данные, которые приведены на рисунке 4.16.

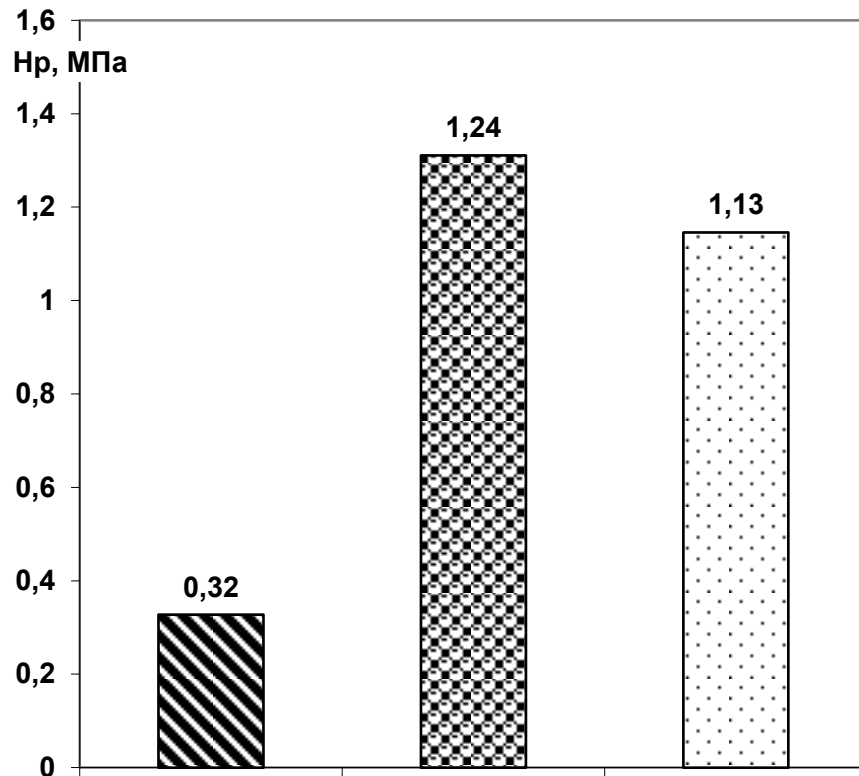
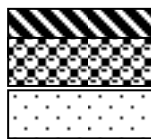


Рис.4.16. Результаты экспериментальных исследований по определению твердости почвы



- твердость почвы до прохода трактора;
- твердость почвы после прохода серийного трактора;
- твердость почвы после прохода экспериментального трактора.

В результате воздействия ходовых систем твердость почвы возросла, как после прохода серийного трактора, так и у экспериментального трактора. Если до их прохода она составляла 0,32 - 0,33 МПа, то после прохода серийного и экспериментального транспортного агрегатов она соответственно составила 1,24 - 1,25 МПа и 1,13 - 1,144 МПа.

Одновременно с определением плотности и твердости почвы были проведены экспериментальные исследования по определению глубины колеи. Результаты исследований показали, что после прохода трактора класса 1,4 с колесной формулой 4x2 глубина колеи составила 0,07 - 0,09 м, а после прохода трактора с дополнительным ведущим мостом 0,04 - 0,05 м. Таким образом, использование дополнительного ведущего моста позволило снизить глубину колеи по сравнению с таковой в серийном варианте. Это объясняется тем, что величина буксования у серийного трактора выше.

Таким образом, использование трактора МТЗ-80 с дополнительным ведущим мостом снижает техногенное воздействие на почву.

#### 4.2.5 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

Эффективность использования новой техники чаще всего оценивается ее производительностью. С целью определения эффективности использования трактора класса 1,4 с колесной формулой 4x2 с дополнительным ведущим мостом и меняющимся сцепным весом в условиях Амурской области были проведены сравнительные хозяйственные испытания. В качестве сравнения серийный вариант трактора класса 1,4 с колесной формулой 4x2. Сравнение было выполнено методом сплошного хронометража всего рабочего времени.

Основной целью проведения хронометражных хозяйственных испытаний является нахождение параметров, характеризующих эффективность работы МТА. К ним относятся:

- производительность в час времени движения;
- производительность в час чистого рабочего времени;
- средняя скорость движения;
- расход топлива на единицу обработанной площади.

Обработка полученных данных проводилась на основании общепринятых методик.

Производительность в час чистого рабочего времени

$$W_{\text{ч}} = \frac{F}{T_p}, \quad (4.12)$$

где  $T_p$  – время движения на гонах, с;  $F$  – обработанная площадь,  $\text{м}^2$ .

Производительность в час времени движения

$$W_{\text{дв}} = \frac{F}{T_{\text{дв}}}, \quad (4.13)$$

где  $T_{\text{дв}}$  – время движения, с.

Средняя скорость движения на гонах

$$V_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{г}} \cdot n_{\text{г}}}{T_p}, \quad (4.15)$$

где  $S_{\text{г}}$  – длина рабочего гона, км;  $n_{\text{г}}$  – число гонов.

Расход топлива на единицу обработанной площади

$$\sigma_y = \frac{G}{F}, \quad (4.16)$$

где  $G$  – количество топлива, израсходованного на обработку площади, т.

Коэффициент использования времени движения

$$K_{\text{дв}} = \frac{T_p}{T_p + T_{\text{п}}} = \frac{T_p}{T_{\text{д}}}, \quad (4.17)$$

где  $T_{\text{д}}$  – общее время смены, ч.

Сравнительных хозяйственных испытаний трактора класса 1,4 были проведены на таких сельскохозяйственных операциях, как сплошная культивация, прикатывание, боронование. Полученные данные приведены в таблицах 4.2 - 4.4

Таблица 4.8

Результаты сравнительных хозяйственных испытаний при бороновании

| Показатели                                            |                                  | Состав МТА<br>(МТЗ-80+БЗСС-1.0 (15 шт.)) |                   |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|-------------------|
|                                                       |                                  | серийный                                 | экспериментальный |
| Длина гона, м                                         |                                  | 920                                      | 920               |
| Ширина захвата, м                                     | конструктивная                   | 15,00                                    | 15,00             |
|                                                       | рабочая                          | 14,91                                    | 14,92             |
| Скорость движения, м/с                                |                                  | 2,52                                     | 3,16              |
| Производительность, га/ч                              | в час времени движения           | 6,29                                     | 7,87              |
|                                                       | в час основного рабочего времени | 6,57                                     | 8,14              |
| Коэффициент использования времени движения            |                                  | 0,88                                     | 0,86              |
| Коэффициент использования времени смены               |                                  | 0,84                                     | 0,80              |
| Расход топлива на единицу обработанной площади, кг/га |                                  | 1,58                                     | 1,38              |

Таблица 4.9

Результаты сравнительных хозяйственных испытаний при прикатывании

| Показатели                                            |                                  | Состав МТА<br>(МТЗ-80+3ККШ-6 (2 шт.)) |                   |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
|                                                       |                                  | серийный                              | экспериментальный |
| Длина гона, м                                         |                                  | 914                                   | 914               |
| Скорость движения, м/с                                |                                  | 2,46                                  | 3,11              |
| Производительность, га/ч                              | в час времени движения           | 4,33                                  | 5,47              |
|                                                       | в час основного рабочего времени | 4,70                                  | 5,94              |
| Коэффициент использования времени движения            |                                  | 0,87                                  | 0,85              |
| Коэффициент использования времени смены               |                                  | 0,85                                  | 0,81              |
| Расход топлива на единицу обработанной площади, кг/га |                                  | 1,75                                  | 1,56              |

Таблица 4.10

Результаты сравнительных хозяйственных испытаний  
при сплошной культивации

| Показатели                                            |                                  | Состав МТА (МТЗ-80+КПС-4) |                   |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------|
|                                                       |                                  | серийный                  | экспериментальный |
| Длина гона, м                                         |                                  | 930                       | 930               |
| Ширина захвата, м                                     | конструктивная                   | 4,00                      | 4,00              |
|                                                       | рабочая                          | 3,98                      | 3,98              |
| Скорость движения, м/с                                |                                  | 2,30                      | 2,94              |
| Производительность, га/ч                              | в час времени движения           | 1,71                      | 2,17              |
|                                                       | в час основного рабочего времени | 1,80                      | 2,29              |
| Коэффициент использования времени движения            |                                  | 0,85                      | 0,83              |
| Коэффициент использования времени смены               |                                  | 0,83                      | 0,85              |
| Расход топлива на единицу обработанной площади, кг/га |                                  | 4,56                      | 4,21              |

Анализ таблицы 4.9 показывает, что использование трактора МТЗ-80 с дополнительным ведущим мостом при прикатывании позволило повысить производительность в час основного рабочего времени на 23,8% и снизить расход топлива на единицу обработанной площади на 14,4% по сравнению с трактором МТЗ-80, работающим в серийном варианте. Аналогичные результаты получены при сплошной культивации и бороновании. Так, при сплошной культивации увеличение производительности в час основного времени у трактора с дополнительным ведущим мостом составило 27,2%, и при этом снижение расхода топлива на единицу обработанной площади составило 12,1%. Использование трактора МТЗ-80 с дополнительным мостом при бороновании позволило повысить производительность в час основного рабочего времени на 27,1% и снизить расход топлива на единицу обработанной площади на 8,3%.

Результаты сравнительных хозяйственных испытаний показали, что использование трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом позволило повысить производительность в час основного рабочего времени и снизить расход топлива на единицу обработанной площади по сравнению с серийным трактором на прикатывании, сплошной культивации и бороновании.

### **4.3 Результаты экспериментальных исследований трактора класса 1.4 с прицепом 2-ПТС4, имеющим активный ведущий мост**

#### **4.3.1 Результаты тяговых испытаний**

Тяговые испытания трактора МТЗ-80/82 и прицепа 2ПТС-4 были проведены с серийным прицепом и прицепом, имеющим активный передний мост.

Испытания проводились на поле, которое по своим характеристикам удовлетворяло требованиям ГОСТ 7057-88. Почва на участке испытаний по механическому составу представляла собой тяжелый суглинок. Средняя влажность почвы на участке составляла 26 - 28%. Тяговые испытания проводили на третьей передаче путем торможения трактора «Беларусь» другим трактором. Изменяя передачу и обороты двигателя загрузочного трактора, достигали различную нагрузку на крюке испытуемого трактора.

В результате исследований были получены данные, после обработки которых была построена тяговая характеристика трактора МТЗ-80/82 с серийным и экспериментальным прицепом (рис. 4.17). Тяговая характеристика представляет собой комплекс зависимостей: скорости движения, буксования, тяговой мощности от тягового усилия трактора.

Анализ сравнительной тяговой характеристики трактора «Беларусь» с серийным прицепом и прицепом, имеющим активный передний мост (рис. 4.17) позволяет сделать вывод, что использование ведущего переднего моста прицепа позволяет снизить величину буксования. При одном и том же тяговом усилии 12 кН буксование серийного трактора составляет 26,5 %, а экспериментального трактора 15,5 %, что на 41,6% меньше. При увеличении тягового усилия у серийного трактора интенсивность буксования резко возрастает, что говорит о снижении тягово-сцепных качеств. У трактора с экспериментальным мостом интенсивность возрастания величины буксования гораздо меньше, что свидетельствует о достаточных тягово-сцепных качествах.

Если сравнить между собой тяговое усилие серийного и экспериментального трактора то можно отметить, что при одном и том же буксовании тяговое усилие экспериментального трактора выше. Так,

при 15% буксовании тяговое усилие составляет 6 кН, в то же время у экспериментального 10 кН.

Наряду со снижением тягового усилия различный характер протекания кривых буксования приводит к снижению рабочих скоростей, что влечет изменение тяговой мощности. Использование активного ведущего моста прицепа позволяет повысить на 11,7% тяговую мощность в сравнении с серийным.

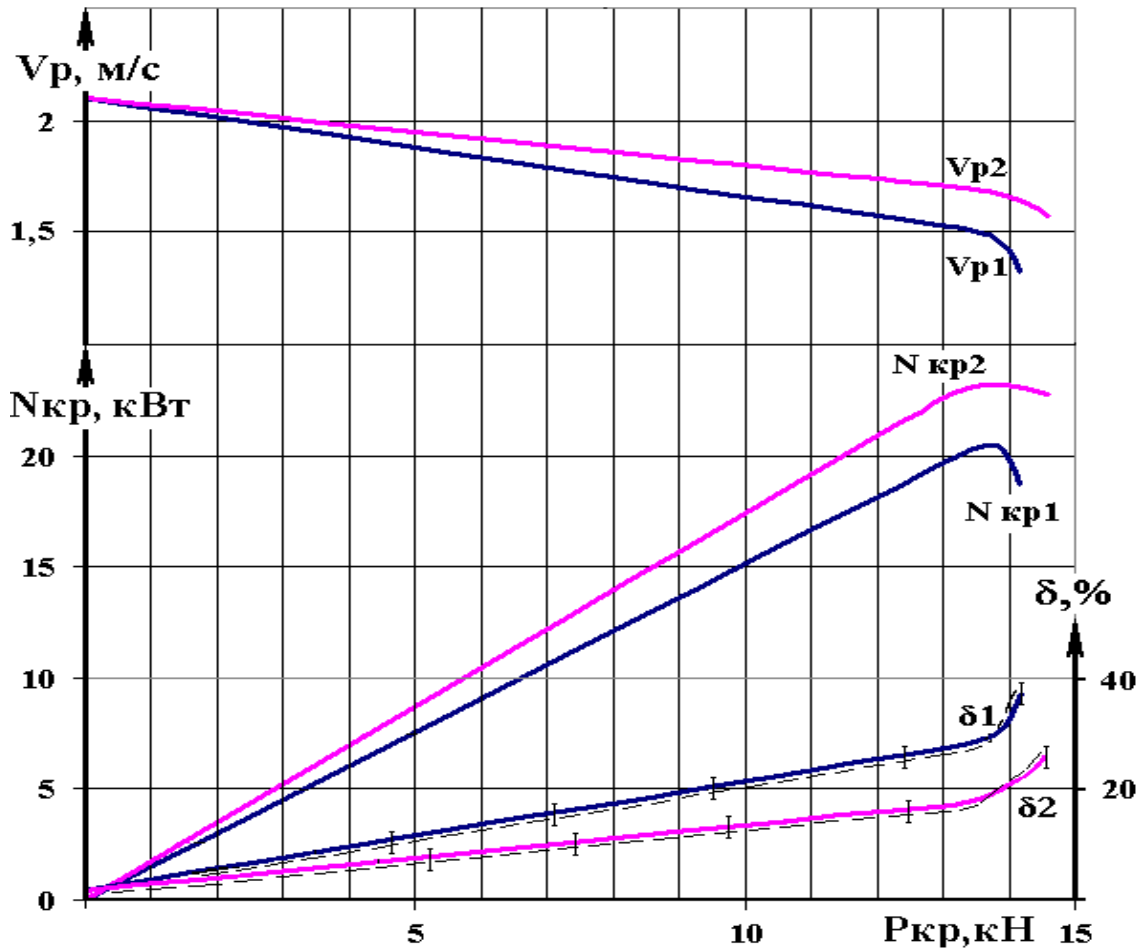


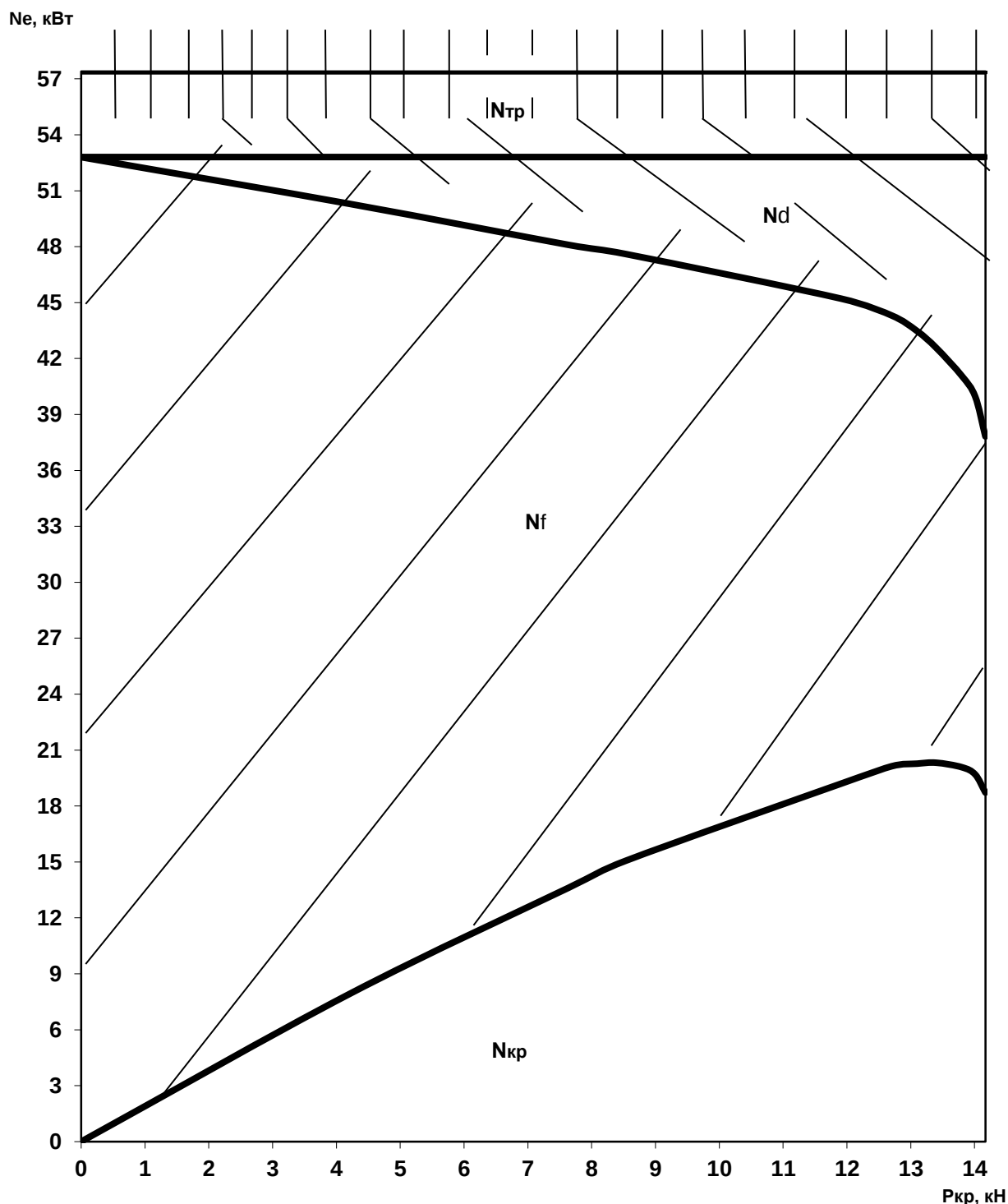
Рис. 4.17. Сравнительная тяговая характеристика трактора МТЗ-82

1 – трактор с серийным прицепом; 2 – трактор с экспериментальным прицепом;

---- – теоретические зависимости;  
 ——— – экспериментальные зависимости.

Распределение составляющих мощностного баланса трактора с серийным и экспериментальным прицепами приведено на рисунках 4.18 и 4.19. Из графиков видно, что характер изменения составляющих баланса мощности серийного и экспериментального транспортного агрегата совпадает. Однако соотношение между отдельными составляющими мощностного баланса различны, что можно объяснить различными тягово-сцепными свойствами. При малых тяговых уси-

лиях, как видно из графиков (рис. 4.18, 4.19), преобладают потери на качение. С переходом на более высокие тяговые усилия возрастает мощность, затрачиваемая на буксование. Мощность, затрачиваемая



на буксование больше у трактора с серийным прицепом, по сравнению с экспериментальным, это говорит о том, что дополнительный активный мост прицепа повышает тягово-сцепные качества.

Рис. 4.18. Мощностной баланс трактора с серийным прицепом

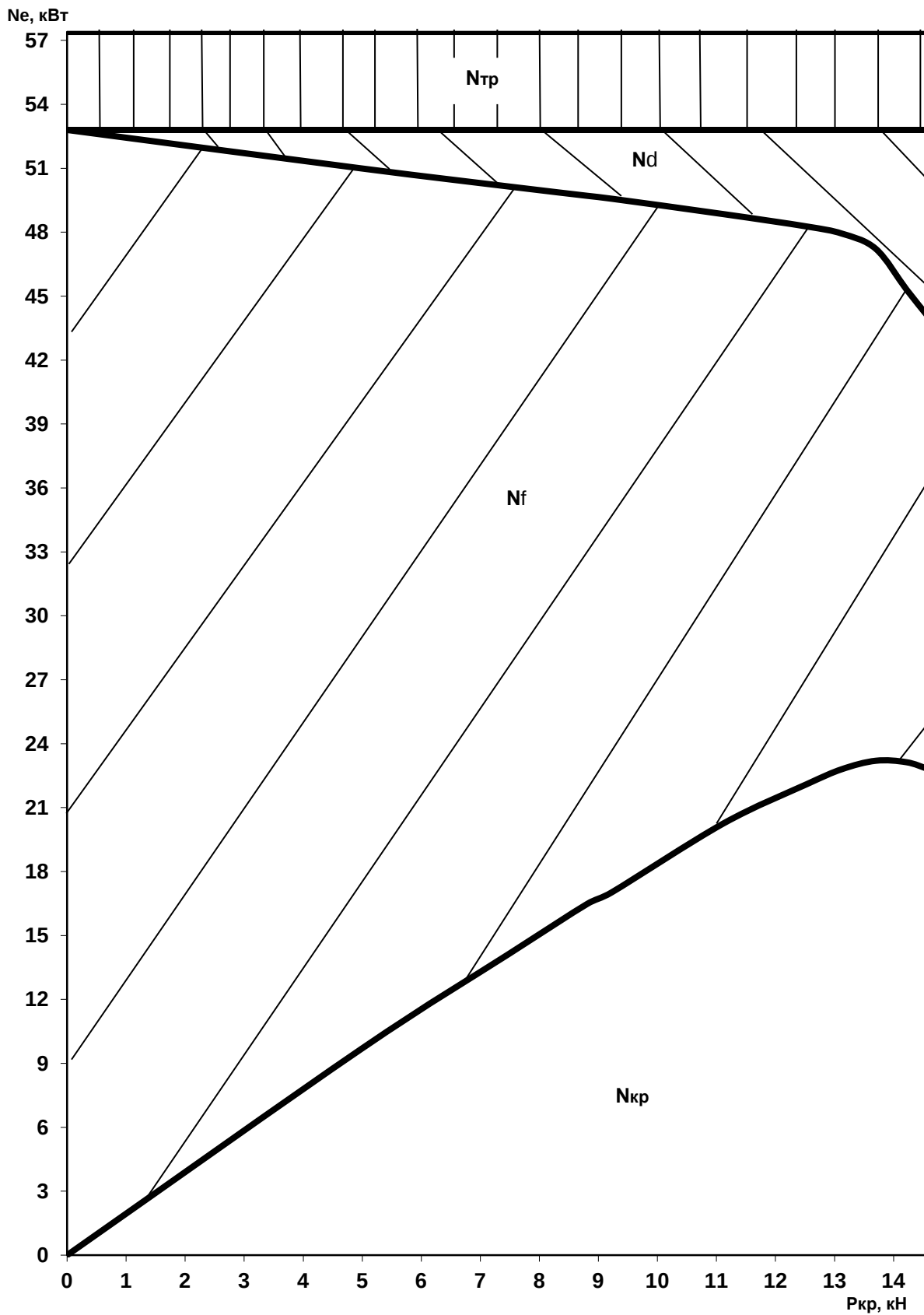


Рис. 4.19. Мощностной баланс трактора с экспериментальным прицепом

#### **4.3.2 Техногенное воздействие на почву ходовой системы транспортного агрегата**

На урожайность сельскохозяйственных культур большое влияние оказывает состояние почвы. В частности плотность (объемный вес), твердость, а также структурный состав.

Почва – верхний плодородный слой, состоящий из различных минеральных частиц, частиц органического происхождения, между которыми имеются поры заполненные воздухом и влагой, с различными растворимыми в ней питательными веществами. Наряду с этим почва является не только средой для выращивания сельскохозяйственных растений, но и основанием, по которому передвигается различная сельскохозяйственная техника.

При выполнении различных сельскохозяйственных операций происходит постепенное разрушение структуры почвы, ее уплотнение. Также, ходовые аппараты после прохождения по полю оставляют после себя колею, которая затрудняет дальнейшую обработку почвы.

Для определения воздействия на почву ходовой системы трактора МТЗ-80/82 с серийным и прицепом с активным ведущим мостом были проведены экспериментальные исследования. В результате исследований были получены значения плотности, твердости, влажности и глубины колеи.

Известно, что плотность (объемный вес) почвы зависит от минералогического состава, содержания гумуса, а также от степени уплотнения почвы ходовыми системами тракторов, автомобилей и различной сельскохозяйственной техники. Результаты экспериментальных исследований по определению плотности почвы приведены на рисунке 4.20.

Как показали исследования, если до прохода трактора по полю плотность почвы составляла  $1,25 - 1,27 \text{ г/см}^3$ , то после прохода по ней транспортных агрегатов она возросла.

Так, после прохода серийного транспортного агрегата плотность почвы составила  $1,61 - 1,64 \text{ г/см}^3$ , а после прохода экспериментального транспортного агрегата  $1,50 - 1,53 \text{ г/см}^3$ . Коэффициент уплотнения составил у серийного транспортного агрегата 1,28, а у экспериментального транспортного агрегата 1,21. Как видно, использование дополнительного ведущего моста позволило снизить коэффициент уплотнения почвы.

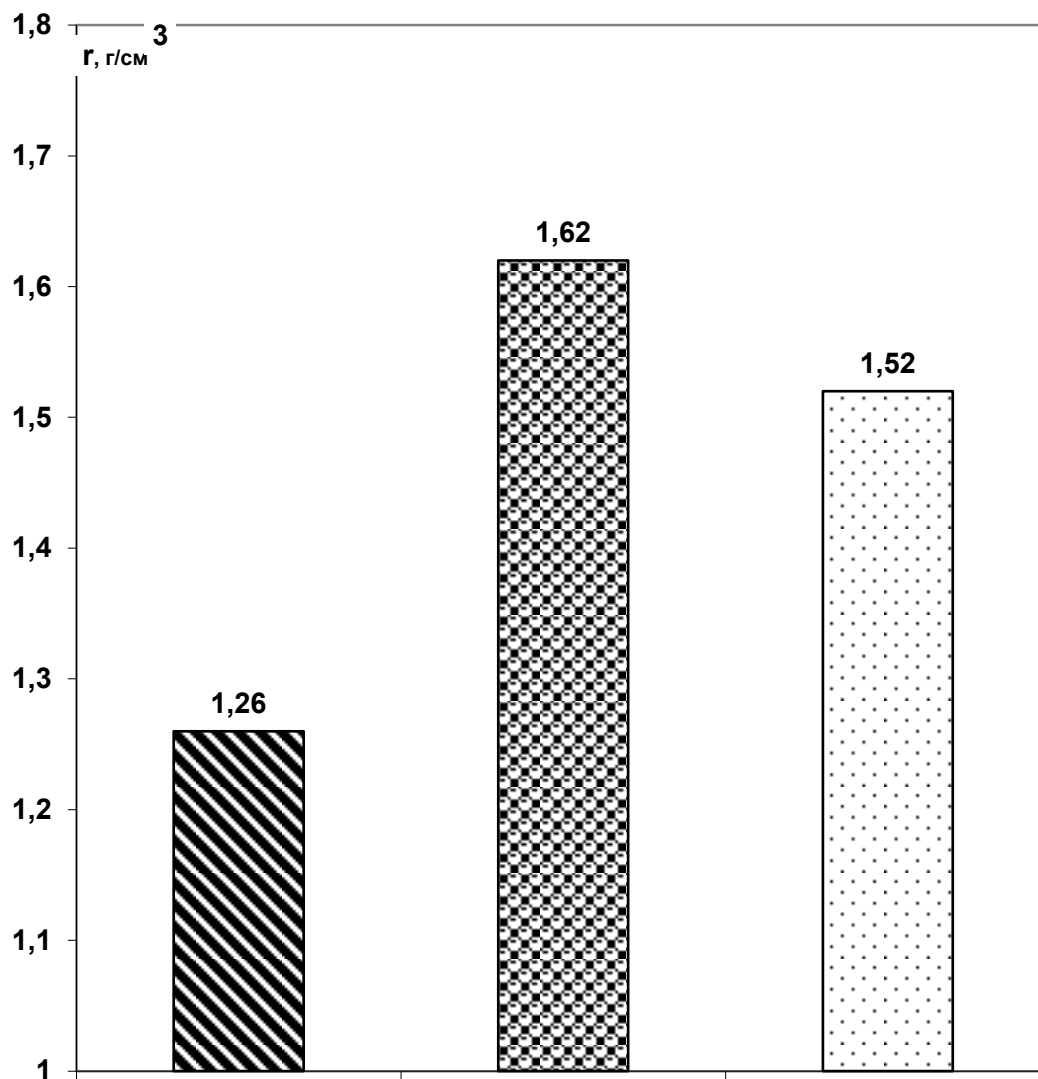
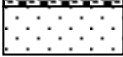


Рис. 4.20. Результаты экспериментальных исследований по определению  
почвы

плотность почвы до прохода транспортного агрегата;  
 плотность почвы после прохода серийного транспортного агрегата;  
 плотность почвы после прохода экспериментального транспортного агрегата.

Расчеты показывают, что энергетический ущерб от применения серийного транспортного агрегата на 10,3 % больше чем у экспериментального транспортного агрегата.

После прохода по полю транспортных агрегатов наряду с плотностью изменяется и твердость почвы. Как известно твердость почвы характеризует сопротивление почвы резанию, то есть ее обработки. Увеличение твердости почвы повышает энергозатраты на проведение различных сельскохозяйственных работ.

Результаты исследований приведены на рисунке 4.21. В результате воздействия ходовых систем твердость почвы возросла, как у серийного транспортного агрегата, так и у экспериментального транспортного агрегата. Если до их прохода она составляла 0,326...0,329 МПа, то после прохода серийного и экспериментального транспортного агрегата она соответственно составила 1,306 - 1,314 МПа и 1,143 - 1,147 МПа.

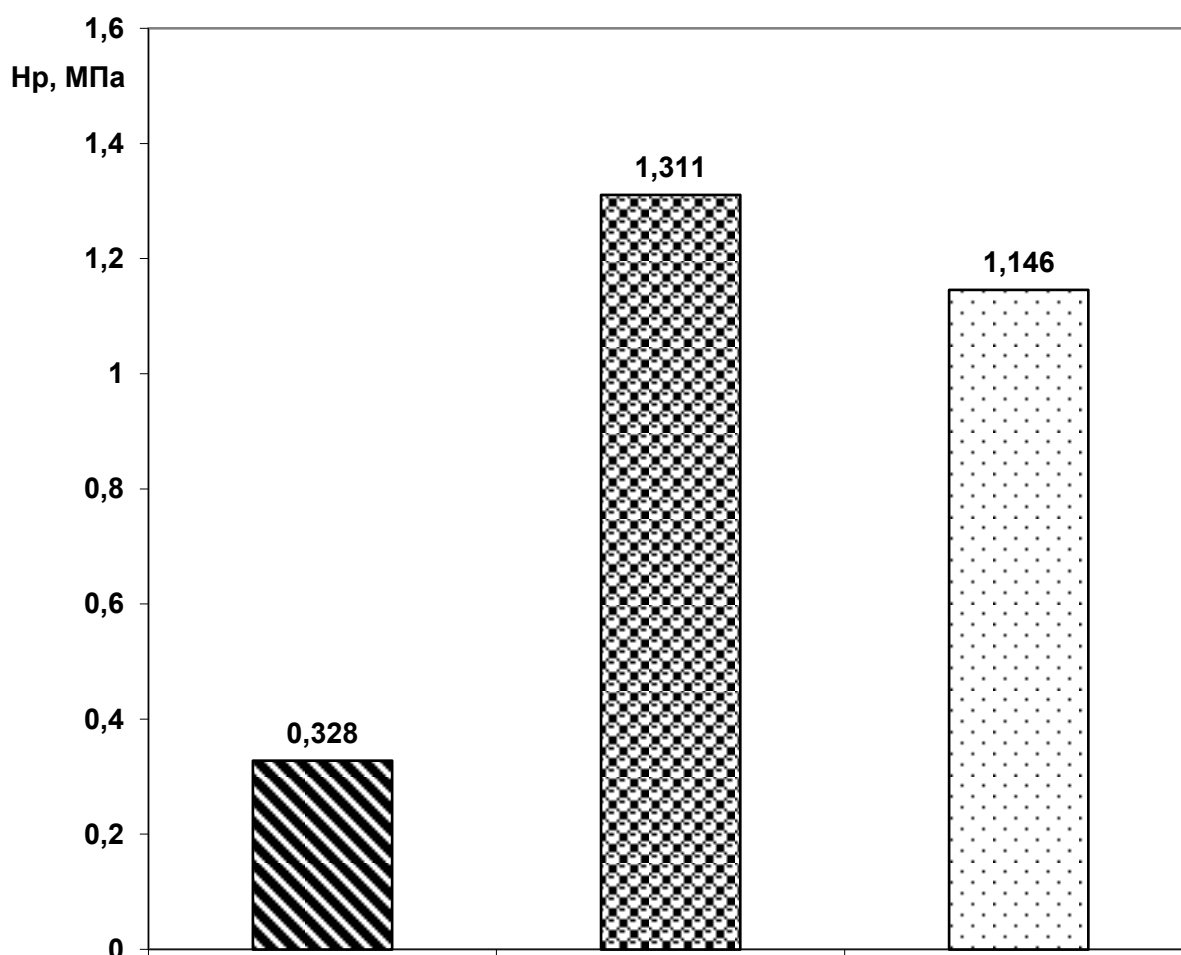


Рис. 4.21. Результаты экспериментальных исследований по определению твердости почвы



твердость почвы до прохода транспортного агрегата;

твердость почвы после прохода серийного транспортного агрегата;

твердость почвы после прохода экспериментального транспортного агрегата.

Одновременно с определением плотности и твердости почвы были проведены экспериментальные исследования по определению глубины колеи. Результаты исследований приведены в таблице 4.11

После прохода экспериментального трактора глубина колеи меньше, чем у серийного на 48%. Это объясняется тем, что величина

буксования у серийного трактора выше. С увеличением нагрузки глубина колеи возрастает.

Таблица 4.11

Результаты экспериментальных исследований по определению  
глубины колеи

| Показатель       | Экспериментальный агрегат |       |       | Серийный агрегат |       |       |
|------------------|---------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
|                  | Тяговое усилие, кН        |       |       |                  |       |       |
|                  | 8,81                      | 11,12 | 14,22 | 8,63             | 11,9  | 14,17 |
| Глубина колеи, м | 0,042                     | 0,056 | 0,082 | 0,060            | 0,074 | 0,122 |

Таким образом, в реальных условиях эксплуатации использование трактора МТЗ-80/82 с прицепом 2ПТС-4 и активным ведущим мостом снижает техногенное воздействие на почву.

#### 4.3.3 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

При определении эффективности применения новой техники, основным показателем является повышение производительности труда. С целью определения эффективности использования трактора МТЗ-80/82 и прицепа 2ПТС-4 на транспортных работах на почвах с низкой несущей способностью в условиях Амурской области были проведены сравнительные хозяйственные испытания (рис. 4.22). Для сравнения брался трактор МТЗ-80/82 и прицеп 2ПТС-4 с ведущим передним мостом.

Сравнение было выполнено методом хронометражных наблюдений за работой тракторов на вывозе органических и минеральных удобрений. Основная цель хронометражных наблюдений – определение основных параметров, которые характеризуют эффективность их работы:

$W_{\text{дв}}$  – производительность в час времени движения, т км/ч;

$W_{\text{ч}}$  – производительность в час рабочего времени, т км/ч;

$V_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения, м/с;

$G_y$  – расход топлива на единицу перевезенного груза, кг/ткм.

В таблице 4.12 приведены результаты сравнительных хозяйственных испытаний трактора МТЗ-82 с серийным и экспериментальным прицепом 2ПТС-4 на полевых транспортных работах. Полученные результаты показывают, что использование трактора МТЗ-82 с прицепом 2ПТС-4 с передним ведущим мостом позволило повысить производительность в час времени движения на 16 %, в час чистого

рабочего времени на 15,3 % и снизить расход топлива на 19,1 % по сравнению с трактором МТЗ-82 и серийным прицепом.

Расчет основных параметров, характеризующих эффективность работы транспортных агрегатов произведен на основании общепринятых методик.



Рис. 4.22. Фрагмент проведения сравнительных хозяйственных испытаний

Таблица 4.12

Результаты сравнительных хозяйственных испытаний трактора МТЗ-82 и прицепа 2ПТС-4 на транспортных работах

| Показатели                                               | МТЗ-82 + 2ПТС-4 |                   |
|----------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
|                                                          | серийный        | экспериментальный |
| Длина поля, м                                            | 826             | 826               |
| Длина поворота, м                                        | 70              | 70                |
| Грузоподъемность теоретическая, т                        | 4               | 4                 |
| Грузоподъемность фактическая, т                          | 3,7             | 3,7               |
| Скорость движения по прямой, м/с                         | 1,47            | 1,69              |
| Скорость движения на поворотах, м/с                      | 1,27            | 1,49              |
| Производительность в час времени движения, ткм/ч         | 17,8            | 20,65             |
| Производительность в час чистого рабочего времени, ткм/ч | 19,6            | 22,6              |
| Коэффициент использования времени движения               | 0,93            | 0,88              |
| Расход топлива кг/ткм                                    | 1,93            | 1,62              |

## 5 ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В связи с постоянным ростом цен на энергоносители, очень трудно оценить эффективность применения, как новой техники, так и технологий. Поэтому Всероссийский институт механизации разработал методику, где в качестве критерия эффективности взята энергоемкость. Это объясняется тем, что данный показатель не зависит от колебания цен на энергоносители. При обосновании эффективности применения новой техники данная методика дает возможность провести сравнительный анализ. За основной критерий энергетической оценки принимают показатель энергетической эффективности, который учитывает затраты энергии, как прямой, так и вспомогательной, необходимой для производства единицы продукции, а также энергию, которая будет содержаться в конечном продукте. При определении эффективности разработки учитывались методические и нормативные материалы, представленные в работах [53, 80, 102, 103, 104, 135, 136, 141, 142, 144, 149].

Исходя из вышеизложенного, произведен расчет эффективности применения на транспортных работах прицепа с ведущим мостом, по методике, предложенной в работе [142,143,144,145,146,147].

Прямые затраты энергии определяются по формуле

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

где  $H_m$  – расход топлива, кг/т·км;  $a_m$  – теплосодержание топлива, МДж/кг;  $f_m$  – коэффициент учитывающий дополнительные затраты энергии на производство топлива, МДж/кг.

Затраты живого труда

$$E_{жс} = \frac{n_{ч} \cdot a_{жс}}{W_{см}}, \quad (5.2)$$

где  $n_{ч}$  – число основных операторов, чел;  $a_{жс}$  – энергетический эквивалент живого труда, МДж/кг;  $W_{см}$  – производительность транспортного агрегата, т·км/ч.

Удельная энергоемкость трактора в расчете на 1 час работы трактора

$$E_m = \frac{M_m \cdot C_{тр} \cdot (K_m + K_{mk} + K_{тр})}{100 \cdot T_{нт}}, \quad (5.3)$$

где  $M_m$  – масса энергетического средства, кг;  $C_{mp}$  – энергетический эквивалент энергетического средства, МДж/кг;  $K_m, K_{mk}, K_{mp}$  – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт тракторов, %;  $T_{hm}$  – годовая загрузка трактора, ч.

Удельная энергоемкость прицепа

$$E_m = \frac{P_m \cdot M_m (\Phi_m + \Phi_{mk})}{100 \cdot T_{hm}}, \quad (5.4)$$

где  $P_m$  – энергетический эквивалент прицепа, МДж/кг;  $M_m$  – масса прицепа, кг;  $\Phi_m, \Phi_{mk}$  – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт прицепа, %;  $T_{hm}$  – годовая загрузка прицепа, ч.

Суммарная энергоемкость трактора и прицепа в расчете на 1 га

$$E_{tm} = \frac{E_t + E_m}{W_{cm}}. \quad (5.5)$$

Совокупные или полные энергозатраты

$$E_{tn} = E_n + E_{жс} + E_{tm}. \quad (5.6)$$

Экономия полных энергозатрат

$$\Delta E_{tn} = E_{tnn} - E_{tnб}, \quad (5.7)$$

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

### 5.1 Топливо-энергетический анализ использования трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом на транспортных работах

Исходные данные для расчета взяты из хронометражных наблюдений. В качестве сравнения взят серийный транспортный агрегат. Полученные расчеты приведены в таблице 5.1.

Приведенные расчеты показали, что использование колесного трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом позволяет получить экономию 20,35 МДж/т·км по сравнению с серийным вариантом на транспортных работах. В рублевом эквиваленте снижение себестоимости 1 т·км составляет 4,6 рубля.

Таблица 5.1

Топливоно-энергетическая оценка использования трактора класса 1,4  
с дополнительным ведущим мостом на транспортных работах, МДж/ткм

| Параметры                       | Класс 1,4 |                                                           |
|---------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|
|                                 | Серийный  | Экспериментальный<br>с дополнительным веду-<br>щим мостом |
| 1. Прямые затраты               | 108,00    | 90,10                                                     |
| 2. Затраты живого труда         | 0,07      | 0,06                                                      |
| 3. Суммарная энергоёмкость МТА  | 8,44      | 6,00                                                      |
| 4. Совокупные энергозатраты     | 116,51    | 96,16                                                     |
| 5. Экономия полных энергозатрат | -         | 20,35                                                     |

## 5.2 Топливоно-энергетическая оценка использования трактора класса 1,4 и прицепа 2-ПТС-4

Исходные данные для расчета взяты из хронометражных наблюдений проведенных за транспортным агрегатом на вывозе органических удобрений. В качестве сравнения взят серийный транспортный агрегат, состоящий из трактора МТЗ-82 и прицепа 2ПТС-4.

Полученные расчеты приведены в таблице 5.2.

Приведенные расчеты показали, что использование трактора МТЗ-82 и прицепа с активным ведущим мостом дает экономию 18,28 МДж/т км по сравнению с серийным прицепом. Расчеты приведены только с учетом того, что экспериментальный трактор будет использоваться только на ранневесенних сельскохозяйственных работах. В то же время сфера его использования намного больше.

Таблица 5.2

Топливоно - энергетическая оценка использования трактора класса 1,4  
на транспортных работах (МДж/т км)

| Показатели                                 | Серийный агрегат | Экспериментальный агрегат |
|--------------------------------------------|------------------|---------------------------|
| Прямые затраты труда                       | 101,70           | 85,37                     |
| Затраты живого труда                       | 0,07             | 0,06                      |
| Суммарная энергоёмкость трактора и прицепа | 8,44             | 6,5                       |
| Совокупные или полные энергозатраты        | 110,21           | 91,93                     |
| Экономия полных энергозатрат               | —                | 18,28                     |

### 5.3 Топливоно-энергетический анализ использования трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом на полевых работах

Исходные данные для расчёта взяты из сравнительных хозяйственных испытаний, проведённых в реальных условиях эксплуатации.

Полученные данные приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Топливоно-энергетический анализ (МДж/га)

| Параметры                      | MTЗ-80 и БЗСС-1,0 |                                           | MTЗ-80 и ЗККШ-6 |                                           | MTЗ-80 и КПС-4 |                                           |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|
|                                | Серийный          | Экспериментальный с дополнительным мостом | Серийный        | Экспериментальный с дополнительным мостом | Серийный       | Экспериментальный с дополнительным мостом |
| 1. Прямые затраты              | 83,27             | 72,73                                     | 92,23           | 82,21                                     | 240,3          | 221,87                                    |
| 2. Затраты живого труда        | 0,19              | 0,15                                      | 0,27            | 0,21                                      | 0,7            | 0,55                                      |
| 3. Суммарная энергоёмкость МТА | 34,04             | 26,26                                     | 47,58           | 35,99                                     | 124,2          | 93,37                                     |
| 4. Совокупные энергозатраты    | 117,50            | 99,14                                     | 140,08          | 118,41                                    | 364,9          | 315,79                                    |
| 5. Экономия полных затрат      | -                 | 18,36                                     | -               | 21,41                                     | -              | 49,11                                     |

Из таблицы 5.3 можно сделать следующий вывод, что общая экономия полных энергозатрат при бороновании, сплошной культивации, и прикатывании составила 88,88 МДж/га

## ВЫВОДЫ

1. На основании принципов теории силового потока обоснована схема привода дополнительного ведущего моста трактора и прицепа. В предложенной схеме сумма мощностных и силовых факторов, а также сумма скольжения равны нулю, что дает возможность утверждать о ее работоспособности.

2. Установлено, что перераспределение сцепного веса и использование дополнительного ведущего моста трактора позволяет повысить тягово-сцепные свойства колесного трактора класса 1,4. Величина буксования при номинальном тяговом усилии у трактора с дополнительным ведущим мостом снизилась с 25 до 15%, тяговое усилие возросло на 35 - 40 %, сцепной вес на 35,6 %, рабочая скорость движения на 25 - 30 %, производительность на 27 - 29% по сравнению с серийным трактором.

3. Установлено, что применение активного ведущего моста прицепа позволяет повысить тягово-сцепные свойства транспортного агрегата. Использование на транспортных работах трактора класса 1,4 и прицепа 2ПТС-4 с активным ведущим мостом позволяет повысить рабочую скорость движения на 33,1 %, производительность на 16,0 % и снизить расход топлива на единицу перевозимого груза на 19,1 % по сравнению с серийным.

4. Использование прицепа с активным ведущим мостом уменьшает техногенное воздействие транспортного агрегата на почву. После прохода серийного агрегата плотность почвы составила – 1,61...1,64 г/см<sup>3</sup>, после прохода экспериментального – 1,50-1,54 г/см<sup>3</sup> (увеличилась на 10%). Твердость почвы соответственно 1,306 - 1,314 и 1,143 - 1,147 МПа (увеличилась на 11%). Глубина колеи после прохода экспериментального варианта меньше на 48 % по сравнению с серийным.

5. Использование колесного трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом позволяет получить экономию 20,35 МДж/т·км на транспортных работах и 88,88 МДж/га на полевых работах по сравнению с серийным. В рублевом эквиваленте снижение себестоимости 1 т·км составляет соответственно 4,6 и 20,1 рубля. Использование трактора класса 1,4 с прицепом имеющий активный ведущий мост дает экономии 18,28 МДж/ткм или 4,1 рубля на 1ткм по сравнению с серийным вариантом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завалишин, Ф.С. Исследование и оценка тракторно-транспортных агрегатов / Ф.С. Завалишин, А.Е. Волощенко // Механизация сельскохозяйственного производства. записки Воронежского СХИ. – Воронеж, 1972. – Т.53. – С. 3 – 10.
2. Агейкин, А.С. Проходимость автомобилей / А.С. Агейкин.- М.: Машиностроение, 1981.- 25-27 с.
3. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Я.С. Агейкин. - М.: Машиностроение, 1972.- 184 с.
4. Агроклиматические ресурсы Амурской области.- Л.: Гидрометеиздат, 1973.-103 с.
5. Агроклиматические ресурсы Амурской области.- Л.: Гидрометеиздат, 1985.-112 с.
6. Азимжанов, И.У. Динамическая модель трактора с полунавесным прицепом / И.У. Азимжанов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. - № 9. - С. 25-27.
7. Алтосаар, З. А. Тяговые показатели трактора с прицепным ведущим мостом в условиях Эстонской ССР / З. А. Алтосаар // Сб. науч. тр. ЛСХИ. – Л., 1976. - Т. 97. – С. 223-233.
8. Антонов, А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин: теория и расчет / А.С. Антонов.- Л.: Машиностроение, 1967.- 439 с.
9. Антонов, Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д.А. Антонов. - М.: Машиностроение, 1970.- 176 с.
10. Апарин, И.В. Состояние машинно-тракторного парка и законодательное обоснование технического перевооружения АПК России / И.В. Апарин. - М.: ИМЭСХ, 2003. - 2-5 с.
11. Арсеньев, Г.М. Исследование тяговых качеств трактора МТЗ-52 и тяговых сопротивлений прицепов в транспортном агрегате / Г.М. Арсеньев, Г.Ф. Винокуров // Труды Великолукского СХИ, 1972. - Вып. 25.- С. 48-51.
12. Асенов, П.В. Анализ схем силовой передачи автомобилей высокой проходимости / П.В. Асенов // Автомобильная промышленность. - 1996. - № 10.- С. 28-31.
13. Астафьев, В.Л. Испытания тракторов высоких тяговых классов в условиях целинного земледелия / В.Л. Астафьев [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2003.- №8.- С.23-24.
14. Баранский, А.Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использования колесных тракторов / А.Н. Баранский. - Минск: Урожай, 1968.- 255 с.

15. Барский, И.Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В.Н. Анилович, Г.И. Кутьков.-М.: Машиностроение,1973.- 280 с.

16. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность-машина / М.Г. Беккер. - М.: Машиностроение, 1973.- 418 с.

17. Белковский, В.Н. Рекомендации по определению параметров шин для сельскохозяйственной техники, обеспечивающих требования ГОСТ 26955-86 по допустимому воздействию на почву / В.Н. Белковский [и др.] - Днепропетровск.- М.: ВИМ-НИИ КГШ, 1987.- 20 с.

18. Белковский, В.Н. Шины сверхнизкого давления / В.Н. Белковский [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1992.- № 3-4.- С. 38-39.

19. Бендат, Д.Ж. Изменение и анализ случайных процессов / пер. с англ./ Д.Ж. Бендат, Л. Пирсол. - М.: МКР,1974.-464 с.

20. Бируля, А.К. Исследование взаимодействия колес с поверхностью качения, как основа оценки проходимости / А.К. Бируля / Проблемы повышения проходимости колесных машин.- М., 1959.- 188 с.

21. Богданов, А.В. Теоретические предпосылки к выбору оптимальных давлений воздуха в шинах колесных тракторов / А.В. Богданов, Ю.Г. Горшков: Механизация и электрификация сельского хозяйства.: сб. научн. тр. ЧИМСХ.- Челябинск,1988.- С.49-54.

22. Болтинский, В. Н. Развитие научных исследований по созданию скоростных машинно-тракторных агрегатов и внедрение их в производство / В.Н. Болтинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1969. – № 7. – С. 8 – 11.

23. Бычков, Н.И. Эксплуатация тракторов МТЗ-100 и МТЗ-102/ Н.И. Бычков.-М.:Росагропромиздат,1991. - 15-18 с.

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

25. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. - М.: Физ.-мат.лит.,1958. - 459 с.

26. Вентцель, Е.С. Теория вероятности / Е.С. Вентцель. - М. : Наука,1 969. - 576 с.

27. Веденяпин, Г.В. Влияние количества ведущих мостов колесного трактора на его тягово-сцепные качества и буксование / Г.В. Веденяпин // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства.- Зерноград, 1976, Вып. 19.- С. 73-79.

28. Воронин, В.А. Машины высокой проходимости / В.А. Воронин //Земля сибирская, дальневосточная. - 1981. - № 8. - С. 47-48.

29. Воронин, В.А. Определение обобщенного показателя тягово-сцепного свойства проходимости самоходных комбайнов на гусеничном ходу / В.А. Воронин // Вопросы проходимости сельскохозяйственных машин. - Благовещенск: 1981. - С. 66-68.

30. Гамелеев, П.П. Использование малогабаритной техники на транспортных работах / П.П. Гамелеев // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2003. - № 8. - С. 45.

31. Геращенко, В.В., Выбор параметров системы управления подачей топлива / В.В. Геращенко, П.В. Жадик // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1999. - № 10. - С. 24-27.

32. Геращенко, В.В. Управление подачей топлива в цилиндры двигателя с учетом буксования/ В.В. Геращенко, П.В. Жадик // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1998. - № 9. - С. 31-33.

33. Геращенко, В.В. Устройство для регулирования сцепного веса трактора / В.В. Геращенко, П.В. Жадик, А.В. Жадик// Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2002. - № 5. - С. 14-15.

34. Гидроклиматические ресурсы Амурской области.- Благовещенск.: Хабаровское кн. изд-во, 1983. - 67 с.

35. Гоberman, В.А. Вопросы проектирования и расчета транспорта в сельскохозяйственном производстве / В.А. Гоberman / Сб. науч. тр. ВИМ. – М., 1972. – Т. 47 – С. 3- 138.

36. Гоberman, В.А. О проектировании транспорта в сельскохозяйственном производстве / В.А. Гоberman // Сб. науч. тр. ВИМ.-М., 1965. – Т.39. – С. 212 - 232.

37. Годунов, М.В. Тяговые испытания трактора класса 1.4 с различными вариантами шин / М.В. Годунов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2000. - № 6. - С. 11 - 12.

38. Горбунов, М.С. К вопросу повышения проходимости колесных тракторов / М.С. Горбунов // Записки Ленинградского СХИ, 1962. - Т. 89. - С. 25-31.

39. Гореликов, В.Е. Исследование тяговой динамики трактора с четырьмя ведущими колесами с крюковой нагрузкой / В.Е. Гореликов // Записки Ленинградского СХИ, 1962. - Т. 89. - С. 41 - 44.

40. Горшков, Ю.Г. А.В. Оптимальное давление воздуха в шинах колесных тракторов/ Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2003. - № 9. - С. 15 - 18.

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

42. Гребенюк, П.Т. Динамика торможения тяжеловестных поездов / П.Т. Гребенюк: Тр. Всесоюзного н.-и. ин-та. железнодорожного транспорта. - М.: Транспорт, 1977, - Вып. 585. - 152 с.

43. Грибко, Г.П. Исследование динамики торможения тракторного поезда на базе колесного трактора класса 1,4 кН: автореф. дис. канд. техн. наук / Г.П. Гребенюк. - Минск, 1977. - 20 с.

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

45. Грицай, А.Д. Продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от плотности сложения пахотного слоя почвы: тез. докл. /А.Д. Грицай - Киев, 1975. - С. 102 - 108.

46. Гуськов, В.В. Тракторы / В.В. Гуськов. - Минск.: Высшая школа, 1977. - Ч. 2. - 384 с.

47. Гуськов, В.В. Транспортные поезда / В.В. Гуськов. - М.: Машиностроение, 1982. - 182 с.

48. Гуськов, В.В. Взаимодействия звеньев тракторного поезда при торможении /В.В. Гуськов [и др.] // Механизация социалистического сельского хозяйства. - 1979. - № 10. - С. 33 - 35.

49. Денисов, А.А. Определение затрат мощности на качение и буксование трактора с четырьмя ведущими колесами при блокированном приводе осей / А.А. Денисов // Труды ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1975. - Вып. 40. - С. 18 - 21.

50. Евтушенков, Н.Е. Научные основы развития перспективной системы транспортного обслуживания сельскохозяйственного производства: монография / Н.Е. Евтушенков, Р.Ш. Хабатов. – Саранск, 2004. – 185 с.

51. Евтушенков, Н.Е. Разработка рациональных транспортно-технологических процессов // Н.Е. Евтушенков // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. - № 5. – С. 10-14.

52. Евтушенков, Н.Е. Рациональная технология перевозки зерна / Н.Е. Евтушенков// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. - №8. – С.10-13.

53. Евтюшенков, Н.Е. Рациональное соотношение грузоподъемности и скорости движения транспортного агрегата // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2001. - № 8. - 19.

54. Единые нормы амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР. (Утверждена Совмином СССР 22.10.90 г., № 1072). - 124 с.

55. Емельянов, А.М. Исследование влияния формы опорной поверхности движителя на проходимость гусеничных уборочных машин в условиях Дальне-

го Востока: дис. канд. техн. наук / А.М. Емельянов. - Благовещенск, 1981. - 187 с.

56. Емельянов, А.М. Особенности взаимодействия гусеничного движителя уборочных машин с переувлажненными почвами Дальнего Востока / А.М. Емельянов. - Благовещенск: ДальГАУ, 2000. - 215 с.

57. Емельянов, А.М. Пути снижения техногенного воздействия гусеничных движителей уборочных машин на переувлажнение почвы: дис. докт. техн. наук / А.М. Емельянов. - Благовещенск, 1997. - 249 с.

58. Емельянов, А.М. Элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента / А.М. Емельянов, А.М. Гуров. - Благовещенск, 1984. - 61 с.

59. Жилин, А.П. Тракторы на транспортных работах / А.П. Жилин. - Минск.: Сельхозгиз, 1972. - 68 с.

60. Жирнов, А.Б. Система технологий и машин для производства продукции растениеводства в зоне БАМа: дис. докт. техн. наук / А.Б. Жирнов. - Благовещенск, 1997. - 409 с.

61. Завалишин, Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф.С. Завалишин. - М.: Колос, 1973. - 318 с.

62. Закин, Я.Х. Основы теории движения транспортных и специальных автопоездов: автореф. дис. канд. техн. наук / Я.Х. Закин. - ЛСХИ, 1960. - 25 с.

63. Закин, Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда / Я.Х. Закин. - М.: Транспорт, 1967. - 255 с.

64. Закин, Я.Х. Конструкция и расчет автомобильных поездов / Я.Х. Закин [и др.]. - Л.: Машиностроение, 1968. - 332 с.

65. Зимагулов, А.Х., Требования к тяговым мобильно-энергетическим средствам для выполнения технологических операций / А.Х. Зимагулов, Р.Г. Нуриллин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2003. - № 4. - С. 22 - 24.

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

67. Иофинов, С.А. Эксплуатация тракторов и автомобилей на транспортных работах в сельском хозяйстве / С.А. Иофинов, А.А. Цырин. - Л.: Колос, 1975. - 228 с.

68. Использование энергоресурсов в сельском хозяйстве развитых капиталистических стран: обзорная информация. - М.: ЦНИИТЭИ, 1981. - 42 с.

69. Кадиршаев, Т. Пути повышения эффективности торможения многоприцепного автопоезда в условиях эксплуатации: автореф. канд. техн. наук / Т. Кадиршоев. - Ташкент, 1983. - 80 с.

70. Камчадалов, Е.П. Зонально-экологические основы совершенствования комплексов машин для земледелия: дис. докт. техн. наук / Е.П. Камчадалов. - Благовещенск, 1994. - 422 с.

71. Камчадалов Е.П. Техногенно-нормируемая эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособ. для вузов спец. 311300 / Е.П. Камчадалов, А.В. Липкань, Ю.Н. Рубан; Благовещенск: ДальГАУ - ИМСХ. - 2004. - 120 с.

72. Камчадалов, Е.П. Реализация техногенно-нормируемой эксплуатации машинно-тракторного парка / Е.П. Камчадалов, А.В. Липкань, Ю.Н. Рубан // Техника в сельском хозяйстве. - 2002. - № 6. - С. 16- 18.

73. Кац, Д.М. Автоматическое регулирование скорости двигателей внутреннего сгорания / Д.М. Кац. - М.: Машгиз, 1956. - 85 с.

74. Кашпура, Б.И. Проблемы стабилизации и развития АПК Дальнего Востока / Б.И. Кашпура // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. - Благовещенск: 1995. - Вып. 1. - С. 8 - 9.

75. Кашпура, Б.И. Эксплуатация машинно-тракторного парка на Дальнем Востоке: учеб. пособ. / Б.И. Кашпура. - Благовещенск: БСХИ, 1989.-87 с.

76. Кива, А.А. Биоэнергетическая оценка и снижение энергоемкости технологических процессов в животноводстве / А.А. Кива [и др.]. - М.: Агропромиздат, 1990. - 160 с.

77. Климанов, А.В. Повышение проходимости и тягово-сцепных свойств сельскохозяйственных тракторов / А.В. Климанов. - Куйбышев: Волжская коммуна, 1982. - 93 с.

78. Колобов, Г.Г., Тяговые характеристики тракторов / Г.П. Колобов, А.П. Парфенов. М.: Машиностроение, 1972. - 151 с.

79. Копелянец, В.И. Экономика и организация транспорта в сельском хозяйстве / В.И. Копелянец. - М.: Колос, 1969. - 270 с.

80. Косачев, Г.Г. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники / Г.Г. Косачев. - М.: Колос, 1978. - 240 с.

81. Коцарь, Ю.А. Влияние давления воздуха в шинах на величину кинематического несоответствия в трансмиссии трактора К-701 при транспортных работах: эксплуатация машин в полеводстве / Ю.А. Коцарь // Труды Саратовского СХИ. - Саратов, 1985. - С. 116 - 123.

82. Коцарь, Ю.А. Тяговая динамика трактора с равными колесами и блокированным приводом / Ю.А. Коцарь // Тракторы и сельскохозяйственные машины.- 2002.-№ 12.- С. 11-13.

83. Коцарь, Ю.А. Выбор типа привода колесного трактора / Ю.А. Коцарь, А.С. Дурманов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1999. - № 6. - С. 220.

84. Крюков, М.Л. Повышение проходимости транспортных агрегатов на внутрихозяйственных перевозках / М.Л. Крюков, Н.В. Сергеев // сб. науч. тр. ВИМ. – М., 1989. – Т. 121. – С.75-79.

85. Разработка систем транспортно-технологических процессов в АПК / В.М. Кряжков [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. - № 1. – С. 27 - 30.

86. Ксенович И.П., Конструкция тракторной моторно-трансмиссионной установки / И.П. Ксенович, В.Г. Шевцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1999. - № 12. - С. 54 - 56.

87. Ксенович, И.П. Тракторы МТЗ-80 и его модификации / И.П. Ксенович, П.А. Амельченко, Н.П. Степанюк. – М.: Агропромиздат, 1991. – 396 с.

88. Кувшинов, Я.К. Использование тракторов в зимнее время/ Я.К. Кувшинов// Сб. науч. тр.ВСХИ. – Воронеж, 1970. - Т. 44. - С. 59 - 66.

89. Кудрявцев, И.Г. Пути устранения кинематического несоответствия трактора и прицепа с ведущей осью на повороте / И.Г. Кудрявцев // Тракторы и сельхозмашины. - 1965. - № 5. - С 36 - 39.

90. Кычев, В.Н. Влияние коэффициента распределения мощности между валом отбора мощности и ведущими колесами на коэффициент полезного действия трактора / В.Н. Кычев, Р.С. Цхварадзе // Совершенствование методов использования и обслуживания сельскохозяйственной техники: науч. тр. ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1984. – Вып. 27. - С. 24 - 31.

91. Лабецкас, Г.С. Как экономить при эксплуатации трактора МТЗ-82 / Г.С. Лабецкас, С.С. Славинская // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2002. - № 9. - С. 20 - 23.

92. Лабецкас, Г.С. Как экономить при эксплуатации трактора МТЗ-82 / Г.С. Лабецкас, С.С. Славинская // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2002. - № 9. - С. 20 – 23.

93. Ланин, В.М. Качение ведущего колеса с эластичной шириной / В.М. Ланин // Изв. вузов. Машиностроение. - М.: МВТУ им. Баумана. - 1959. - № 3. - С. 4 - 6.

94. Лебедев, П.А. Уравнение движения поезда как вязко-упругой одномерной среды и его решения: сб. науч. тр. Московского ин-та инж. железнодорожного транспорта. - М., 1979. - Вып. 600. - С. 33 - 37.

95. Лефатов, А.Х. К вопросу о КПД колесного движителя многоприводного автомобиля / Е.А. Стефанов, Б.И. Кабанов // Автомобильная промышленность. - 1976. - № 12. - С. 17 - 19.

96. Литвинов, А.С. Теория и конструкция боевых колёсных машин / А.С. Литвинов [и др.]. – М.: Академия БТВ, 1969. - 412 с.

97. Лихачев, В.С. Испытания тракторов / В.С. Лихачев. - М.: Машиностроение, 1974. – 287 с.

98. Лурье, А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. - Л.: Колос, 1970. - 376 с.
99. Львов, Е.Д. Теория трактора / Е.Д. Львов. - М.: Машгиз, 1960. - 252с.
100. Ляшенко, М.В. Моделирование испытаний плавности хода тягово-транспортных средств / М.В. Ляшенко [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -2000. - № 12. - С. 19 - 21.
101. Мелехов, В.Н. О влиянии изменения сцепного веса колесного трактора на его тяговые показатели на почве повышенной влажности / В.Н. Мелехов // Сб. науч. тр. СИМСХ. – Саратов, 1970. – Вып. 43. – С. 71 - 73.
102. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.- М.: Колос, 1980.- 112с.
103. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве.- М.:ВИМ,1995.-95 с.
104. Методические рекомендации по определению показателей энергоёмкости производства сельскохозяйственной продукции. – М.: ВИЭСХ, 1990. – 93 с.
105. Мининзон, В.И. Влияние критерия оптимизации тракторного парка на его состав / В.И. Мининзон // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2002. - № 4. - С. 23 - 24.
106. Миркитанов, В.И. Выбор параметров агрегатирования большегрузных тракторных прицепов / В.И. Миркитанов, Ю.В. Перчаткин. - Зеленоград: ВНИПТИМЭСХ., 1987. - С. 65 - 72.
107. Миронюк, С.К. Использование транспорта в сельском хозяйстве /С.К. Миронюк. – М.: Колос, 1982. – 287 с.
108. Носов, С.В. Анализ тяговой динамики колесного трактора при работе на мягких почвах / С.В. Носов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2003. - № 3. - С. 26 - 27.
109. Носов, С.В. Упрощенная методика определения вертикальной деформации слоя почвогрунта после прохода пневмоколеса / С.В. Носов // Проблемы проектирования, испытаний, эксплуатации и маркетинга автотракторной техники, строительно-дорожных машин, транспортно-технологических комплексов и вездеходов: материалы международной конф. 27-29 июня 2000 г. - Н. - Новгород.: Нижегородский ГТУ, 2000. – 250 с.
110. Основные показатели развития сел. хоз-ва Амурской обл. за 2010 г: бюллетень. – Благовещенск: Облстат, 2007. - № 17. – 209 с.
111. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Амурской области - <http://agroamur.ru/>

112. Пат. 2011610563 Российская Федерация, Программа для выбора оптимального машинно-тракторного агрегата/ Ушаков Р.М., Митрохина О.П., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2010617061; заявл. 10.11.2010; опубл. 11.01.2010.

113. Пат. 2399542 Российская Федерация, Вспомогательное устройство для повышения проходимости неполноприводного колесного трактора/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2009131292; заявл. 17.08.09; опубл. 20.09.10.

114. Пат. 2402428 Российская Федерация, Вспомогательное колесо с выдвигаемыми грунтозацепами/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2009102795; заявл. 28.01.2009; опубл. 27.10.2010.

115. Пат. 2406616 Российская Федерация, Переходное устройство для установки дополнительных колес трактора «Кировец»/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2009130555; заявл. 10.08.2009; опубл. 20.12.2010.

116. Пат. № 2011613370 Российская Федерация, Программа для расчета экономической эффективности МТА на вспашке/ Кривуца З.Ф., Ушаков Р.М., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2011611699; заявл. 16.03.2011; опубл. 29.04.2011.

117. Пат. № 2011617688 Российская Федерация, Программа по оптимизации энергозатрат на транспортных работах/ Ушаков Р.М., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 20116115897; заявл. 03.08.2011; опубл. 03.10.2011.

118. Пат. № 2011617689 Российская Федерация, Программа для определения энергетической оценки транспортно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственных культур/ Кривуца З.Ф., Ушаков Р.М., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 20116115895; заявл. 19.07.2011; опубл. 03.10.2011.

119. Пат. № 2434776 Российская Федерация, Ход гусеничный/Бумбар И.В., Емельянов А.М., Канделя М.В., Канделя Н.М., Рябченко В.Н., Шилько П.А., Щитов С.В.; заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2010112137; заявл. 29.03.2010; опубл. 27.11.2011.

120. Пат. № 2435676 Российская Федерация, Переходное устройство для установки дополнительных колес на ступицы переднего моста полноприводного трактора типа МТЗ/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2010141203; заявл. 07.10.2010; опубл. 10.12.2011.

121. Пат. № 2440567 Российская Федерация, Движитель - бесшарнирная гусеничная цепь с траками повышенной проходимости/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2010132413; заявл. 02.08.2010; опубл. 20.01.2012.

122. Пат. № 2447999 Российская Федерация, Вспомогательное устройство для повышения проходимости полноприводного колесного трактора/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2010142351; заявл. 15.10.2010; опубл. 20.01.2012.

123. Пат. № 2468928 Российская Федерация, Переходное устройство для установки на задние ступицы колесного трактора «МТЗ» сменного треугольного гусеничного движителя/ Кузнецов Е.Е., Дудников С.А., Щитов С.В. заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2011110458; заявл. 18.03.2011; опубл. 10.12.2012.

124. Пат. № 2468929 Российская Федерация, Переходное устройство для установки дополнительных колес на ступицы трактора типа «Кировец»/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2011113301; заявл. 06.04.2011; опубл. 10.12.2012.

125. Пат. № 2475367 Российская Федерация, Вспомогательное устройство - трапециевидный колесный движитель для повышения проходимости колесного трактора/ Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. заявитель и патентообладатель ДальГАУ. - № 2010121953; заявл. 28.05.2010; опубл. 20.02.2013.

126. Петрушев, В.А. Признаки циркуляции мощности в заблокированном приводе автомобилей и автопоездов / В.А. Петрушев // Труды НАМИ. - М., 1965. - Вып. 76. - С. 68 - 69.

127. Петрушов, В.А. Влияние внутреннего давления воздуха на свободный радиус качения колеса с эластичной шиной / В.А. Петрушов // Труды НАМИ. - М., 1964. - Вып. 69. - С. 25 - 28.

128. Петрушов, В.А. Влияние нагрузки и внутреннего давления на тангенциальную эластичность шин / В.А. Петрушов, И.А. Стрыгин // Автомобильная промышленность. - 1968. - № 4. - С. 37 - 39.

129. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Н.С. Пискунов. - М.: Наука, 1978. - 520 с.

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

131. Программа для выбора оптимального посевного агрегата: а.с. программы для ЭВМ 2012611397 Российская Федерация/С.В. Щитов, Н.В. Спириданчук, Р.М. Ушаков. - 2012611397; заявл. 29.03.2012; опубл. 23.04.2012.

132. Программа для комплектования МТА: а.с. программы для ЭВМ 2012616407 Российская Федерация/С.В. Щитов, Н.В. Спириданчук, Р.М. Ушаков. - 2012611395; заявл. 29.02.2012; опубл. 13.07.2012.

133. Программа для определения тягового усилия трактора с меняющимся весом: а.с. программы для ЭВМ 2013611540 Российская Федерация/С.В. Щи-

тов, Р.М. Ушаков, В.И. Худовец. – 2012660637; заявл. 04.01.2013; опубл. 23.01.2013.

134. Программа по оптимизации расхода топлива транспортно-технологического обеспечения технологии возделывания сельскохозяйственных культур: а.с. программы для ЭВМ 2012613800 Российская Федерация/С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, Р.М. Ушаков. – 2012611397; заявл. 29.03.2012; опубл. 23.04.2012.

135. Производство сельскохозяйственной продукции в личных подсобных хозяйствах населения Амурской области.- Благовещенск, 2000.- 48 с.

136. Проскурин, А.Н. Исследование динамики тягово-сцепного устройства с нелинейной упругой характеристикой: автореферат. дис. канд. техн. Наук / А.Н. Проскурин. - Харьков, 1970. - 27 с.

137. Пугачев, В.С. Теория случайных процессов и ее приложение и задачи автоматического управления / В.С. Пугачев. - М.: Статистика, 1962. - 197 с.

138. Рациональное использование сельскохозяйственного транспорта. – Минск: ЦНИИМЭСХ, 1973. - 28 с.

139. Розанов, В.Г. О повышении тормозных свойств автомобилей / В.Г. Розанов, В.А. Гуревич //Автомобильная промышленность.- 1967.- №10.- С.21 - 24.

140. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. - М: Машиностроение, 1972. - 392 с.

141. Руководство по материальной части и эксплуатации бронированной разведывательно-дозорной машины БРДМ-2. - М.: Воениздат, 1967. - 499 с.

142. Русанов, В.А. Проблемы ходовых систем сельскохозяйственных тракторов и возможные пути их решения / В.А. Русанов. – тез. докл. - Киев, 1975. - С. 18 - 25.

143. Рябченко, В.Н. Исследование гусеничного движителя уборочных машин / В.Н. Рябченко, А.М. Емельянов // Тракторы и сельхозмашины. - 1981. - № 10. - С. 23 - 25.

144. Санжапов, И.Х. Влияние неравномерности хода и упругих свойств трансмиссии трактора на устойчивость движения прицепной машины / И.Х. Санжапов. - Труды ВГСХА, том LXII, 1977. - С 37 - 41.

145. Силаев А.А. Спектральная теория транспортных машин / А.А. Силаев. - М: Машиностроение, 1971. - 190 с.

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

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

148. Скуртул, А.И. Исследование устойчивости движения тракторного поезда на базе трактора класса 1,4кн при торможении.: автореф. дис. канд. техн. наук / А.И. Скуртул. - Минск, 1980. - 19 с.

149. Слюсаренко, В.В. Определение глубины следа после проходов машинно-тракторных агрегатов / В.В. Слюсаренко, А.В. Русилов, С.В. Новичков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003 .- № 2. - С. 30 - 32.

150. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. - М.: Машиностроение, 1981. - 270 с.

151. Смирнов, М.И. Исследование напряжений и деформаций в почве под колесными и гусеничными движителями сельскохозяйственных тракторов: автореф. дис. канд. техн. наук / М.И. Смирнов. - Л.: 1965. - 22 с.

152. Соловейчик, А.Г. Влияние площади контакта шин и давления воздуха в них на уплотнение почвы движителями трактора К-701: тезисы докладов.- Киев, 1975.-С. 29-31.

153. Справочник по эксплуатации тракторов в сельском хозяйстве. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 300 с.

154. Справочник по эксплуатации транспорта в сельском хозяйстве / В.А. Иванов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 400 с.

155. Суханов, В.Ф. Повышение динамического фактора колесных тракторов на транспортных работах / В.Ф. Суханов // Эксплуатация машин в полеводстве: труды Саратовского СХИ. - Саратов, 1985. - С. 109 - 116.

156. Суханов, В.Ф. Анализ процессов регулирования частоты вращения вала дизеля современного энергонасыщенного трактора / В.Ф. Суханов, В.И. Кирюхин. - Вопросы теории и эксплуатации тракторов и автомобилей: тр. Горьковского СХИ, 1978. - С. 121.

157. Суханов, В.Ф. Влияние способа регулирования частоты вращения дизеля на работу тракторного транспортного агрегата / В.Ф. Суханов, В.И. Кирюхин // Совершенствование конструкций и эксплуатации тракторов и автомобилей: тр. ВСХИЗО. - М., 1980. - С 42 - 46.

158. Терентьев, Ю.В. Комплекс экологических требований к сельскохозяйственному машиностроению / Ю.В. Терентьев, Е.П. Камчадалов, А.И. Шкурин // Техника в сельском хозяйстве, - 2000. - № 1.- с. 11.

159. Техника сельскохозяйственная: методы экономической оценки. ГОСТ 23728-88 ГОСТ 23730-88.-М.: Издательство стандартов,1988.-26 с.

160. Токарев, В.А. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве / В.А. Токарев [и др.]. - М.: ВИМ, 1989. - 71 с.

161. Топалиди, В.А. Повышение безопасности тракторных поездов при торможении / В.А. Топалиди, К.К. Ходжиев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2000. - № 8. - С. 26 - 27.

162. Транспорт и связь в Амурской области: статистический сборник.- Благовещенск: Амурстат. - 2002. - 60 с.

163. Трепененков, И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов/ И.И. Трепененков. – М.: Машгиз, 1963. – 320 с.

164. Гуревич, А.М. Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем тракторов, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин. Исследование влияния ходовых систем тракторов на состояние дерново-подзолистых суглинистых почв Кировской области / А.М. Гуревич, А.А. Лопарев // Киев: труды УСХА. - 1982. - С. 91 - 97.

165. Рудельман, В.Г. Совершенствование организации и технологии ремонта сельскохозяйственных машин // Опыт создания тракторного пневмогусеничного движителя с низким давлением на почву / В.Г. Рудельман [и др.].- Киев, 1982. - С. 114 - 116.

166. Ульянов, Ф.Г. Повышение проходимости и тягово-сцепных свойств колесных тракторов на пневматических шинах/ Ф.Г. Ульянов. – М.: Машиностроение, 1964. – 136 с.

167. Федюрко, Ю.Б. Оценка эффективности устройств для гидрозагрузки задних колес трактора с прицепом/ Ю.Б. Федюрко// Сб. науч. тр. ВСХИ. – Воронеж, 1987. - С.93 - 103.

168. Филонов, В.С. Выбор наиболее целесообразных транспортных средств для внутрихозяйственных перевозок в колхозах и совхозах Южной Степной зоны/ В.С. Филонов. Отчет ВНИИМЭСХ. – Зеленоград, 1967. – 128 с.

169. Филонов, В.С. Эффективность использования тракторов на транспортных работах / В.С. Филонов // Сб. науч. тр. ВНИПТИМЭСХ. - Ростов, 1965. – Вып. 8. – С. 110 - 117.

170. Хабрат, Н.И. Графоаналитический метод определения тангенциальной нагруженности сдвоенных шин / Н.И. Хабрат, И.А. Абдулгасис, А.У. Абдулгасис // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2003. - № 4. - С. 29-30.

171. Цхварадзе, Р.С. Влияние распределения энергии между валом отбора мощности и движителем трактора на технико-экономические показатели машинно-тракторного агрегата / Р.С. Цхваридзе // Повышение технико-экономических показателей сельскохозяйственных тракторов: научн. тр. ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1985. - С. 22 - 25.

172. Цыпцын, В.И. Влияние конструкций тягово-сцепных соединений на динамику торможения тракторных поездов / В.И. Цыпцын, П.П. Гамяюнов, С.А. Алексеев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2001. - № 4.- С. 67-72.

173. Цапцын, В.И. Взаимодействие звеньев тракторно-транспортного поезда при торможении / В.И. Цапцын [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2003. - № 4. - С. 12 - 14.

174. Цыпцын, В.И. Повышение производительности ТТА / В.И. Цыпцын// Техника в сельском хозяйстве. – 2001. - №2. – С.8 - 9

175. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчёта трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – М.: Колос, 1972. – 216 с.

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

177. Чудаков, Е.А. Пути повышения экономичности автомобиля /Е.А. Чудаков. – М., 1948. –150 с.

178. Чудаков, Е.А. Циркуляция паразитной мощности в механизмах без дифференциального автомобиля / Е.А. Чудаков. - М.: МашГИЗ, 1950. - 114 с.

179. Чухчин, И.И. Трепенков, А.П. / Исследование эффективности применения на тракторах двигателей постоянной мощности: сб. науч. тр. НАТИ. – М., 1978. – Вып.257. – С.3-8.

180. Шалягин, В.Н. К вопросу улучшения тягово-сцепных свойств тракторных поездов/ В.Н. Шалягин, П.А. Кульман // Сб. науч. тр. ВИМ. – М., 1981. – вып. 48. – С.7-12.

181. Шалягин, В.Н. К вопросу улучшения тягово-сцепных свойств тракторных поездов/ В.Н. Шалягин, П.А. Кульман// Сб. науч. тр. ВИМ. – М., 1981. – Вып. 48. – С.7-12.

182. Щитов, С.В. Влияние сдвоенных колес трактора «Кировец» на его эксплуатационные показатели в условиях сельскохозяйственного производства Амурской области: дис. канд. техн. наук / С.В. Щитов. - Благовещенск: 1985. - 150 с.

183. Щитов, С.В. Пути повышения агротехнической проходимости колесных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока: автореф. /С.В. Щитов. - Благовещенск, 2009. – 40 с.

184. Щитов, С.В. Влияние естественно – производственных условий на транспортно – технологическое обеспечение АПК/ С.В. Щитов, Кривуца З.Ф.; ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – 5 с. Деп. в ЦНИ ТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 21.02.2012, № 3/19808.

185. Щитов, С.В. Влияние на величину потерь энергозатрат от уплотнения почвы/С.В. Щитов, В.Ф. Кузин, Н.В. Спириданчук//Вестник КрасГАУ. – 2013. - № 1. – С.110-114.

186. Щитов, С.В. Влияние неустановившегося характера нагрузки на тягово-сцепные и эксплуатационные показатели энергетического средства: монография /С.В. Щитов, В.А. Сенников, Н.В. Спириданчук. – Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – 177 с.

187. Щитов, С.В. Влияние уплотняющего действия движителей тракторов на формирование урожая ячменя при разных способах основной обработки почвы/С.В. Щитов, Е.Б. Захарова, А.А. Немыкин//Достижения науки и техники АПК. – 2012. - № 5. – С.50-52.

188. Щитов, С.В. Использование колесного трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом/С.В. Щитов, В.И. Худовец//Аграрная наука сельскому хозяйству: сб. статей в 3 кн.: матер. 8 междунар. науч.-пакт. конф. АГАУ. – Барнаул, 2013. - С.72-75.

189. Щитов, С.В. Использование математических методов для рационального распределения МТА/С.В. Щитов, О.П. Митрохина//Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. научн. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 2011. – С.169-174.

190. Щитов, С.В. Использование навигационной системы ГЛОНАСС и GPS для мониторинга автомобильного транспорта/С.В. Щитов, В.Г. Евдокимов, З.Ф. Кривуца//Двойные технологии. – 2012. - № 3. – С.26-29.

191. Щитов, С.В. Исследование влияния интенсивности движения на производительность автомобильного парка/С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Проблемы диагностики и эксплуатации автомобильного транспорта: матер. 3 международной науч. - практ. конф. // ИГТУ. - Иркутск, 2011. – С. 297-303.

192. Щитов, С.В. Исследование параметров транспортных потоков АПК Амурской области/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Вестник КрасГАУ. – 2011. - № 8. – С.195-199.

193. Щитов, С.В. Математическое обоснование повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов на посеве/С.В. Щитов, О.П. Митрохина; ДальГАУ. – Благовещенск, 2010. – 10 с. Деп. в ЦНИ ТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 22.03.2010, №14/19738.

194. Щитов, С.В. Методика оценки эффективности использования транспортно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственной продукции/С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Инновационное развитие агропромышленного комплекса и аграрного образования: матер. международной науч.-практ. конф. – БГСХА. – Улан-Удэ, 2011. – С.168-173.

195. Щитов, С.В. Методы повышения тягово-сцепных свойств транспортных средств/С.В. Щитов, В.Г. Евдокимов, З.Ф. Кривуца//Двойные технологии. – 2012. - № 2. – С.75-77.

196. Щитов, С.В. Обоснование эффективности работы машинно-тракторных агрегатов с использованием математических методов/С.В. Щитов, О.П. Митрохина// Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. научн. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 2010. – Вып.1. – С.95-100.

197. Щитов, С.В. Определение касательной силы тяги неполноприводного колесного трактора с дополнительным ведущим мостом/ С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов//Вестник КрасГАУ. – 2011. - № 12. – С.205-208.

198. Щитов, С.В. Оптимизация использования транспортных средств в АПК Амурской области / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца //Современные проблемы, перспективы и инновационные тенденции развития аграрной науки: матер. международной науч. - практ. конф. - ФГОУ ДГСХА. - Махачкала, 2010, Ч. 2.- С. 525 - 531.

199. Щитов, С.В. Оптимизация перевозок сельскохозяйственной продукции автомобильным транспортом/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: матер. 12 международной науч.-практ. конф. АгТУ. – Барнаул, 2011. – С.169-175.

200. Щитов, С.В. Оптимизация работы МТА на предпосевной обработке почвы и посеве сельскохозяйственных культур: монография/С.В. Щитов, О.П. Митрохина, К.С. Чурилова. – Благовещенск: ДальГАУ, 2011. – 166 с.

201. Щитов, С.В. Оптимизация расхода топлива в транспортно-технологическом обеспечении производства сельскохозяйственной продукции/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Повышение эффективности механизации сельскохозяйственного производства: матер. Всероссийской науч.-практ. конф. (24-25 ноября 2011г.). – ЧГСХА. – Чебоксары, 2011. – С. 247-250.

202. Щитов, С.В. Оптимизация энергозатрат в транспортно-технологическом обеспечении АПК: монография / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца. – Благовещенск: ДальГАУ, 2012. – 151 с.

203. Щитов, С.В. Оценка транспортно-технологического обеспечения возделывания картофеля/С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, О.В. Щегорец//Научное обозрение. – 2012. - № 5. – С.107-112.

204. Щитов, С.В. Повышение опорной проходимости неполноприводного трактора класса 1,4/С.В. Щитов, Е.И. Решетник, О.В. Щегорец, В.И. Худовец // Техника и оборудование для села. – 2012. - № 10. – С. 6-8.

205. Щитов, С.В. Повышение поперечной устойчивости машинно-тракторного агрегата/С.В. Щитов, Е.В. Панова, В.Ф. Кузин, В.И. Худовец //Вестник БСГСХА. – 2012. - № 4(29). – С.72-77.

206. Щитов, С.В. Повышение производительности колесных тракторов / С.В. Щитов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. - № 1. – С. 18.

207. Щитов, С.В. Повышение тягово-сцепных свойств автомобиля на транспортных работах / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца // Научное обозрение. – 2012. - № 3. – С. 119 - 123.

208. Щитов, С.В. Повышение эффективности перевозки сельскохозяйственных грузов/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. - № 2. – С.26-28.

209. Щитов, С.В. Повышение эффективности работы колесных тракторов тягового класса 1,4/ С.В. Щитов, С.А. Дудников//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. - № 2. – С.11-12.

210. Щитов, С.В. Повышение эффективности работы подвижного состава за счет оптимизации скорости движения / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы: матер. 5 всероссийской науч. - практ. конф. – СГАУ. - Саратов, 2011. – С. 297 - 276.

211. Щитов, С.В. Пути повышения эффективности использования автомобильного транспорта при выполнении перевозок сельскохозяйственной продукции/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: матер. первой Всероссийской науч.-практ. конф. – КузГТУ. – Кузбасс, 2011. – С.215-220.

212. Щитов, С.В. Пути улучшения тягово-сцепных свойств транспортно-энергетических средств/С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, В.Ф. Кузин//Вестник БСГСХА. – 2012. - № 4(29). – С.55-61.

213. Щитов, С.В. Результаты сравнительных хозяйственных испытаний и топливно-энергетический анализ использования трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом/ С.В. Щитов, Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф.; ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – 7 с. Деп. в ЦНИ ТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 28.03.2012, № 24/19829.

214. Щитов, С.В. Результаты тяговых испытаний трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом/С.В. Щитов, В.И. Худовец//Research Journal of International Studies: сб. статей: матер. XI заочн. науч.-исследов. конф. – Екатеринбург, 2013. - № 1. - С.67-69.

215. Щитов, С.В. Результаты экспериментальных исследований по определению величины буксования/ С.В. Щитов, Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф.; ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – 4 с. Деп. в ЦНИ ТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 28.03.2012, № 18/19823.

216. Щитов, С.В. Результаты экспериментальных исследований по определению площади контакта колес с почвой/ С.В. Щитов, Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф.; ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – 3 с. Деп. в ЦНИ ТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 28.03.2012, № 15/19820.

217. Щитов, С.В. Результаты экспериментальных исследований по распределению мощностного баланса/ С.В. Щитов, Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф.; ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – 6 с. Деп. в ЦНИ ТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 28.03.2012, № 21/19826.

218. Щитов, С.В. Результаты экспериментальных исследований по распределению сцепного веса по осям трактора/ С.В. Щитов, Кузнецов Е.Е., Кривуца

З.Ф.; ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – 7 с. Деп. в ЦНИ ТЭИ РАСХН ВНИИ-ЭСХ 28.03.2012, № 12/19817.

219. Щитов, С.В. Результаты экспериментальных исследований по снижению агротехнических энергозатрат/С.В. Щитов, Н.В. Спириданчук//Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – Вып. 19. – С. 131 - 136.

220. Щитов, С.В. Результаты экспериментальных исследований работы машинно-тракторных агрегатов на предпосевной подготовке почвы и посеве зерновых культур / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца // Аграрная наука в 21 веке: проблемы и перспективы: матер. 5 всероссийской науч. - практич. конф. – СГАУ.- Саратов, 2011. – С. 276 - 280.

221. Щитов, С.В. Способы повышения эффективности коэффициента нагрузки на задние ведущие колеса автомобиля/С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: матер. 4 междунар. науч.-практ. конф. Ульяновск ГСХА им. П.А. Столыпина. – Ульяновск, 2012. – Т. 2. – С.187-190.

222. Щитов, С.В. Техногенное воздействие на почву колесных тракторов / С.В. Щитов, Н.В. Спириданчук, П.В. Тихончук // Достижения науки и техники АПК. – 2012. - № 6. – С. 73 - 74.

223. Щитов, С.В. Топливо-энергетическая оценка транспортных перевозок в АПК/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца//Актуальные проблемы науки: матер. международной науч.-практ. конф. (27 сентября 2011г.). – МичГАУ. – Тамбов, 2011. – С.149-152.

224. Щитов, С.В. Трактор с дополнительным ведущим мостом/С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов, В.И. Худовец//Сельский механизатор. – 2012. - № 9. – С.23-24.

225. Щитов, С.В. Энергетическая оценка транспортно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственных культур / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца // Вестник КрасГАУ. – 2011. - № 11. – С. 180 - 186.

226. Щитов, С.В. Энергозатраты как критерий выбора трактора/С.В. Щитов, Н.В. Спириданчук, П.В. Тихончук//Достижения науки и техники. – 2012. - № 9. – С.75-76.

227. Щукин, М.М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей / М.М. Щукин. - М.: МашГИЗ, 1961. - 207 с.

228. Эллис, Д.Р. Управляемость автомобиля / Д.Р. Эллис; Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1975, - 216 с.

229. Юлдашев, А.К. К работе тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке / А.К. Юлдашев // Вопросы теории и эксплуатации тракторов и автомобилей: Труды Пермского СХИ, 1971, - Т.76.- С. 21-26.

230. Яблонский, О.В. К вопросу о методике определения номинального тягового усилия колесных сельскохозяйственных тракторов / О.В. Яблонский // Труды Волгоградского СХИ. – Волгоград, 1977.- Т.62.- С. 59-63.

231. Ягодов, О.П., Практика тензометрирования / О.П. Ягодов, В.Ф. Соколов. - Челябинск, 1972. - 416 с.

232. Янулявикус, А. Эффективность торможения тракторного поезда при наличии нетормозящих колес / А. Янулявикус, К. Гера // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2002. - № 12. - С. 13 - 15.

233. Ясеневиц, В.Е. Исследование тракторного поезда, прицеп которого имеет ведущую ось // Труды НАТИ.- М., 1964, Вып. 175.- С. 94-99.

234. Effect of High Axle-Load Traffic on Subsoil Compaction and Crop Yield in Humid Regions with Annual Freezing / INGE AKANSSON, WARD B.VOORHEES, PAAVO ELONEN //Soil Tillage Research. - 10 (1987). -P. 259-268.

235. Rusanov, V.A. Influence of agricultural implements on soil and its productivity. ABSTRACTS. Soil Compaction as a Factor Determining Productivity / V.A. Rusanov // International Conference 5-9 JUNE, 1989, LUBLIN, POLAND. - P. 130 - 131.

236. Rusanov, V.A. Methods for determining the effects of Soil Compaction produced by traffic and indices of efficiency for reducing these effects / V.A. Rusanov // Soil Tillage Research, 40 (1997).-P. 239-250.

237. Sasaki, S. Articulated tracked vehicle with four degrees of freedom / S. Sasaki, E. Miyata // J. Terramech, 1991. – 28. - N 2 . - P. 189 - 199.

238. Schitov, S.V. Assessment of transport and technological support cropping / , S.V. Schitov, Z.F. Krivytyca //Scienc, Technology and Higher Education: materials of the international research and practice conference, Westwood, Kanada. – Vol.1. – 2012. – P. 522-528.

239. Skornyakov, E. (Dnepropetrovsk, Moscow). New Conception of design and manufacture of ENVIRONMENT – protective properties tires and efficiency of there application / E. Skornyakov, E. Kvasha, B. Tatalin, V. Rusanov // INTERNATIONAL CONFERENCE “SOIL COMPACTION AND SOIL NAMAGEMENT.” TALLIN, ESTONIA, 8-12 JUNE, 1992.-P. 16-19.

240. Soane, B.D. The ground pressure of wheels and tracks / B.D. Soane //Power Farm., 1970. - V.44. - N 4. - P. 40 -4 4.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>                                                                                                                                 | <b>3</b>  |
| <b>1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЕСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ .....</b>                                                                                         | <b>5</b>  |
| 1.1 Особенности естественно-производственных условий и их влияние на использование колесных энергетических средств в условиях Амурской области ..... | 5         |
| 1.2 Эффективность использования колесных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур .....                         | 11        |
| 1.3 Анализ путей повышения тягово-сцепных свойств и снижения техногенного воздействия на почву колесных тракторных поездов .....                     | 21        |
| 1.3.1 Снижение нормального давления на почву .....                                                                                                   | 21        |
| 1.3.2 Повышение коэффициента сцепления ведущих колес трактора с почвой .....                                                                         | 24        |
| 1.3.3 Увеличение сцепного веса .....                                                                                                                 | 26        |
| Выводы и задачи исследований.....                                                                                                                    | 29        |
| <b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>                                                                                                 | <b>30</b> |
| 2.1 Теоретическое обоснование выбора привода дополнительного ведущего моста трактора и прицепа .....                                                 | 30        |
| 2.2 Циркуляция мощности в тракторе с дополнительно установленным ведущим мостом .....                                                                | 36        |
| 2.3 Определение касательной силы тяги трактора с дополнительным ведущим мостом .....                                                                 | 40        |
| 2.4 Тяговое усилие, развиваемое трактором с дополнительным в едущим мостом .....                                                                     | 47        |
| 2.5 Определение касательной силы тяги, развиваемой трактором и прицепом с ведущим мостом .....                                                       | 48        |
| 2.6 Влияние физико-механических характеристик почвы на величину касательной силы тяги трактора .....                                                 | 52        |
| 2.6.1 Повышение продольной устойчивости машинно-тракторного агрегата в транспортном положении .....                                                  | 55        |
| 2.6.2 Влияние дополнительного ведущего моста на величину буксования .....                                                                            | 62        |
| 2.6.3 Влияние дополнительного ведущего моста трактора на величину производительности .....                                                           | 63        |
| 2.7 Влияние дополнительного моста прицепа на производительность транспортного агрегата.....                                                          | 65        |

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>                                                           | <b>68</b> |
| 3.1 Задачи экспериментальных исследований.....                                                                              | 68        |
| 3.2 Общая методика проведения экспериментальных исследований .....                                                          | 68        |
| 3.3 Объекты и условия проведения экспериментальных исследований.....                                                        | 69        |
| 3.4 Средства измерений, тарировка тензометрических узлов .....                                                              | 76        |
| 3.4.1 Измерение тягового усилия .....                                                                                       | 79        |
| 3.4.2 Измерение усилия на дополнительный ведущий мост .....                                                                 | 82        |
| 3.4.3 Измерение дополнительной нагрузки на ведущие колеса трактора .....                                                    | 82        |
| 3.4.4 Измерение частоты вращения ведущего колеса трактора .....                                                             | 84        |
| 3.4.5 Измерение пройденного пути и буксования трактора .....                                                                | 85        |
| 3.5 Методика определения физико-механических характеристик почвы ...                                                        | 85        |
| 3.5.1 Определение влажности почвы .....                                                                                     | 86        |
| 3.5.2 Определение твердости почвы .....                                                                                     | 86        |
| 3.5.3 Определение объемного веса (плотности почвы) .....                                                                    | 86        |
| 3.6 Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний .....                                                         | 87        |
| 3.7 Методика математической обработки экспериментальных данных.....                                                         | 88        |
| 3.7.1 Оценка точности измерений .....                                                                                       | 88        |
| 3.7.2 Статистическая обработка экспериментальных данных .....                                                               | 89        |
| <b>4 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>                                                                      | <b>91</b> |
| 4.1 Производственные исследования с трактором класса 1,4 и дополнительным ведущим мостом на транспортных работах.....       | 91        |
| 4.1.1 Результаты производственных исследований по распределению сцепного веса по мостам трактора .....                      | 91        |
| 4.1.2 Результаты исследований по определению площади контакта колес трактора с дорогой .....                                | 95        |
| 4.1.3 Результаты исследований по определению величины буксования на транспортных работах .....                              | 97        |
| 4.1.4 Результаты исследований по распределению мощностного баланса трактора класса 1,4 на транспортных работах.....         | 99        |
| 4.1.5 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний трактора класса 1,4.....                                             | 103       |
| 4.2 Результаты экспериментальных исследований с трактором класса 1,4 и дополнительным ведущим мостом на полевых работах ... | 105       |
| 4.2.1 Результаты экспериментальных исследований по определению площади контакта колес с почвой.....                         | 105       |

|                                                                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.2 Результаты исследований по определению тягового усилия трактора класса 1,4.....                                             | 106        |
| 4.2.3 Результаты тяговых испытаний трактора класса 1,4.....                                                                       | 110        |
| 4.2.4 Результаты техногенного воздействия на почву ходовой системы трактора класса 1,4 с дополнительным мостом .....              | 112        |
| 4.2.5 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний.....                                                                       | 115        |
| 4.3 Результаты экспериментальных исследований трактора класса 1,4 с прицепом 2-ПТС4, имеющим активный ведущий мост.....           | 118        |
| 4.3.1 Результаты тяговых испытаний .....                                                                                          | 118        |
| 4.3.2 Техногенное воздействие на почву ходовой системы транспортного агрегата .....                                               | 122        |
| 4.3.3 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний.....                                                                       | 125        |
| <b>5 ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.....</b>                                                                                      | <b>127</b> |
| 5.1 Топливо-энергетический анализ использования трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом на транспортных работах ..... | 128        |
| 5.2 Топливо-энергетическая оценка использования трактора класса 1,4 и прицепа 2-ПТС-4.....                                        | 129        |
| 5.3 Топливо-энергетический анализ использования трактора класса 1,4 с дополнительным ведущим мостом на полевых работах .....      | 130        |
| <b>ВЫВОДЫ .....</b>                                                                                                               | <b>131</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>                                                                                                    | <b>132</b> |

*Щитов Сергей Васильевич, Кузнецов Евгений Евгеньевич,  
Худовец Валентина Ивановна, Щитов Андрей Сергеевич*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГООСНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КЛАССА 1,4

*Монография*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.

Подписано к печати 31.05.2013 г. Формат 60×90/16.

Уч.-изд.л. – 6,1. Усл.-п.л. – 8,5.

Тираж 100 экз. Заказ 112.

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ  
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86





