

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации

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

**Е. Е. Кузнецов, С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца,
А. Н. Кушнарев, А. А. Шуравин**

***ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПЕРЕВОЗОК ТРАКТОРНЫМ ТРАНСПОРТОМ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ***

Монография

Благовещенск
Дальневосточный ГАУ
2024

УДК 631.372
ББК 40.72
П42

Рецензенты:

*Виктор Вацлавович Самуйло, доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта
транспортно-технологических машин и комплексов
Дальневосточного государственного аграрного университета;
Вячеслав Ганнуэльевич Евдокимов, доктор технических наук, профессор
Дальневосточного высшего общевоинского командного училища
имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского*

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

**П42 Повышение эффективности перевозок тракторным транспортом
в сельском хозяйстве : монография / Е. Е. Кузнецов, С. В. Щи-
тов, З. Ф. Кривуца, А. Н. Кушнарев, А. А. Шуравин ; Дальневост. гос.
аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. – 218 с.**

ISBN 978-5-9642-0661-3

В монографии изложены результаты исследований, научных разработок и опытно-конструкторских работ по повышению эффективности перевозок тракторным транспортом в сельском хозяйстве. Представлены перспективные конструкции и технические решения, предназначенные для улучшения продольной и тракторной устойчивости, повышения тягово-сцепных свойств мобильных энергетических средств, снижения опрокидывания, а также корректирования транспортного коридора многозвенных тракторно-транспортных агрегатов. Приведен анализ эффективности предложенных способов и результаты производственной проверки опытных образцов разработанных устройств, свидетельствующие об их перспективности при внедрении в производство.

Монография может представлять интерес для работников научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, специалистов агропромышленного комплекса, преподавателей, аспирантов, магистров, занимающихся вопросами использования транспортно-технологических агрегатов и модернизации мобильных колесных энергетических средств.

УДК 631.372
ББК 40.72

ISBN 978-5-9642-0661-3

© Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Кривуца З. Ф.,
Кушнарев А. Н., Шуравин А. А., 2024
© ФГБОУ ВО Дальневосточный
государственный аграрный университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
1 Современное состояние регионального АПК. Актуальность исследований и степень разработанности темы	9
1.1 Основные показатели отрасли растениеводства Амурской области и анализ деятельности хозяйствующих субъектов.....	9
1.2 Современное состояние и направления развития средств механизации в агропромышленном комплексе Амурской области.....	16
1.3 Направления повышения эффективности сельскохозяйственного производства в крестьянско-фермерских хозяйствах области.....	23
1.4 Виды тягово-сцепных устройств тракторно-транспортных агрегатов и их применяемость по классам	26
1.5 Классификация тягово-сцепных устройств и обоснование оптимальной конструкции ТСУ	35
1.6 Анализ исследований по повышению эффективности использования энергетических средств в сельском хозяйстве на транспортных работах ...	38
1.7 Анализ технических решений и способов повышения эффективности использования тракторных поездов в АПК.....	44
Выводы	60
2 Теоретическое обоснование проводимых исследований.....	62
2.1 Методологическое обоснование необходимости инженерного поиска и конструктивного исполнения технического решения задачи по повышению продольной устойчивости	62
2.2 Обоснование механизма формирования нормальных реакций почвы на движители энергетического средства	68
2.3 Распределение нагрузки звеньев тракторно-транспортного агрегата при движении на подъеме	74
2.4 Распределение нагрузки звеньев тракторно-транспортного агрегата при движении на спуске	81
2.5 Распределение нагрузки при движении тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством по горизонтальной поверхности	86

2.6 Теоретические исследования по повышению устойчивости тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством против опрокидывания при галопировании	92
2.7 Применение эмулирования и 3D моделирования предлагаемой конструкции и производственных процессов при теоретических исследованиях.....	95
2.8 Повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов при перевозке грузов при использования многозвенных поездов.....	102
2.8.1 Влияние смещения точки установки буксирно-догружающего устройства трактора на ширину транспортного коридора тракторно-транспортного агрегата	102
2.8.2 Определение влияния буксирно-распределяющего устройства на ширину транспортного коридора многозвенного тракторно-транспортного агрегата	108
2.9 Исследования производительности тракторно-транспортного агрегата с корректирующими устройствами	119
2.9.1 Производительность тракторно-транспортного агрегата с догружающе-корректирующим устройством	119
2.9.2 Производительность тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством для многозвенного транспортного агрегата	122
2.9.3 Теоретические исследования по расчету показателей производительности экспериментального агрегата с буксирно-распределяющим устройством	124
Выводы	126
3 Экспериментальное подтверждение и результаты опытных испытаний энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении АПК	128
3.1 Результаты экспериментальных исследований по определению устойчивости звеньев агрегата при передвижении ТТА по сельскохозяйственным дорогам и дорогам общего пользования	128

3.1.1 Результаты экспериментальных исследований по определению колебаний переднего управляемого моста при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием	132
3.1.2 Результаты экспериментальных исследований по определению колебаний заднего ведущего моста при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием	139
3.1.3 Результаты экспериментальных исследований колебаний узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием	147
3.2 Результаты экспериментальных исследований по определению продольной устойчивости звеньев агрегата при передвижении ТТА по сельскохозяйственным дорогам в условиях склоновых земель	156
3.2.1 Результаты экспериментальных исследований по определению продольной устойчивости звеньев агрегата при движении тракторно-транспортного агрегата на подъем.....	156
3.2.2 Результаты экспериментальных исследований по определению продольной устойчивости звеньев агрегата при движении тракторно-транспортного агрегата на спуск.....	162
3.3 Сравнение полученных результатов и значений эксплуатационных коэффициентов	166
3.4 Результаты экспериментальных исследований по использованию многозвенных тракторно-транспортных агрегатов	170
3.4.1 Влияние длины выхода штока гидроцилиндра на угол поворота план-шайбы экспериментального догружающего устройства	170
3.4.2 Влияние длины выхода штока гидроцилиндра догружающего устройства на угол отклонения дышла прицепа.....	173
3.5 Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров корректирующих устройств.....	175

3.5.1 Зависимость радиуса поворота трактора от угла поворота дышла прицепа, угла поворота план-шайбы и длины выхода штока гидроцилиндра.....	177
3.5.2 Зависимость радиуса поворота первого прицепа от угла поворота дышла прицепа, угла поворота план-шайбы и длины выхода штока гидроцилиндра.....	181
3.5.3 Зависимость радиуса поворота второго прицепа от угла поворота дышла прицепа, угла поворота план-шайбы и длины выхода штока гидроцилиндра.....	185
3.5.4 Результаты исследований по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров тракторно-транспортного агрегата на повороте	188
3.6 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний.....	191
3.6.1 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний экспериментального тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством	191
3.6.2 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний многозвенного тракторно-транспортного агрегата на транспортных работах	193
Выводы	196
4 Топливоно-энергетическая и экономическая оценка проведенных исследований	198
4.1 Топливоно-энергетический анализ использования тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством.....	198
4.2 Топливоно-энергетическая оценка работы многозвенного тракторно-транспортного агрегата.....	201
Заключение.....	202
Список использованной литературы.....	205

ВВЕДЕНИЕ

В целях достижения полной продовольственной безопасности, технологического суверенитета и экономической автономности государства перед современным агропромышленным комплексом всех регионов России Правительством РФ поставлена задача по повышению объема производства сельскохозяйственной продукции. Достичь поставленных целевых показателей (для условий Амурской области) возможно за счет применения новых сортов семян, интенсификации производства и внедрения прогрессивных технологий возделывания культур, использования высокопроизводительной техники, а также введения в севооборот новых, нуждающихся в рекультивации (мелиорации) или залежных земельных площадей (поскольку в настоящее время в региональное производство вовлечены практически все пахотные земли, имеющие равнинный рельеф местности или участки с уклоном до 6 градусов).

Поэтому с учетом перспективного расширения объемов сельскохозяйственных площадей необходимы разработка и применение технических и технологических решений, способствующих культурному освоению мелкоконтурных земельных участков, в основном географически расположенных в северной и центральной сельскохозяйственных зонах области, имеющих большой угол уклона или подъездные пути с высокой продольной или поперечной крутизной дорог, которые в настоящее время в регионе не используются из-за отсутствия специальных энергетических средств как для их обработки, так и для вывоза урожая с полей.

Установлено, что эти земельные площади обычно находятся в ведении крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ), которые не в состоянии, вследствие недостаточности оборотных финансовых средств, приобрести специализированные энергетические средства, способные реализовывать заложенные конструкцией функции на рассматриваемых участках земельных площадей, а их

мелкоконтурная структура (менее 15 гектаров) не позволяет использовать для обработки более энергонасыщенную или широкозахватную технику.

Учитывая, что в общем объеме регионального производства крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и индивидуальными предпринимателями собрано 21,9 % зерна, 31,4 % сои, 14,0 % картофеля и 18,3 % овощных культур (по данным на 01.02.2023), решить поставленную Правительством РФ и региональным Министерством сельского хозяйства задачу по дальнейшему увеличению объема производства сельскохозяйственной продукции без полного использования производственных мощностей КФХ, их максимальной интенсификации и применения способов повышения эффективности в региональных условиях не представляется возможным.

Таким образом, для использования мелкоконтурных участков, а также полей и дорог, имеющих значительный переменный рельеф, необходимо совершенствовать имеющиеся в наличии КФХ энергетические средства.

Анализ средств механизации в КФХ Амурской области показал, что основным энергетическим средством в малых хозяйствах является моноблочный колесный трактор типа «МТЗ» класса 1.4–2, что определило направления исследований за счет модернизации его конструкции и внедрения новых технических решений, позволяющих повысить эксплуатационно-технологические возможности данного типа тракторов. Наряду с применением конструкций, предназначенных для модернизации тракторов, продуктивным решением в региональных условиях является повышение объема перевозимого груза за счет использования как одиночных прицепов большей грузоподъемности, так и применения многозвенных тракторно-транспортных агрегатов (ТТА).

Таким образом, проводимые исследования представляются современными и актуальными, решают важные задачи агропромышленного комплекса как Амурской области, так и Дальнего Востока России в целом.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО АПК.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ И СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ТЕМЫ

1.1 Основные показатели отрасли растениеводства Амурской области и анализ деятельности хозяйствующих субъектов

Амурская область, расположенная в юго-восточной части Дальнего Востока, обладает наиболее оптимальными природно-климатическими условиями для выращивания зерновых и бобовых культур, что определяет отрасль растениеводства, как наиболее развитую структурную составляющую валового регионального продукта. При этом фирменной культурой области является именно соя, в целях развития селекции которой в 1968 г. для нужд Дальневосточного региона на базе Амурской государственной сельскохозяйственной опытной станции был создан и успешно работает Всероссийский научно-исследовательский институт сои.

В связи с принятием Правительством РФ новых законодательных актов, направленных на достижение полного технологического суверенитета, технической автономности во всех отраслях науки и промышленности и продовольственной безопасности государства, четкого соблюдения и выполнения задач стратегического развития Российской Федерации и Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона, необходимость максимальной сельскохозяйственной эффективности приобретает значение национальной задачи, решение которой во многом зависит от продуктивной и объемной реализации регионального потенциала.

Одним из действенных механизмов выполнения общенациональных задач является программа развития вузов «Приоритет 2030». Так, в результате

реализации программы развития Дальневосточного ГАУ до 2030 г. в соответствии с задачами стратегического развития Российской Федерации и Стратегией социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона, будет обеспечен переход к новой образовательной модели, отвечающей требованиям бизнес-партнеров; существенно повышена научная продуктивность и созданы условия для долговременного и качественного развития резервов кадрового потенциала региона.

Современное сельскохозяйственное производство региона характеризуется совокупностью деятельности хозяйствующих субъектов, к которым относятся крупные сельскохозяйственные организации, крестьянско-фермерские хозяйства и хозяйства населения, за которыми закреплены на правах собственности или аренды земельные площади, являющиеся пахотным потенциалом области. Анализ посевных площадей области представлен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Динамика посевных площадей Амурской области за период 2000–2023 гг. [71, 72]

Приведенные данные показывают устойчивое увеличение с 2005 г. объема вновь вводимых в сельскохозяйственный оборот посевных площадей.

Вместе с тем просматривается определенный земельный потенциал в количестве более 510 тыс. га, обработка которого способна увеличить продукцию растениеводства в регионе более чем на 50 %, из них более 34 % относятся к категории мелкоконтурных полей.

Возделываемые посевные площади [71, 72] позволили получить следующие показатели отрасли растениеводства (табл. 1.1). В суммарном денежном эквиваленте в 2022 г. производство продукции растениеводства достигло уровня 99 737 млн. руб, в том числе по крестьянско-фермерским хозяйствам – 22 137; личным подсобным хозяйствам – 18 523 млн. руб.

Таблица 1.1 – Основные показатели отрасли растениеводства за 2008–2022 гг.

Показатели	Годы							
	2008	2009	2012	2017	2018	2020	2021	2022
<i>Производство продукции в хозяйствах всех категорий, тыс. тонн</i>								
Зерновые	272,8	337,8	338,2	327,5	359,9	418,3	442,9	550,2
в том числе кукуруза на зерно	4,5	2,7	26,7	15,6	26,7	150,0	141,8	159,4
Гречиха	7,4	3,1	12,6	9,9	12,6	20,7	16,4	18,2
Соя	304,9	412,3	724,0	880,1	1 055,3	994,0	1 156,1	1 350,5
Картофель	364,8	304,7	296,0	195,1	200,9	381,6	204,5	194,3
Овощи	67,3	59,2	69,3	46,8	49,5	78,0	56,7	49,1
<i>Урожайность, ц/га убранной площади</i>								
Зерновые	10,8	14,0	9,0	17,9	18,7	18,4	24,0	24,5
в том числе кукуруза на зерно	45,5	18,5	32,3	28,2	24,8	40,0	...	...
Гречиха	6,0	3,1	5,1	7,1	7,7	8,8	8,9	9,0
Соя	8,6	10,5	12,6	13,8	12,6	13,1	15,7	18,0
Картофель	179,0	148,0	147,1	137,6	149,0	172,7	141,1	168,1
Овощи	157,0	130,0	135,0	138,4	166,0	156,0	163,0	117,2

Представленная динамика показателей валового продукта и урожайности позволяет указать, что отрасль растениеводства области динамично развивается и имеет основные базовые резервы для дальнейшего роста.

При этом немаловажную роль в формировании валового регионального продукта играют крестьянско-фермерские хозяйства и личные подсобные хозяйства, которые реализовали продукции на 22,1 и 18,5 % соответственно.

Исследования структуры и объемов производства в КФХ за период 2021–2022 гг. показано в таблице 1.2 [71, 72]. Таким образом, основным видом деятельности крестьянско-фермерских хозяйств Амурской области является выращивание сои, зерновых и овощей.

Таблица 1.2 – Анализ производства сельскохозяйственной продукции КФХ за период 2021–2022 гг.

В тыс. тонн		
Виды продукции	2021 год	2022 год
Зерновые	99,5	98,0
Соя	350,5	490,0
Картофель	15,6	27,2
Овощи	5,3	9,1
Молоко	10,2	10,4
Скот и птица в убойном весе	1,8	2,0

Участие КФХ в производстве продукции АПК отражается и на такой важной отрасли сельского хозяйства, как животноводство (табл. 1.3), что несомненно увеличивает значимость крестьянско-фермерских и личных подсобных хозяйств в структуре сельскохозяйственного производства региона.

Таблица 1.3 – Динамика поголовья сельскохозяйственных животных в КФХ за период 2020–2022 гг. [71, 72]

В тыс. голов			
Виды животных	2020 год	2021 год	2023 год
Крупный рогатый скот	9,8	9,1	9,1
в том числе коровы	4,4	3,8	4,4
Свиньи	2,23	0,20	0,20

Основное количество КФХ находится в центральной сельскохозяйственной зоне Амурской области (308 хозяйств). В южной сельскохозяйственной зоне сосредоточено 202 хозяйства; северной – 98 хозяйств. Согласно территориальному расположению и природно-климатическим особенностям, земли Амурской области условно разделены на три сельскохозяйственные зоны: северная, центральная и южная (рис. 1.2).

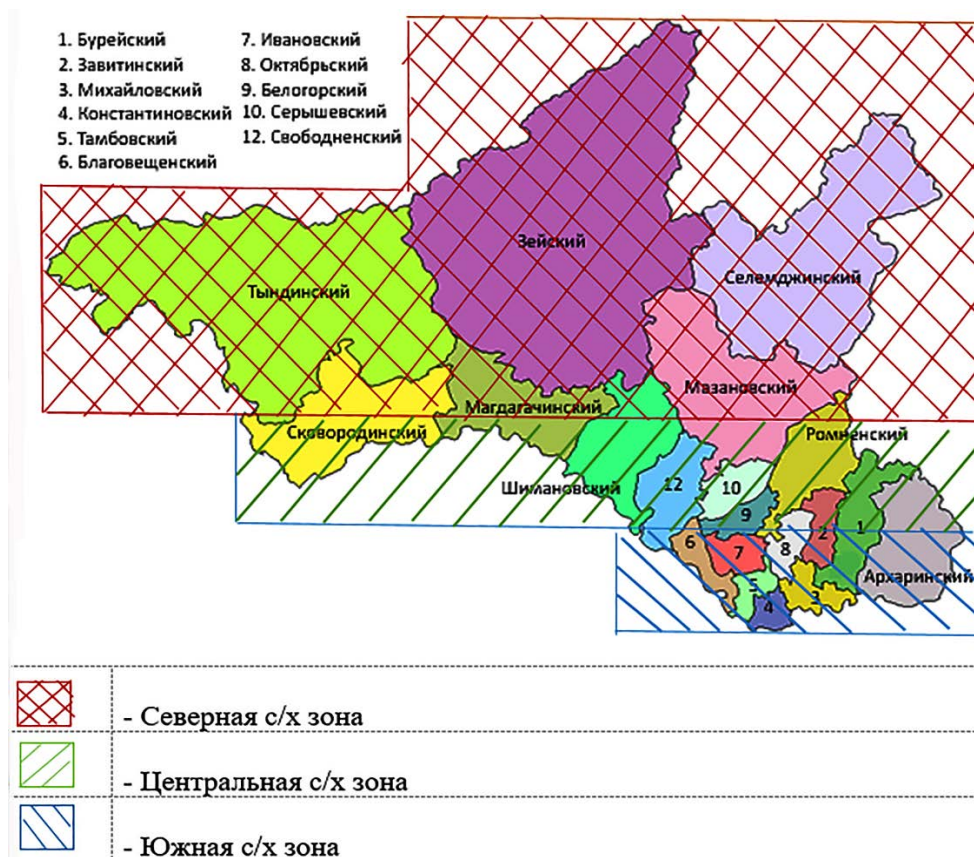


**Рисунок 1.2 – Расположение сельскохозяйственных зон
на территории районов Амурской области**

Основными отличительными признаками территориального распределения сельскохозяйственных зон области являются гипсометрические особенности (наличие склоновых земель различной крутизны, мелкоконтурность полей и их расположение в труднодоступных местностях), ряд почвенных и климатических особенностей, что значительно увеличивает себестоимость сельскохозяйственной продукции и делает ее малорентабельной (табл. 1.4).

Согласно целевым ориентирам, обозначенным Правительством области и Министерством сельского хозяйства России, в 2023 г. посевная площадь должна быть увеличена на 140 тыс. гектаров или 13 % к уровню 2022 г. Обеспеченность семенами зерновых культур и сои предприятий-сельхозпроизводителей на период весны 2023 г. оценивалась более чем на 100 %. При этом кардинально должна быть повышена доля сортовых семян сои и зерновых, а также овощей региональной и отечественной селекции [71, 72].

Таблица 1.4 – Усредненные основные показатели использования ресурсов и затрат по сельскохозяйственным зонам Амурской области [71, 72]

Показатели	Сельскохозяйственные зоны			В среднем по области
	южная	центральная	северная	
Потребность в тракторах на 1 000 га пашни, ед.	7,2	10,2	11,9	8,9
<i>Потребность на выращивание 1 тонны сои:</i>				
основного топлива, кг	44,5	74,2	82,4	50,3
затрат труда, чел.-час.	9,5	14,9	16,0	10,5
Рентабельность полеводства, %	57,9	–21,1	–51,0	29,0
Коэффициент энергоэффективности выращивания кормовых культур	3,31	1,44	1,34	2,60

Среди планов по улучшению показателей высеваемых семян зерновых и бобовых культур, в целях осуществления поиска, сохранения и вовлечения в селекционный процесс генетических источников, обеспечивающих получение гибридов и форм с заданными признаками, заявлено создание семеноводческого центра на базе Дальневосточного государственного аграрного университета, что также позволит в дальнейшем ориентироваться на региональное автономное семеноводство и ежегодную воспроизводимость посевного материала для нужд сельхозтоваропроизводителей.

В этой связи приведенные данные позволяют обосновать необходимые направления расширения посевных площадей для нужд растениеводства в пределах области при использовании комплексных методик и практик рассмотрения, а также всестороннего анализа взаимодействующих условий и факториальных зависимостей, влияющих на расширение посевных площадей и эффективность применяемых в агропромышленном комплексе Амурской области технологий сельскохозяйственного производства, что послужит основой для установления необходимых причинно-следственных связей, каче-

ственного поиска и формирования исполнительских функций, разработки эффективных долгосрочных программ и потенциальной реализации оптимальных решений регионального уровня.

Наличие в регионе неиспользуемых земельных запасов и посевных резервов, их постепенное экологическое и экономическое восстановление позволит аграриям области увеличить посевные площади к 2024 г. до 1 514,5 тыс. га, что составит 100 % посевных площадей. Особое внимание необходимо уделить оптимизации структуры посевных площадей с учетом соблюдения требований севооборота, недопущения снижения посевных площадей зерновых культур, а также увеличения посева однолетних и многолетних трав.

Предполагается, что при соблюдении предлагаемых мероприятий производство зерновых культур увеличится в 2024 г. по сравнению с 2020 г. – с 417,5 до 1 066,1 тыс. тонн (на 648,6 тыс. тонн). Производство сои в перспективе увеличится с 978,6 до 2 177 тыс. тонн. Тем самым возрастет производство зерновых культур к уровню 2020 г. в 2,5 раза, сои – в 2,2 раза [71, 72].

Таким образом, Амурская область, обладая наибольшими посевными площадями среди всех регионов Дальнего Востока, вне сомнения, станет более экономически развитой территорией, включая ее аграрную составляющую, способной не только достичь полной продовольственной автономности, но и предложить значимые резервы для кооперации с остальными субъектами Российской Федерации. При этом в перспективе доля КФХ в формировании валового регионального продукта должна также увеличиться.

1.2 Современное состояние и направления развития средств механизации в агропромышленном комплексе Амурской области

Производственный опыт и анализ исследований ведущих ученых, посвященных повышению эффективности сельскохозяйственного производства, показывают, что проведение основной и дополнительной почвенной обработки в установленные агротехнические сроки; внесение удобрений и элементов, необходимых для питания культурных растений; фунгицидов и химических средств для уничтожения сорных растений; своевременный посев и сбор урожая, его транспортировка и доработка напрямую зависят от автономной ресурсообеспеченности сельскохозяйственных организаций.

Однако наличие основных средств механизации, занятых в сельскохозяйственном производстве региона, неуклонно снижается (рис. 1.3, 1.4) [71, 72].

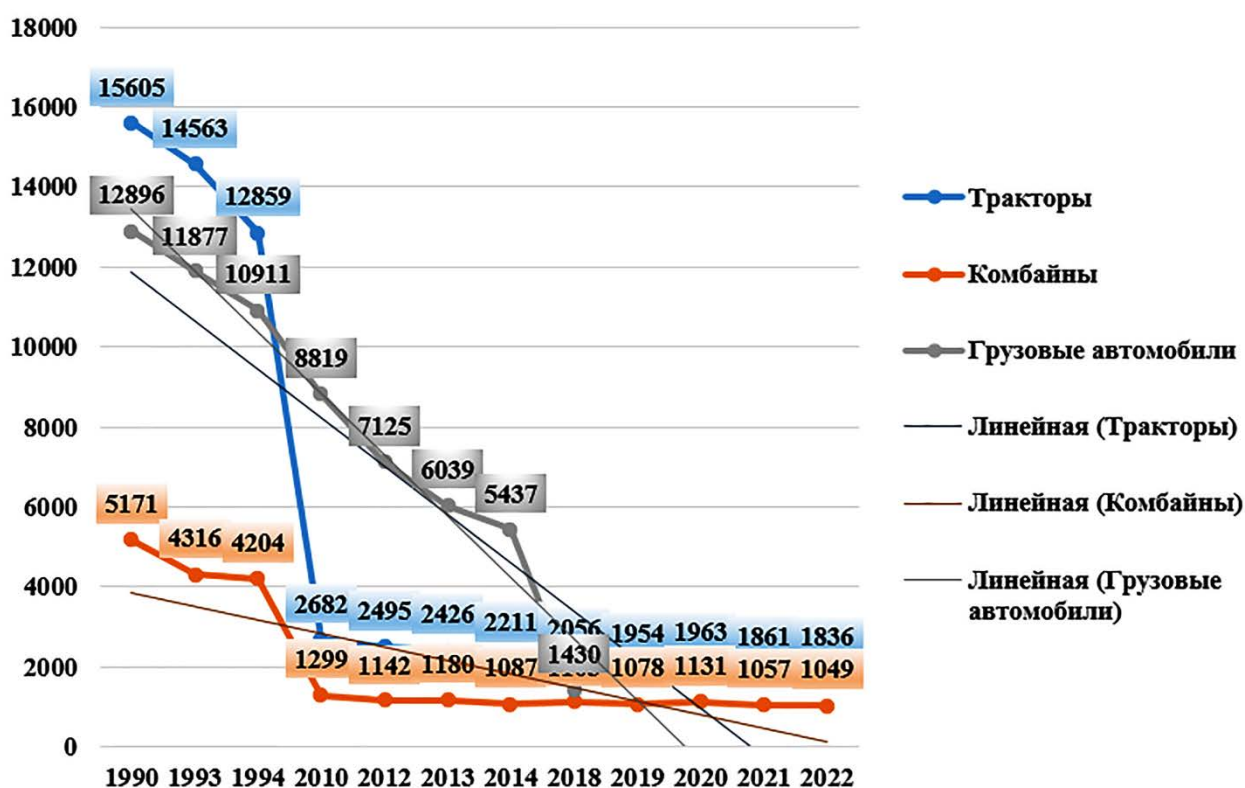


Рисунок 1.3 – Наличие основных энергетических средств механизации [100]

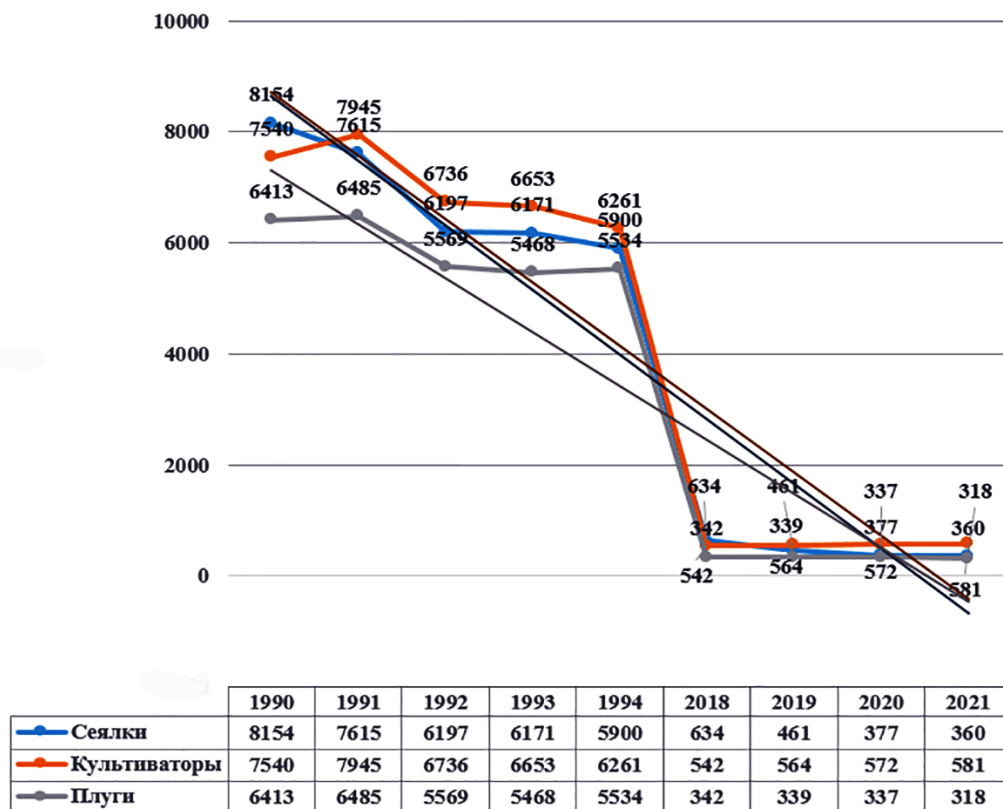


Рисунок 1.4 – Наличие основных сельскохозяйственных машин и орудий

Учитывая срок эксплуатации средств механизации, данная тенденция повышает нагрузку на находящиеся в строю машины и энергетические средства (рис. 1.5). Так, нагрузка паши на один трактор в условиях Амурской области достигает 363 га. В то же время данный показатель в условиях Российской Федерации составляет 247 га; США – 38 га. Таким образом, количество энергетических средств в сельском хозяйстве региона нуждается в срочном увеличении в размерах, необходимых для качественного выполнения всего спектра сельскохозяйственных работ как в растениеводстве, так и в животноводстве.

Выбытие тракторов и комбайнов из сельскохозяйственного производства по причине списания, нецелесообразности или невозможности проведения ремонтов является основным фактором снижения их количества, на порядок превышающего количество закупаемых и поставляемых энергетических средств. При этом расчетная потребность ежегодного приобретения, обоснованная Министерством сельского хозяйства Амурской области, находится в пределах не

менее 500 единиц тракторов и 335 комбайнов, тогда как закупается не более 188 тракторов и 164 комбайнов (показатели 2023 г.) [71, 72].



Рисунок 1.5 – Расчетная нагрузка на основные виды техники в 2024 году, га [71, 72]

Довольно низкие темпы в обновлении машинно-тракторного парка сельскохозяйственных организаций Амурской области прослеживаются уже на протяжении многих лет. Это связано не только с отсутствием в организациях собственных средств для оплаты, но нередко и с отсутствием на рынке предложений необходимых машин и орудий, в частности предназначенных для эксплуатации в условиях движения или использования на склоновых землях или для обработки мелкоконтурных участков (категории и линейки машин, которые так необходимы КФХ для увеличения объемов производства).

Анализ марочного состава тракторного парка, проведенный в динамике и представленный в виде диаграмм на рисунках 1.6–1.8, показывает, что в период 2015–2023 гг. произошло явное перераспределение в наличии колесных тракторов. При этом отечественные марки К-700(701), К-744 и тракторы семейства Минского тракторного завода занимают все большие показатели в общей структуре наличия энергетических средств в хозяйствах области. Это мо-

Повышение эффективности перевозок тракторным транспортом в сельском хозяйстве

жет быть объяснено их востребованностью как в КФХ, так и в личных подсобных хозяйствах, где основным энергетическим средством является именно трактор типа МТЗ.

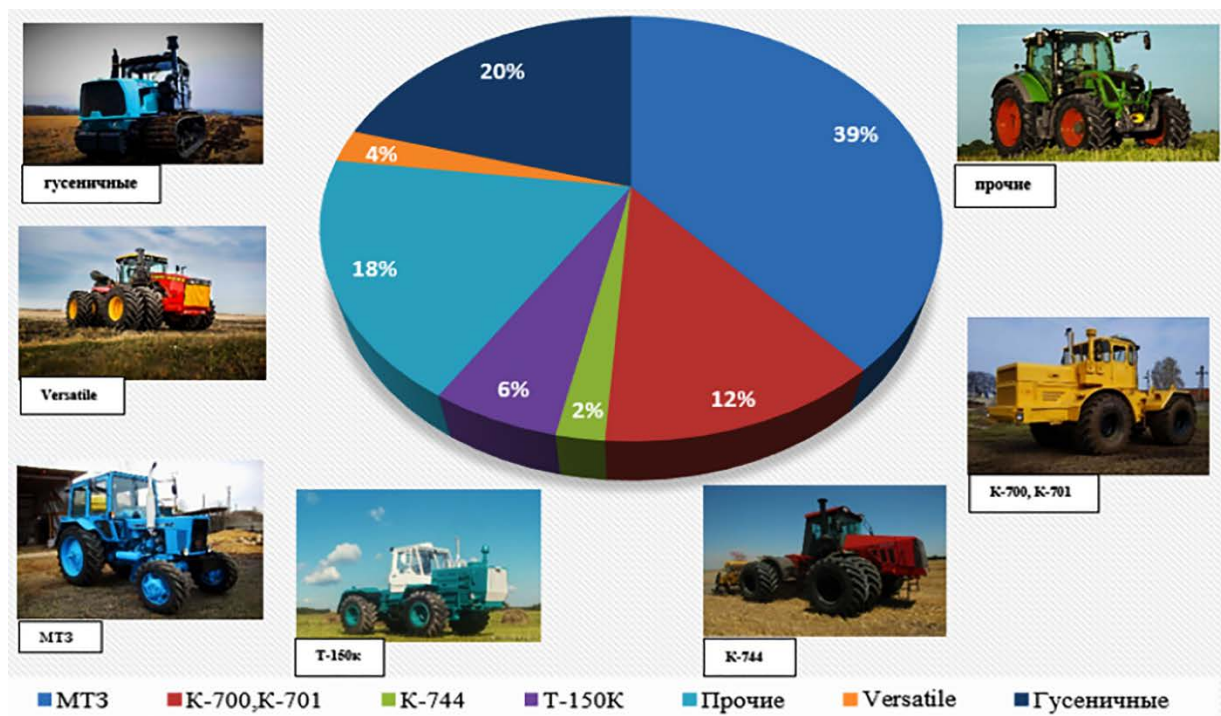


Рисунок 1.6 – Марочный состав тракторного парка в 2015 г., %

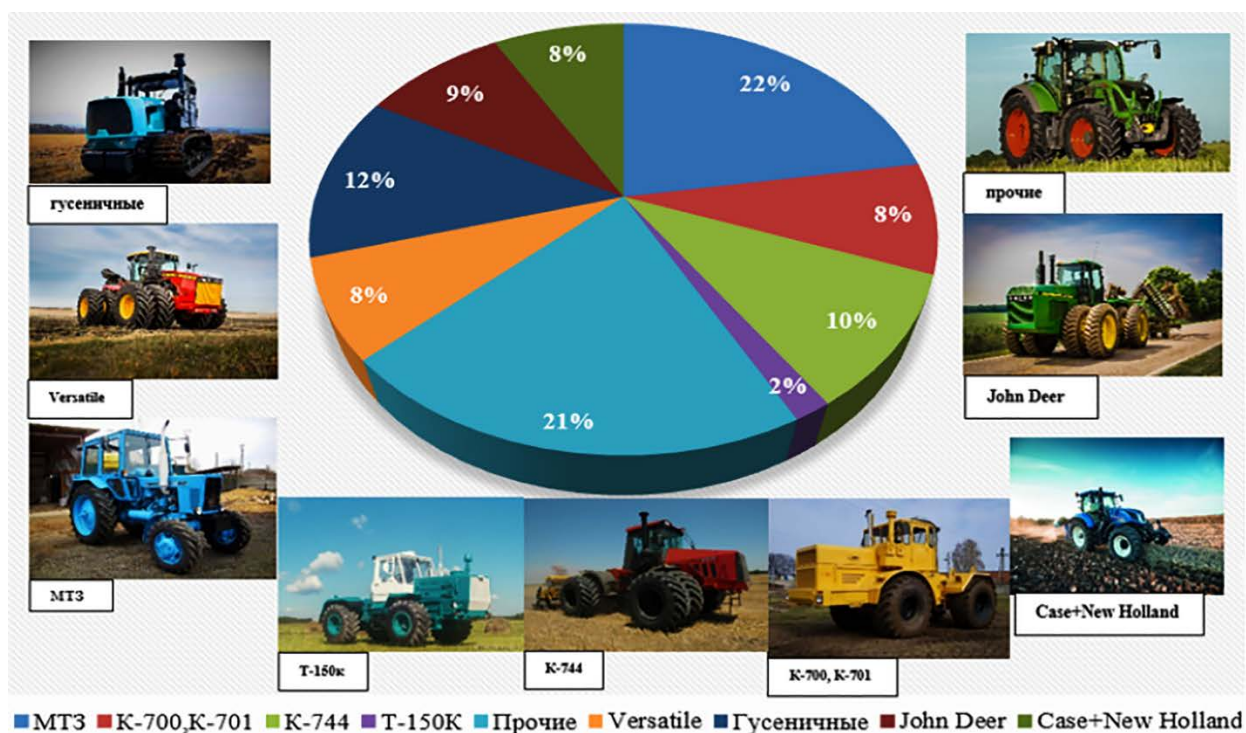


Рисунок 1.7 – Марочный состав тракторного парка в 2021 г., %

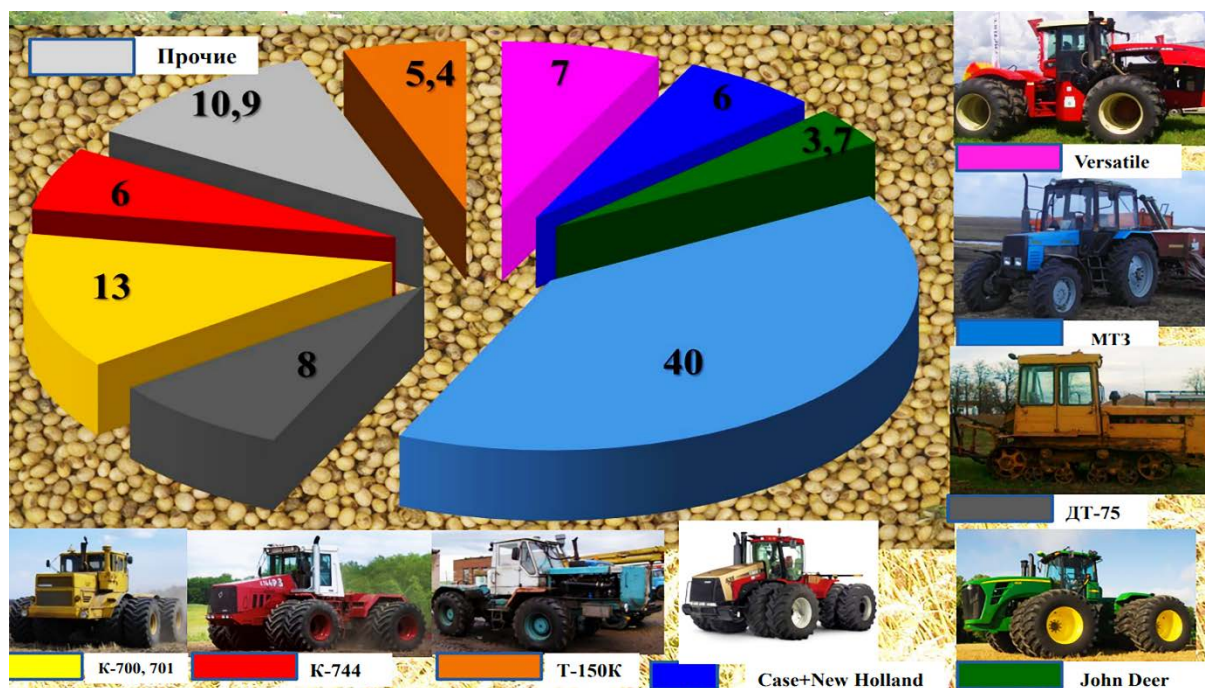


Рисунок 1.8 – Марочный состав тракторного парка в 2023 г., %

Малые объемы обновления автотракторного парка сельскохозяйственных предприятий области компенсируются приобретением более новых энергонасыщенных и производительных комплектаций машинно-тракторных агрегатов, к которым можно отнести тракторы семейства К-744, К-7 и «Версатил» различных модификаций. Однако трудности отечественного производства, ориентированного на поставку иностранных комплектующих и систем для этих машин, проецируются и на сельскохозяйственное производство, увеличивая как их начальную стоимость, так и стоимость последующей эксплуатации. Также эти тракторы имеют конструкционные ограничения по скорости движения, при работе на склонах; они обладают большей, не всегда рационально используемой массой, что увеличивает техногенные проявления при их масштабном использовании.

Наряду с этим тракторы марки Минского тракторного завода «МТЗ», собранные в основном из белорусских или отечественных комплектующих, на этом фоне обладают явным преимуществом в использовании российскими сельскохозяйственными товаропроизводителями.

В настоящее время государственными структурами в лице Правительства РФ, Министерства сельского хозяйства РФ и Министерства промышленности и торговли РФ предпринимается ряд мер, способствующих стимулированию развития сельского хозяйства регионов. Более подробно они показаны в виде схемы на рисунке 1.9 [71, 72].

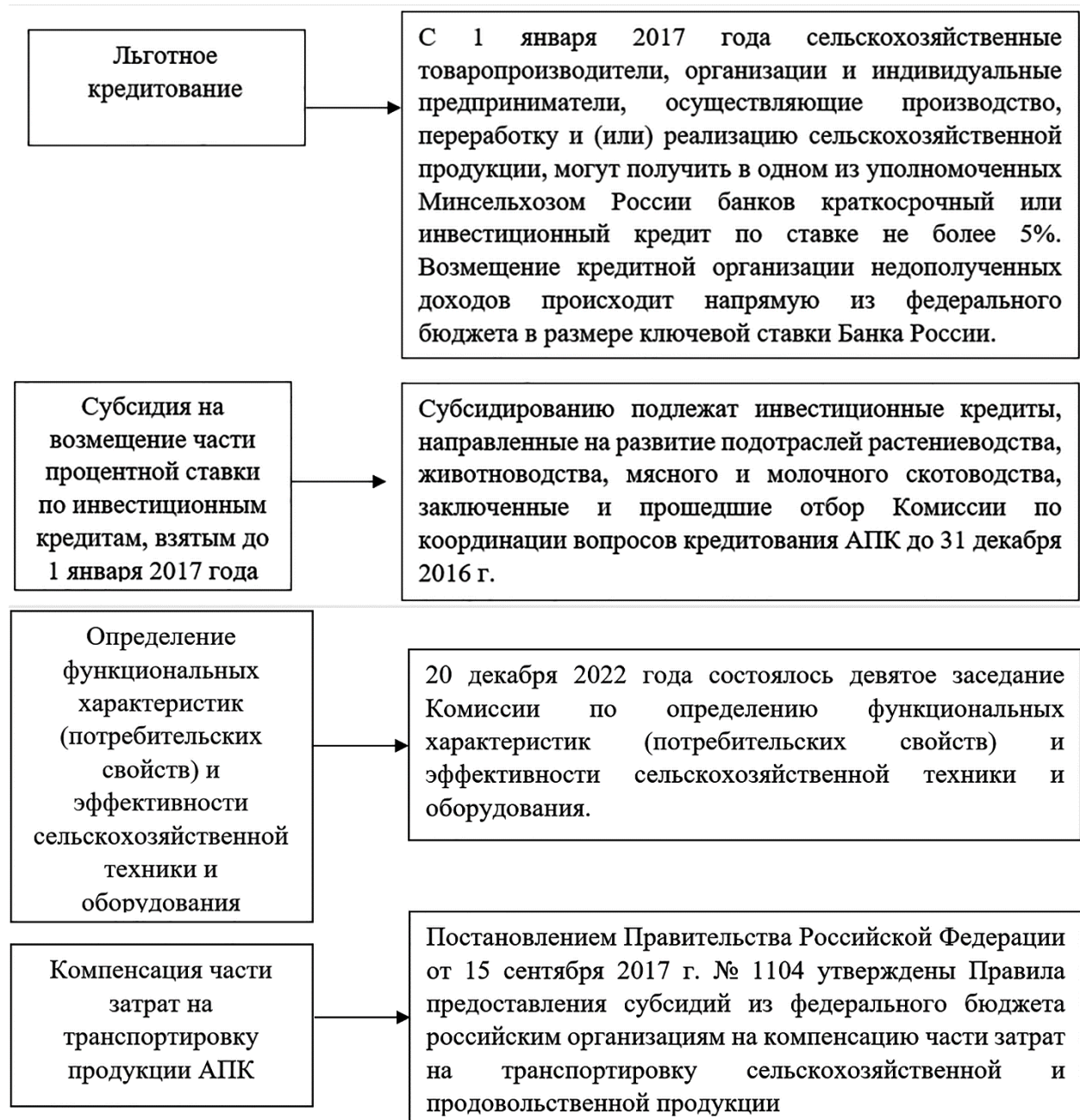




Рисунок 1.9 – Меры государственной поддержки АПК России [71, 72]

Таким образом, принятые меры, как планируется, позволят придать сельскому хозяйству страны достаточную динамику для достижения целевых результатов и показателей на долгосрочную перспективу.

1.3 Направления повышения эффективности сельскохозяйственного производства в крестьянско-фермерских хозяйствах области

Целевые ориентиры и плановые показатели, рекомендуемые к выполнению, требуют новых подходов к достижению максимальной эффективности имеющихся средств производства. Как установлено ранее, основное количество КФХ области расположено в центральной сельскохозяйственной зоне, формируют машинно-тракторный парк на основе трактора марки МТЗ; следовательно, производят подбор шлейфа сельскохозяйственных машин, исходя из тягового усилия энергетического средства в пределах 14–30 кН.

К основным этапам сельскохозяйственного производства в КФХ можно отнести: основную почвенную обработку; перевозку семенной группы к месту посева; посев; перевозку и внесение удобрений; перевозку и внесение средств защиты и стимуляции роста растений; уборку; перевозку в места доработки урожая; отбор и хранение семенной группы; перевозку в места дальнейшей переработки или продажи урожая; сортировку; протравливание и подготовку семенной группы к посеву.

Схематично основные этапы сельскохозяйственного производства с учетом показателей энергоемкости, установленных методом хронометражных наблюдений, представлены на рисунке 1.10.

Таким образом, наиболее энергоемкими этапами являются основная обработка почвы и уборка урожая, что определяет основные направления научных исследований для нужд КФХ. Вместе с тем такие этапы, как перевозка семенной группы к месту посева; перевозка и внесение удобрений; перевозка

и внесение средств защиты и стимуляции роста растений; перевозка в места доработки урожая; отбор и хранение семенной группы; перевозка в места дальнейшей переработки или продажи урожая невозможны без применения транспортных работ, что значимо увеличивает влияние эффективности использования энергетических средств, и в частности тракторов, на уровень продуктивности сельскохозяйственного производства.



Рисунок 1.10 – Основные этапы сельскохозяйственного производства с учетом показателей энергоемкости [71, 72]

Учитывая, что основным энергетическим средством в КФХ, используемым при перевозке грузов, является колесный трактор типа МТЗ, улучшение его параметрических характеристик является также действенным способом снижения трудоемкости производства и увеличения производительности тракторно-транспортных агрегатов (ТТА). При этом в случае применения в КФХ, наряду с растениеводством, еще и элементов технологии животноводства (птицеводства), уровень применения ТТА только возрастет в связи с введением новых этапов воспроизводства, кормления и содержания скота или птицы.

На данный момент в Амурской области наблюдается практически полное отсутствие специализированных и низкоклиренсных колесных тракторов, а

также машин, предназначенных для обработки земель с углом склона до 20° , в связи с чем ресурсный потенциал центральной и северной зон земледелия может быть обработан только на участках с углами склона не более 8–12 %, что регулируется правилами безопасности при использовании универсально-пропашных тракторов.

Также хозяйственными наблюдениями установлено, что в процессе движения ТТА на базе колесного трактора МТЗ нередки случаи самостоятельного амплитудного отклонения звеньев агрегата (трактора и прицепа) от прямолинейного движения под воздействием неровностей поверхности движения; неустановившегося характера крюковой нагрузки; конструктивных особенностей и допусков элементов навески трактора, являющейся элементом тягово-сцепного устройства, фиксирующего трактор и прицеп. Таким образом, создающееся «волновое» движение ТТА вызывает необходимость постоянного подруливания, обеспечения более напряженного внимания машиниста трактора, в связи с чем уменьшаются скоростные характеристики ТТА, а также увеличивается пройденный путь и расход топлива.

При движении же по склоновым полям и дорогам вследствие воздействия обозначенных факторов наблюдается эффект переворачивания ТТА, так как конструктивные особенности тягово-сцепного устройства (ТСУ), интегрированного с системой навески трактора, не позволяют рационально распределять между осями трактора приходящий сцепной вес.

Увеличение объема перевозимого груза при использовании многозвенных тракторных поездов также является современным способом повышения эффективности использования МТП. Главным недостатком при этом является увеличение транспортного коридора на поворотах, что негативно сказывается на безопасности движения при выполнении транспортных операций. При этом необходимо помнить, что основные транспортные работы выполняются в пе-

риод когда колесные движители не могут в полной мере реализовать свои тягово-сцепные свойства вследствие уменьшения сил трения в пятне контакта из-за переувлажнения и увеличением фактора бокового увода движителей.

В этой связи научным и производственным коллективам региона необходимо проведение более обширных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в обозначенном направлении с последующим внедрением получаемых результатов в производство в сокращенные сроки. При этом наиболее перспективным направлением представляется модернизация тягово-сцепного устройства трактора, как наиболее ответственного элемента системы сцепки звена «трактор – прицеп», способного осуществлять влияние как на тракторную устойчивость, так и на ширину транспортного коридора агрегата.

1.4 Виды тягово-сцепных устройств тракторно-транспортных агрегатов и их применяемость по классам

В процессе эксплуатации любых мобильных энергетических средств возникает необходимость транспортировки прицепных агрегатов. Особенно это относится к транспортировке грузов сельскохозяйственного назначения. Исследованиями установлено, что из всех затрат на перевозку грузов приходится до 50 % и выше. Поэтому вопрос правильной организации грузооборота остается актуальным, так как агрегатированию подвергаются машины различного назначения. Мобильные энергетические средства комплектуются специальными механизмами, классификация которых представлена на рисунке 1.11.

По типу размещения навесного механизма относительно энергетического средства выделяются четыре типа механизмов:

1) *универсальный задний навесной механизм*; с его помощью машина агрегируется большей частью экскаваторного оборудования: косилки, посевные машины, отвалы и устройства для уборки улиц;

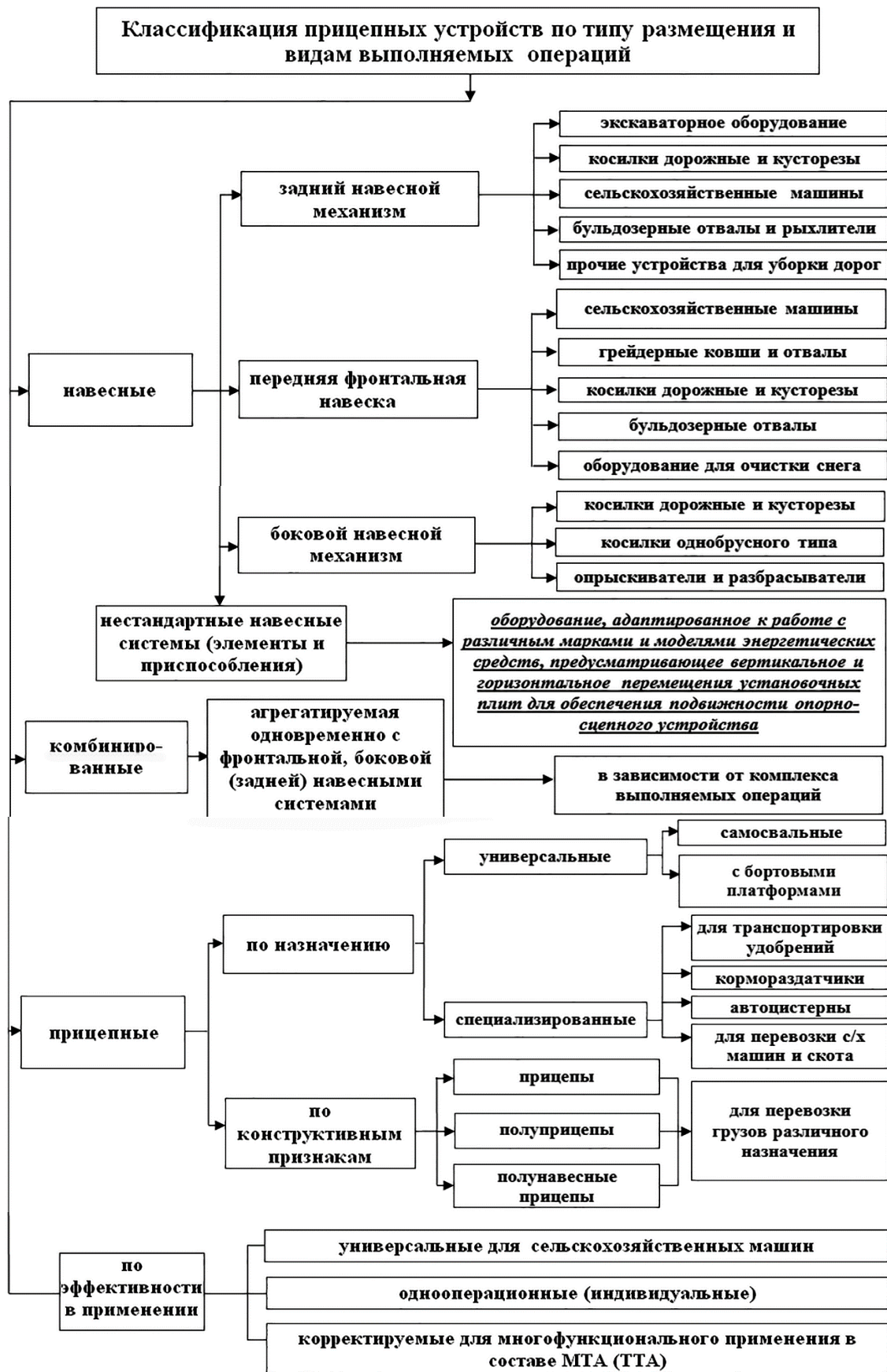


Рисунок 1.11 – Схема классификации прицепных устройств

2) *передняя (фронтальная) навеска*; имеет такую же конструкцию, как механизм, установленный на задней части трактора; фронтальный навесной механизм рассчитан на сцепку с жатками, фронтальными грейдерными ковшами, косилками, опрыскивателями и машинами для очистки от снега;

3) *боковой навесной механизм*; используется для работы с кусторезным оборудованием и косилками однобрусного типа; соединение проводится с помощью универсальных сцепок, которыми комплектуется машина;

4) *индивидуальные навесные системы*; такой механизм применяют в том случае, когда универсальные навески не подходят; например, если будет навешиваться оборудование, изначально рассчитанное на другие модели тракторов.

По назначению тягово-сцепные устройства подразделяют на три вида:

1) *тягово-сцепное устройство ТСУ-1 (тяговая вилка)* – располагается возможно ниже, но с обеспечением необходимого дорожного просвета и возможностью использования заднего вала отбора мощности; тягово-сцепное устройство ТСУ-1 служит для соединения с трактором разнообразных прицепных машин и орудий;

2) *тягово-сцепное устройство ТСУ-2 (гидрофицированный крюк)* предназначено для сцепки трактора с одноосными машинами и одноосными прицепами с последующей их буксировкой; управление процессом сцепки и расцепки должно выполняться трактористом из кабины с места водителя через гидравлическую систему механизма навески;

3) *тягово-сцепное устройство ТСУ-3 (буксирное устройство)* предназначено для работы трактора на транспортных перевозках в агрегате с двухосными тракторными и автомобильными прицепами.

В связи с тем, что транспортные скорости современных колесных тракторов достигают 35–40 км/ч (некоторые модели тракторов до 60 км/ч) к буксирным устройствам предъявляются повышенные прочностные требования. Бук-

сирным устройством и гидрофицированным крюком оснащают тракторы, широко используемые для транспортных операций. При этом они имеют полный набор средств для прицепного агрегатирования.

Тракторы тяговых классов от 4 и более оснащаются, как правило, только тягово-сцепным устройством ТСУ-1 типа тяговой вилки в обычном или маятниковом исполнении.

Одним из перспективных направлений в данной области является создание и применение комбинированных машинно-тракторных агрегатов с фронтальной и задней навесными системами, позволяющих совмещать технологические процессы механической обработки почвы [20, 44, 60, 85]. Учитывая исключительную важность поверхностной обработки почвы, ученые и практики, как в нашей стране, так и за рубежом, работают над созданием комбинированных машин и агрегатов, позволяющих сократить число проходов по полю.

Сцепное устройство комбинированного агрегата, состоящего из трактора, навесной и прицепной сельскохозяйственных машин, содержит навесное устройство трактора, к которому крепится навесная сельскохозяйственная машина. Для достижения положительного эффекта от применения комбинированных агрегатов должны соблюдаться требования (рис. 1.12) [60, 75, 102]:

1) энергоемкость технологического процесса, выполняемого комбинированным МТА, меньше общей энергоемкости при его выполнении однооперационными машинами (орудиями);

2) производительность не ниже, чем у комплекса заменяемых однооперационных машин (орудий);

3) стоимость работ ниже или на уровне стоимости работ комплекса однооперационных машин (орудий);

4) комбинированные агрегаты также хорошо приспособлены для работы при неблагоприятных погодных и почвенных условиях, как и заменяемые ими однооперационные машины (орудия);

5) их внедрение должно способствовать повышению урожайности возделываемых культур, поддерживать плодородие почвы, обеспечивать работу в системе новых технологий.

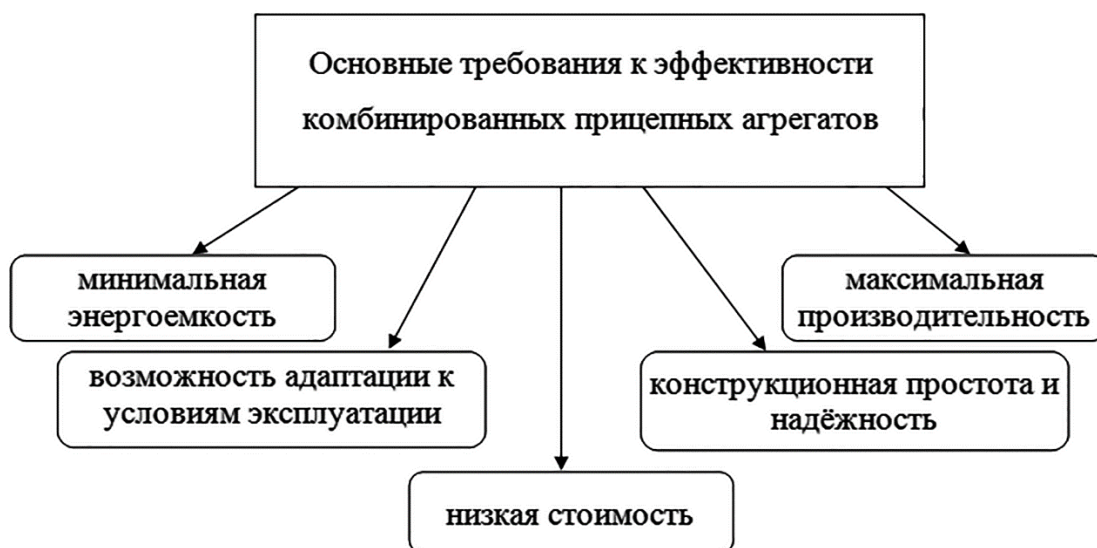


Рисунок 1.12 – Основные требования к эффективности комбинированных прицепных агрегатов

По способу агрегатирования (соединения) с тракторами все машины, работающие в составе МТА, подразделяют на следующие типы (рис. 1.13):

1) *навесная* – присоединена к стандартному навесному устройству трактора; масса машины в транспортном положении полностью воспринимается трактором; может иметь опорные колеса для работы; при переводе машины из рабочего положения в транспортное шарнирная точка присоединения к трактору принудительно перемещается в новое положение;

2) *полунавесная* – присоединена к стандартному навесному устройству или тягово-сцепному устройству (поперечина без тяговой вилки; поперечина с тяговой вилкой) трактора; имеет опорные колеса для транспорта; возможно наличие опорных колес для работы; масса машины в транспортном положении частично воспринимается трактором и большей частью собственными коле-

сами; при переводе машины из рабочего положения в транспортное шарнирная точка присоединения к трактору принудительно перемещается в новое положение по высоте;

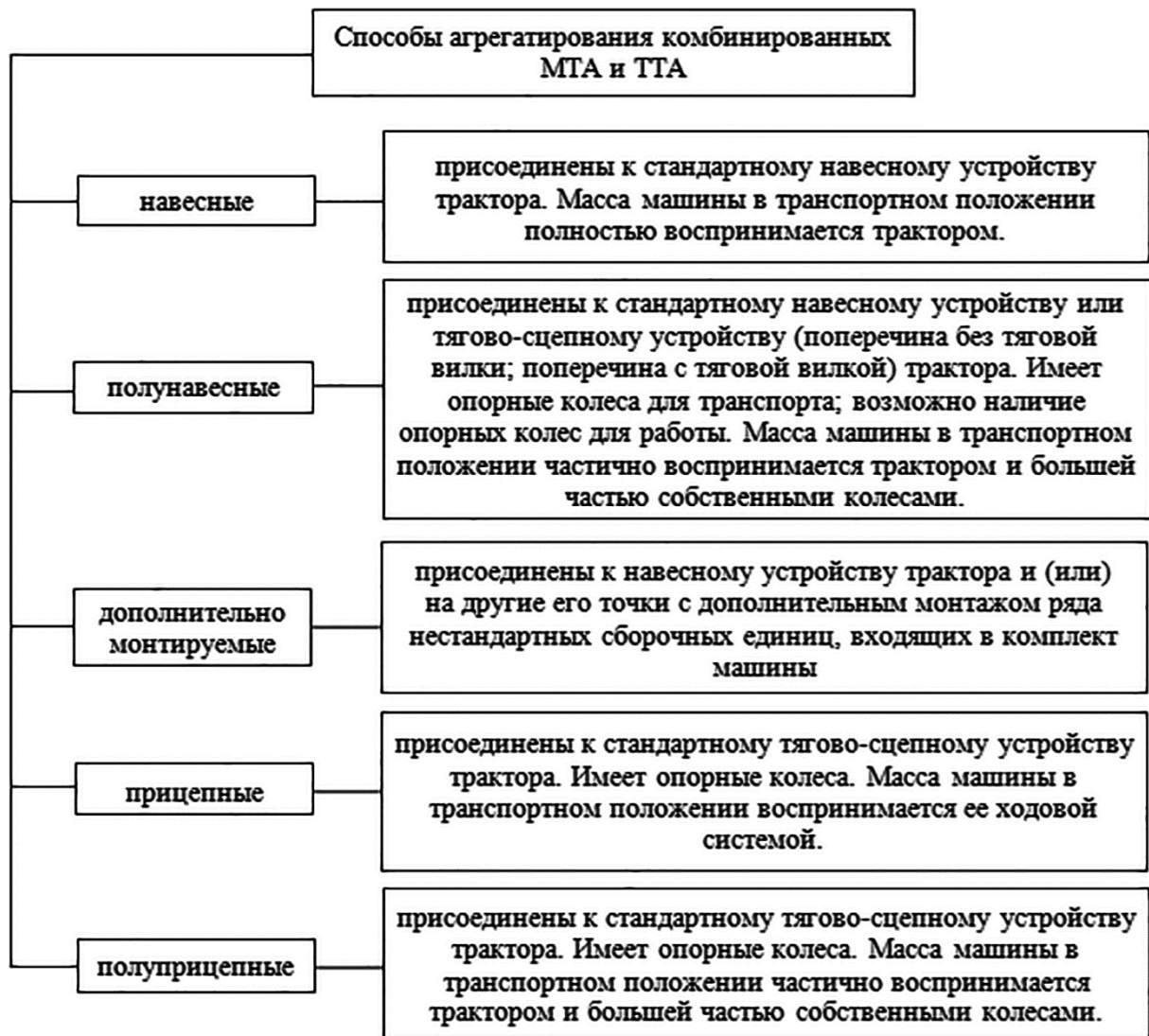


Рисунок 1.13 – Способы агрегатирования комбинированных МТА и ТТА

3) *полуприцепная* – присоединена к стандартному тягово-сцепному устройству трактора; имеет опорные колеса; при этом масса машины в транспортном положении частично воспринимается трактором и большей частью собственными колесами; при переводе машины из рабочего положения в транспортное шарнирная точка присоединения к трактору не изменяет своего положения по высоте;

4) *прицепная* – присоединена к стандартному тягово-сцепному устройству трактора; имеет опорные колеса; масса машины в транспортном положении воспринимается ее ходовой системой; при переводе машины из рабочего положения в транспортное шарнирная точка присоединения к трактору не изменяет своего положения по высоте;

5) *монтируемая* – присоединена к навесному устройству трактора и (или) на другие его точки с дополнительным монтажом ряда нестандартных сборочных единиц, входящих в комплект машины; к монтируемым машинам относятся оборудование: экскаваторы, погрузчики, бульдозеры, монтируемые ко-силки; агрегатирование монтируемых машин и оборудования является нестандартным способом применения сельскохозяйственного трактора; масса машины полностью воспринимается трактором.

В автопоездах для шарнирного соединения тягача и прицепа и возможности их быстрой сцепки-расцепки, а также передачи вертикальной и продольной нагрузок используются тягово-сцепные устройства (ТСУ) различной конструкции.

Тягово-сцепные устройства рассчитаны на передачу больших продольных и незначительных вертикальных сил, которые не должны превышать 10–15 кН. Это является их главной функциональной особенностью. Такие механизмы должны быть высоконадежными, обеспечивать соответствующие углы складывания автопоезда, возможность быстрой и безопасной сцепки-расцепки, амортизацию динамических нагрузок во время движения автопоезда. Принципиально ТСУ состоят из разъемно-сцепного и амортизационно-поглощающего механизмов, а также элементов крепления. Конструктивное исполнение тягово-сцепных устройств существенно влияет на такие важнейшие эксплуатационные качества автопоезда, как управляемость, курсовая устойчивость, маневренность, плавность хода, проходимость, надежность и безопасность.

По типу разъемно-сцепного механизма ТСУ подразделяют на три основных вида: крюковые (пара «крюк – петля»), вилочные или шкворневые (пара «шкворень – петля») и шаровые (пара «шар – полусфера»).

В общем случае в работе предлагается учитывать следующие параметры, характеризующие сцепные устройства:

- 1) *вертикальная масса* (U, t), передаваемая на опорно-сцепное устройство полуприцепом, имеющим технически допустимую максимальную массу;
- 2) *вертикальная масса* ($S, кг$), передаваемая в статических условиях на сцепное устройство прицепом с центрально расположенной осью, имеющим технически допустимую максимальную массу.

При этом между тягачом и прицепом значение горизонтальных сил определяется в зависимости от конструкции сцепного устройства:

- 1) для сцепных устройств и их элементов, не предназначенных для выдерживания вертикальных нагрузок:

$$D = g \frac{TR}{T + R} \quad (1.1)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

T – технически допустимая максимальная масса тягача, т;

R – технически допустимая максимальная масса прицепа со свободно движущейся в вертикальной плоскости сцепной тягой, т.

- 2) для сцепных устройств и их элементов, предназначенных для прицепа с центрально расположенной осью:

$$Dc = g \frac{TC}{T + C} \quad (1.2)$$

где T – технически допустимая максимальная масса тягача, включая вертикальную нагрузку, передаваемую прицепом с центрально расположенной осью, т;

C – масса, передаваемая на грунт осью или осями прицепа с центрально расположенной осью, когда он сцеплен с тягачом и загружен до технически допустимой максимальной массы, т.

3) для опорно-сцепных устройств класса G , шкворней опорно-сцепных устройств класса H и установочных плит класса J :

$$D = g \frac{0,6 \cdot T \cdot R}{T + C - U} \quad (1.3)$$

где T – технически допустимая максимальная масса тягача, включая вертикальную нагрузку, передаваемую полуприцепом, т;

R – технически допустимая максимальная масса полуприцепа, т.

Величина амплитуды вертикальной силы, с которой воздействует на сцепное устройство прицеп с центрально расположенной осью, технически допустимая максимальная масса которого превышает 3,5 тонн, находится из выражения (1.4):

$$U = \frac{aCx^2}{L^2} \quad (1.4)$$

где a – эквивалент вертикального ускорения сцепного устройства в зависимости от типа системы подвески задней оси тягача ($1,8 \text{ м/с}^2$ – для пневматической подвески или систем подвески с эквивалентными амортизационными характеристиками; $2,4 \text{ м/с}^2$ – для подвески других типов);

x – длина погрузочной поверхности прицепа, м;

L – расстояние от центра проушины сцепной тяги до центра оси, м.

При этом должно выполняться условие:

$$\frac{x^2}{L^2} \geq 1$$

Если данное отношение меньше единицы, то в расчетах оно должно приниматься за единицу.

Проведенный анализ показал, что для каждого способа транспортировки агрегатов необходимо подбирать свой вид прицепного устройства, который в дальнейшем будет оказывать влияние на управляемость ТТА.

1.5 Классификация тягово-сцепных устройств и обоснование оптимальной конструкции ТСУ

В современном машиностроении тягово-сцепные устройства позволяют провести агрегатирование дополнительными тяговыми или транспортными средствами, не оборудованными двигателем, сформировать транспортные агрегаты высокой грузоподъемности и обеспечить большую производительность автомобилей, тракторов или самоходных машин.

Предлагается тягово-сцепные устройства классифицировать по четырем основным категориям: по эксплуатационному назначению; по регулированию параметров агрегата; по применению; по типу размещения и видам выполняемых операций. Ориентировочно расширенную классификацию ТСУ можно представить в виде схемы, предложенной на рисунке 1.14.

Действующая категорийная классификация механических сцепных устройств представлена на рисунке 1.15.

Таким образом, согласно предложенной классификации, устройство ТСУ должно обладать следующими признаками:

- 1) *по эксплуатационному назначению – вид «тяговая вилка – тягово-сцепное устройство»;*
- 2) *по регулированию параметров агрегата – с возможностью перераспределения сцепного веса;*
- 3) *по применению – корректируемые, для многофункционального применения в составе ТТА (МТА);*
- 4) *по типу размещения и видам выполняемых операций – навесные (не-стандартные навесные системы (элементы и приспособления)).*

Учитывая необходимый эффект, проанализированы известные способы стабилизации колебаний звеньев ТТА в движении (рис. 1.16).

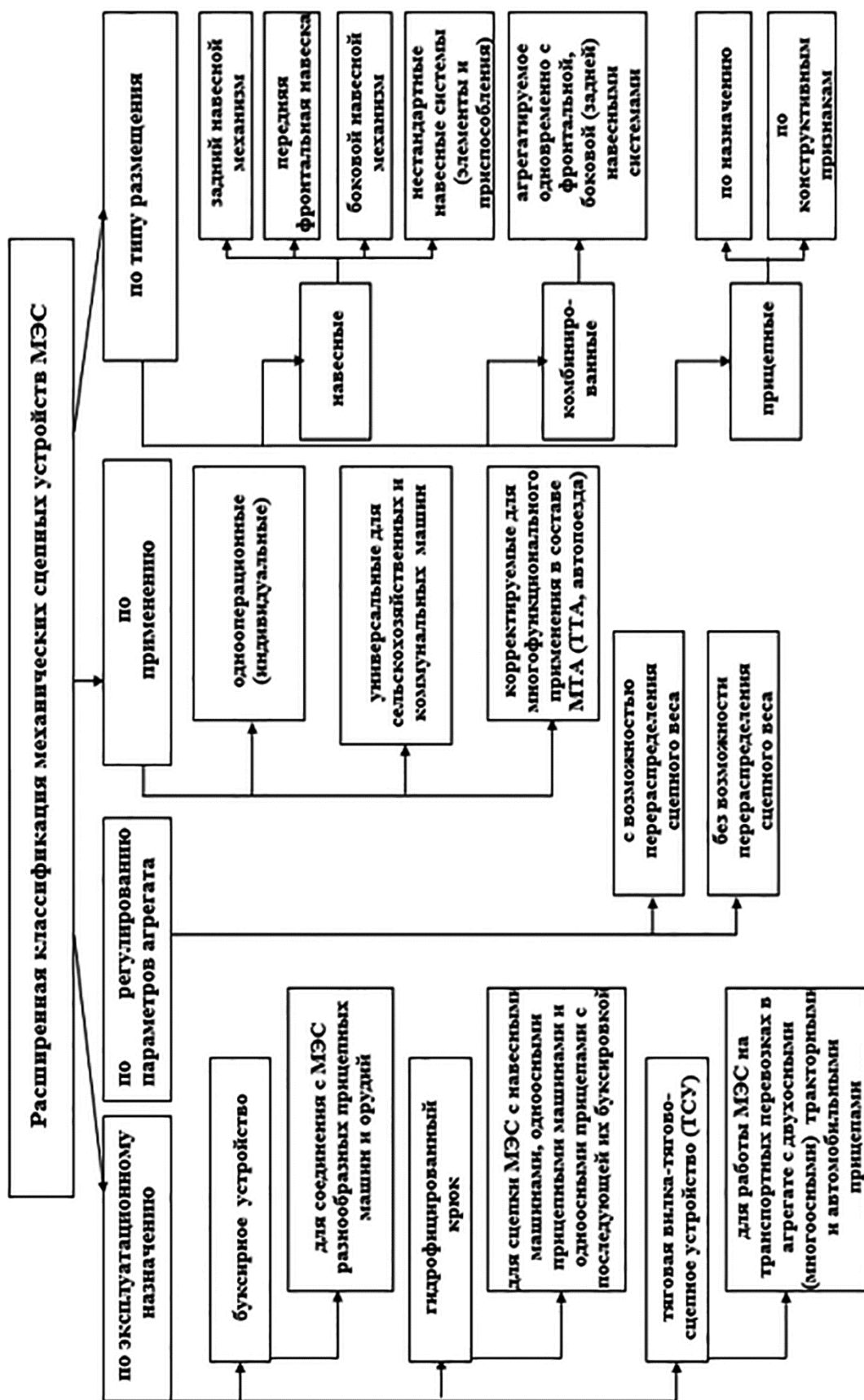


Рисунок 1.14 – Расширенная классификация механических сцепных устройств мобильных энергетических средств

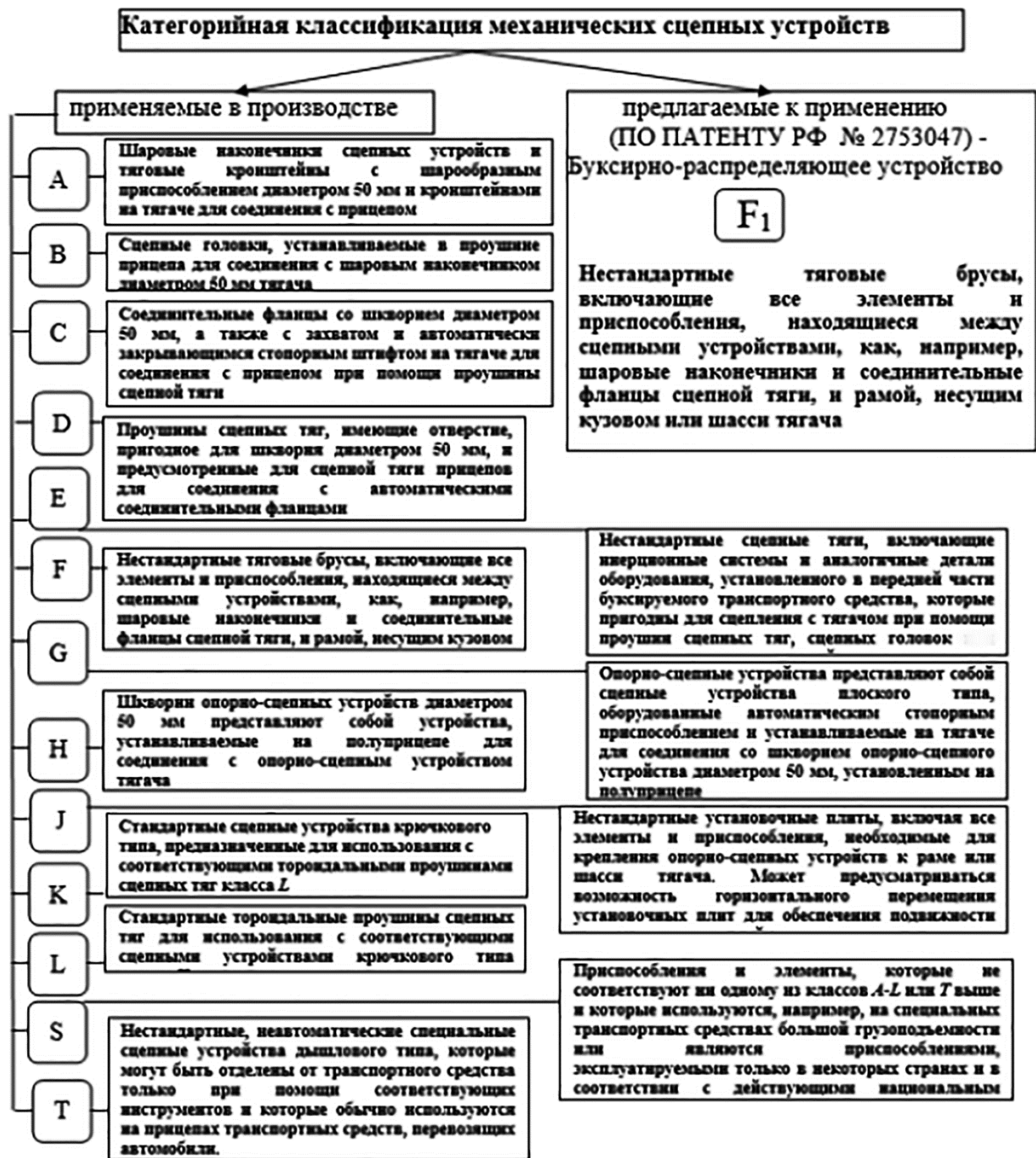


Рисунок 1.15 – Категорийная классификация механических сцепных устройств [78]

Таким образом, на основе анализа известных и прогнозируемых конструктивных схем к дальнейшему исследованию может быть принято «Буксирно-распределяющее устройство» (патент Российской Федерации на изобретение).

речение № 2753047), как наиболее соответствующее приведенной классификации, обладающее возможностью корректирования сцепного веса, стабилизации горизонтальных колебаний в звене «трактор – прицеп», способствующее улучшению продольной и траекторной устойчивости ТТА.



Рисунок 1.16 – Способы стабилизации звеньев ТТА

1.6 Анализ исследований по повышению эффективности использования энергетических средств в сельском хозяйстве на транспортных работах

Современная система земледелия в регионе должна основываться на тщательном анализе и учете всех взаимосвязанных факторов, которые влияют на сельскохозяйственное производство. При планировании производственных

показателей необходимо учитывать как техническое обеспечение предприятий и экономическую целесообразность сельскохозяйственного производства, так и влияние природных и климатических условий, ландшафтных особенностей, а также наличие квалифицированной рабочей силы.

Важно отметить, что перспективное техническое обеспечение предприятий, даже при их высоком уровне насыщенности и разнообразии моделей в зависимости от используемых технологических операций и темпа обновления, не может полностью раскрыть свой потенциал без эффективных и грамотных решений в области логистики, оптимизации и эксплуатации. Это относится как к материально-техническому обеспечению, так и к проведению почвообрабатывающих, уборочных и транспортных работ, а также использованию научного подхода в качестве основы для технологических операций.

Многие исследователи посвятили свои работы вопросам повышения эффективности использования энергетических ресурсов в сельском хозяйстве, особенно в отношении полевых и транспортных работ, при различных природно-климатических условиях, ландшафтных особенностях и состоянии опорной поверхности. Эти факторы являются важной составляющей агротехнологических процессов.

Так, повышению эффективности использования мобильных энергетических средств на транспортных работах посвящены исследования Н. В. Алдошина [6, 7], А. Н. Баранского [15], Ю. А. Гуськова [31, 32], Ф. С. Завалишина [41], С. А. Иофинова [49], А. Ю. Измайлова [48], З. Ф. Кривуцы [55], А. И. Новожилова [75], В. А. Петрушова [79], Н. Ф. Скурятин [87], С. Д. Сметнева [89], И. И. Трепененкова [101], В. С. Филонова [106] и других [10, 14, 19, 26, 73, 94].

Авторы многочисленных исследований [20, 27, 88] пришли к выводу, что повысить эффективность функционирования транспортно-технологического и энергетического обеспечения агропромышленного комплекса возможно за счет сокращения номенклатурных видов грузов, объединения транспортных

операций, что позволит снизить транспортные затраты и уменьшить потребность в подвижном составе [60, 93].

Управляемость, теория поворота колесных машин с учетом динамических факторов последовательно разрабатывались Я. М. Певзнером [78], Я. Е. Фаробиным [104], Е. А. Чудаковым [110], Г. В. Зимелевым [46], Л. Л. Гинцбургом [28].

В ряде работ авторами установлено, что внедрение в агропромышленное производство новых современных систем машин [89, 101], формирование высокоэффективных транспортных комплексов [10, 14], наряду с совершенствованием технологий почвообработки [94, 110], ухода за посевами [88, 93], уборочных мероприятий [92, 103] и транспортировки сельскохозяйственных культур [2, 42], предопределяется применением результативных логистических методов [17, 107] при обеспечении оптимального согласования смежных транспортных и технологических операций [1, 22, 37, 50, 114, 126].

Вопросы улучшения тягово-сцепных свойств тракторов сельскохозяйственного назначения с целью повышения их эффективности нашли отражение в трудах Д. С. Гапича [27], А. Н. Панасюка [77], Н. И. Селиванова [84], В. А. Скотникова [86], А. М. Емельянова [38], С. А. Шишлова [111], С. В. Щитова [112] и многих других [21, 30, 47, 54, 116, 123].

На основе опытных исследований стабилизации движения сельскохозяйственных комплексов и формирования агрегатов базируются работы П. А. Амельченко [8], Е. М. Асманкина [11, 13], А. В. Богданова [18], А. В. Войтикова [25], В. В. Гуськова [33, 34], И. С. Житенко [40], Г. К. Каптюшина [50], В. М. Кильдюшкина [51], Г. М. Кутькова [61], И. П. Ксеневича [56, 57], Я. М. Певзнера [78], Е. С. Поликутиной [83], В. И. Поддубного [81], Н. И. Селиванова [84], В. С. Степановского [95, 96], А. В. Сюмака [97], С. В. Тарасовой [98, 99], Т. В. Хухуни [108] и других исследователей [12, 39, 58, 59, 74, 105, 118].

Исследованию факторов «устойчивости» ходовой системы автомобилей и тракторов посвятили свои работы Д. А. Антонов [9], И. П. Здоровцов [45],

Б. П. Демидович [35], С. А. Иофинов [49], И. Н. Листопадов [62], Г. И. Мамити [64], Я. М. Певзнер [78], О. И. Поливаев [82], В. А. Скотников [86], Я. Е. Фаробин [104], Е. А. Чудаков [110] и другие [58, 59]. Авторы делают общий вывод о необходимости учета показателей устойчивости агрегата и влияющих на них факторов (тяговые и тормозные характеристики, управляемость и способность сопротивляться боковому скольжению) при планировании и выполнении как транспортных, так и сельскохозяйственных операций [113, 124, 125].

Устойчивость в движении колесных и гусеничных ходовых систем неразрывно связана с опасностью опрокидывания. Проблемами устойчивости против опрокидывания занимались и зарубежные [113, 122, 124, 125], и отечественные исследователи (Ю. Г. Горшков [29], С. В. Бахмутов [16], А. К. Болотов [19], В. А. Петрушов [79] и другие [80, 91, 109]). Данные исследования позволяют обосновать технологические параметры движения и выполнения работ как с использованием колесных тракторов, так и специальных транспортных средств. Они также предлагают методы регулирования давления в шинах и способы стабилизации направления движения для повышения устойчивости.

Зависимость устойчивости движения автопоезда от геометрических параметров звеньев и от соотношения их масс и моментов инерции рассмотрена в работах [4, 5, 23, 43]. Авторами работ [24, 52, 76] установлено, что устойчивость прицепа повышается в случае снижения его собственной массы при прочих неизменных параметрах. Увеличение массы прицепа оказывает на его движение эффект, аналогичный уменьшению боковой жесткости шин, то есть при этом уменьшается критическая скорость и увеличивается ширина динамического коридора. При увеличении массы прицепа в 2 раза критическая скорость уменьшается в 1,8 раза. Амплитуда поперечных колебаний прицепов снижается при перемещении центра масс прицепа ближе к передней оси. Экс-

периментально установлено [93], что критическая скорость движения достигается максимальной, если центр тяжести прицепа расположен на расстоянии, соответствующем $0,3L$ от передней оси (L – база прицепа).

Из геометрических параметров наибольшее влияние на величину амплитуды поперечных колебаний оказывает общая длина поезда, коэффициент измерения радиуса поворота, база и длина дышла прицепных звеньев. Авторами работ [52, 76] установлено, что амплитуда колебаний линейно растет с увеличением величины зазора в сцепном устройстве при неизменной скорости движения и с увеличением скоростного режима движения при постоянном по величине зазоре.

Основы движения ТТА в условиях склоновых земель заложены и исследованы Е. А. Чудаковым [110], которым было предложено обоснование теории качения эластичного колеса и определены факторы, влияющие на устойчивость движения ТТА: боковая составляющая веса агрегата, которая вызывает поперечные сдвиги почвы в пятне контакта; деформация колесного движителя. Дальнейшее развитие данное обоснование нашло в трудах Д. А. Антонова, В. В. Гуськова, Я. М. Певзнера, Я. Е. Фаробина, изучавших явления бокового увода эластичного колеса в совокупности его конструкции и технологических параметров.

В зонах рискованного земледелия, включая Амурскую область, сельскохозяйственное производство и соблюдение зональной технологии требуют тщательного подбора комплекса мероприятий, которые могут быть достаточно затратными с точки зрения агротехники и экономики. В данном контексте целесообразно оптимально использовать соответствующую современную агротехнику и внедрять новые технологии, связанные с улучшением энергетических средств и сельскохозяйственных машин [108, 119, 120].

В связи с переходом агропромышленного комплекса России на энергетические средства с колесной ходовой системой, внимание производителей сосредоточено на многофункциональных энергосберегающих машинах (МЭС) с расширенным тяговым диапазоном. Техничко-экономический анализ показывает, что замена гусеничных тракторов (ДТ-75, ТТ-4) на колесные модели (МТЗ-80/82, 1221) с расширенным тяговым диапазоном приносит значительный экономический эффект. Производители придают особое значение этому, учитывая современную тенденцию в агропромышленном комплексе [58].

Как показывает экспериментальная практика, прибыль от использования тракторов тягового класса 14 кН с расширенными тяговыми характеристиками в более высоком классе 30 кН с учетом значительной загрузки в течение года, а также более низкой балансовой стоимости, непосредственно связана с меньшими отчислениями на дополнительные расходы, реновацию и ремонтный фонд [18].

При использовании технологий точного земледелия особенно важно обеспечить устойчивое и стабильное движение агрегатов. Это обусловлено более строгими требованиями к адаптивности техники к различным агроландшафтам и природно-климатическим условиям. При этом проблему стабилизации траектории движения предлагается решать за счет внедрения подруливающих устройств и автопилотов [113], разработки и внедрения автоматических бесступенчатых трансмиссий, что наблюдается на примере продукции ведущих зарубежных фирм-производителей (NEW HOLLAND, John Deere, Fendt) [121].

В работах [30, 47, 84] авторами достоверно установлено, что начиная с уклона местности в 6–7 град. происходит значительное снижение поступательной скорости ТТА. При этом при работе на склонах в 10–11 град. полезная тяговая мощность трактора снижается на 25–27 % [4, 37, 126].

Кроме того, горизонтальное боковое смещение ТТА от траектории движения приводит к увеличению маршрута, уменьшению урожайности, ухудшению условий труда механизатора и нарушению эргономических требований к технике при проведении работ [5, 23].

Проанализированная в рассматриваемой области техники большая часть научных работ [8, 24, 43, 50, 52, 76, 94] посвящена исследованию влияния на устойчивость и управляемость автопоездов массово-геометрических характеристик; особенностей, связанных с конструкциями поворотных устройств и ТСУ; характеристик пневматических шин. Различные факторы имеют разную степень влияния на устойчивость движения.

В связи с появлением в производстве тяговых и перевозочных средств инновационных моделей и конструкций общим заключением к проведенному анализу, в целях расширения массива научных и производственных знаний, представляется важной необходимостью дальнейшего проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в направлении повышения эффективности применения ТТА в агропромышленном производстве.

1.7 Анализ технических решений и способов повышения эффективности использования тракторных поездов в АПК

Современные подходы, способствующие повышению эффективности ТТА, предлагают инновационные конструктивно-технические решения и позволяют аргументировать применение перераспределения сцепного веса в системе ТТА, использование способов коррекции положения тягово-сцепного устройства прицепных звеньев, обосновать их влияние на формирование ширины транспортного коридора ТТА, улучшение продольной и траекторной устойчивости, стабилизацию колебаний звеньев агрегата в различных условиях эксплуатации.

Ряд обозначенных решений, прошедших опытную проверку, защищенных охранными документами Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности (патентообладатель Дальневосточный ГАУ), позволяющих провести дооснащение энергетических средств, существенно уменьшить временные и материальные затраты при проектировании, производстве (изготовлении), внедрении, совершенствовании, а также доработке серийных ТТА, предлагается к анализу и промышленному внедрению:

1. Догружающее устройство машинно-тракторного агрегата (*патент РФ № 2613367*) предназначено для снижения буксования, увеличения тягового усилия и агротехнической проходимости, повышения производительности колесных тракторов при агрегатировании с прицепами в условиях их передвижения по скользкой дороге, в условиях бездорожья, при глубоком снежном покрове, малой несущей способности почв или наличии подстилающего мерзлотного слоя.

2. Гидрорегулируемое буксирное устройство колесного трактора (*патент РФ № 2728162*) предназначено для снижения буксования, увеличения тягового усилия и агротехнической проходимости, повышения производительности и безопасности при эксплуатации агрегатированных колесных тракторов при их передвижении по скользкой дороге, в условиях бездорожья, при глубоком снежном покрове, малой несущей способности почв или наличии подстилающего мерзлотного слоя.

3. Буксирно-распределяющее устройство для многозвенного транспортного агрегата (*патент РФ № 2739635*) предназначено для перераспределения веса между ходовыми системами трактора и агрегатируемых прицепов в составе многозвенного транспортного агрегата (ТА) в целях снижения буксования, стабилизации движения и увеличения тягового усилия в повороте, а также корректирования ширины транспортного коридора третьего звена (прицепа) при движении ТА.

4. Буксирно-распределяющее устройство (патент РФ № 2753047)

предназначено для снижения буксования, увеличения тягового усилия и агротехнической проходимости, повышения производительности и безопасности при эксплуатации агрегатированных колесных тракторов при их передвижении по склоновым поверхностям, скользкой дороге, в условиях бездорожья, при глубоком снежном покрове, малой несущей способности почв, наличии подстилающего мерзлотного слоя.

5. Буксирно-цепное устройство с вертикальным регулированием (патент РФ № 2780711) предназначено для снижения буксования, увеличения тягового усилия и агротехнической проходимости, повышения производительности и безопасности при эксплуатации машинно-тракторных агрегатов; уменьшения галопирования при трогании и движении; улучшения стабилизации курсовой и траекторной устойчивости трактора при работе на склоновых поверхностях, передвижении по скользкой дороге, в условиях бездорожья, при глубоком снежном покрове, малой несущей способности почв, наличии подстилающего мерзлотного слоя.

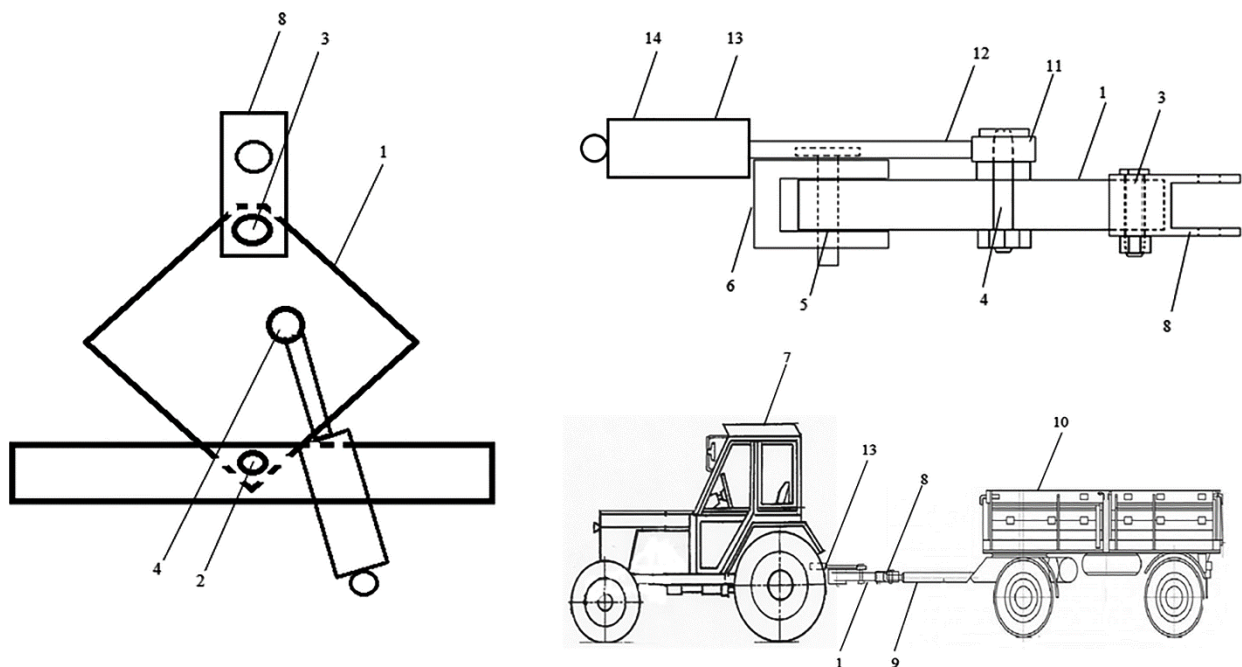
6. Распределяюще-корректирующее тягово-цепное устройство для полурамного трактора (патент РФ № 2780683) предназначено для снижения буксования, увеличения тягового усилия и агротехнической проходимости, повышения производительности полурамных тракторов при агрегатировании с прицепами в условиях их передвижения по скользкой дороге, в условиях бездорожья, при глубоком снежном покрове, малой несущей способности почв или наличии подстилающего мерзлотного слоя.

Основная задача предлагаемых технических решений состоит в увеличении тягового усилия и агротехнической проходимости, повышении производительности и безопасности при эксплуатации МТА и ТТА, уменьшении галопирования трактора при трогании и движении, корректировании транспортного коридора в повороте, улучшении стабилизации курсовой и траекторной

устойчивости трактора при работе на склоновых поверхностях, передвижении по скользкой дороге, в условиях бездорожья, при глубоком снежном покрове, малой несущей способности почв, наличии подстилающего мерзлотного слоя.

Рассмотрим более подробно принципиальные схемы и перспективные технические характеристики предлагаемых технических решений при их внедрении в производство.

Догружающее устройство машинно-тракторного агрегата показано на рисунке 1.17.



1 – плоская квадратная план-шайба; 2, 3 – сквозные диагональные установочные отверстия; 4 – крепежные отверстия; 5 – шарнир; 6 – поперечина продольных рычагов навески; 7 – нижние продольные рычаги навески; 8 – буксирное устройство; 9 – дышло прицепа; 10 – прицеп; 11 – вилка рабочего штока силового гидроцилиндра; 12 – рабочий шток силового гидроцилиндра; 13 – силовой гидроцилиндр

Рисунок 1.17 – Принципиальная схема догружающего устройства машинно-тракторного агрегата

Данное устройство содержит плоскую квадратную план-шайбу 1 со сквозными диагональными установочными 2, 3 и крепежным 4 отверстиями, установленную на шарнире 5 в поперечине 6, объединяющей нижние продольные рычаги навески трактора 7 и выполненной из швеллерной балки с параллельными гранями полок. В диагональном установочном отверстии 3 плоской

квадратной план-шайбы 1 шарнирно установлено буксирное устройство 8 для сцепки с дышлом 9 прицепа 10, а в крепежном отверстии 4 план-шайбы 1 с верхней стороны шарнирно закреплена вилка 11 рабочего штока 12 силового гидроцилиндра 13, корпус 14 которого проушиной установлен в тыльной части корпуса (силовом элементе кузова) трактора 7. Устройство также включает гидросистему трактора, позиционный регулятор и датчики буксования, установленные на ведущих колесах трактора (на рисунке не указаны).

Принцип работы устройства. При передвижении агрегата, состоящего из буксирующего колесного трактора 7 и прицепа 10, по грунтам с низкой несущей способностью и увеличении величины буксования на одном из ведущих колес, оператором трактора включается гидрораспределитель и через распределитель задвигается или выдвигается рабочий шток силового гидроцилиндра. При этом плоская квадратная план-шайба 1 поворачивается в шарнире 5, вертикально фиксируясь в поперечине 6 создающимся пассивным замком между поверхностью план-шайбы 1 и параллельными гранями полка швеллерной балки, передавая часть собственной нагрузки агрегатируемого прицепа через его дышло на подвеску и ведущие колеса буксирующего колесного трактора и побортно перемещая точку приложения сцепного веса прицепа. Это позволяет снизить буксование, увеличить тяговое усилие и агротехническую проходимость, а, следовательно, повысить производительность колесных тракторов при агрегатировании с прицепами в ходе выполнения хозяйственных работ.

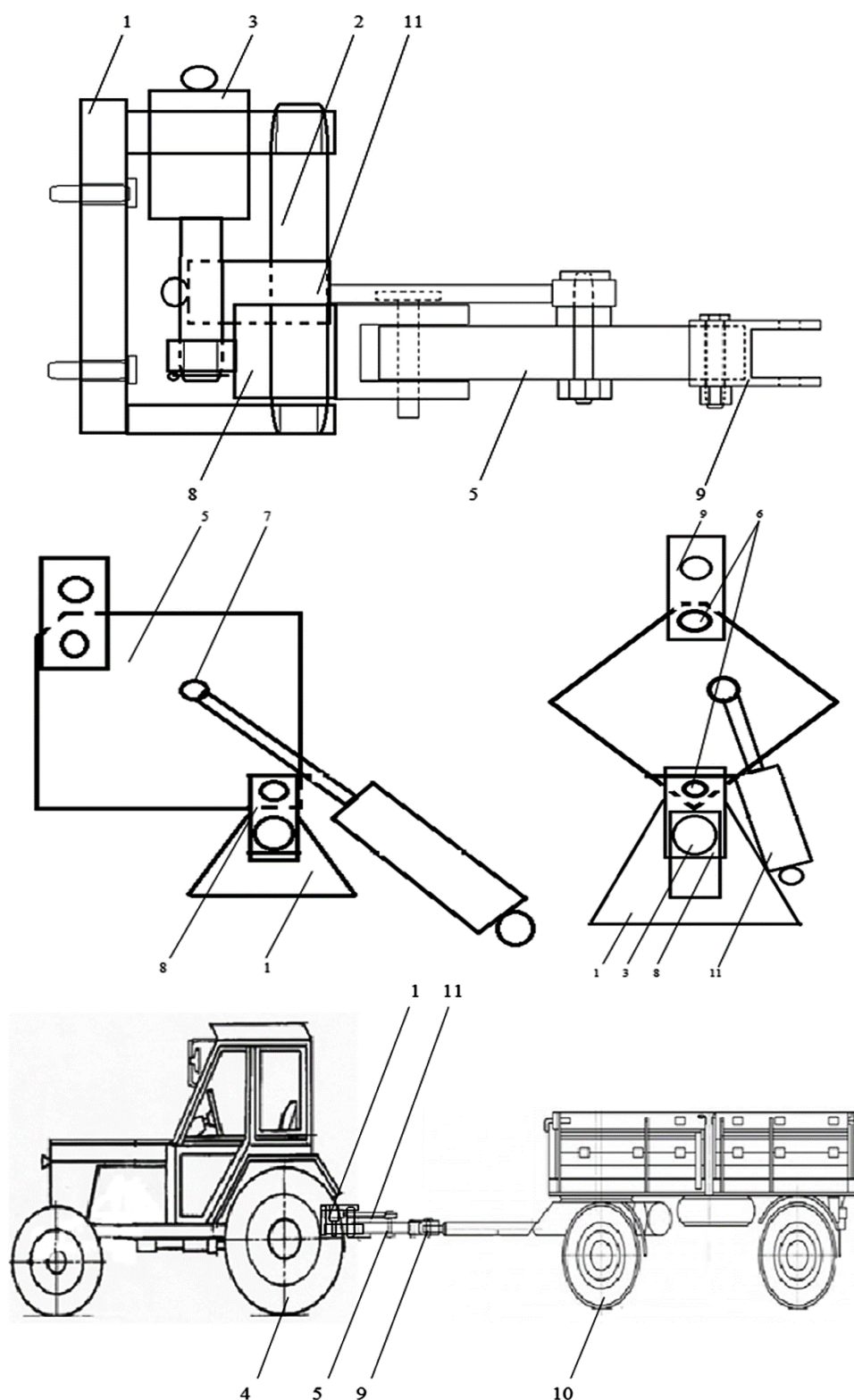
При отсутствии необходимости передвижения с подключенным устройством оператором буксирующего колесного трактора гидрораспределитель не подключается и перераспределение собственной нагрузки с прицепа на подвеску и ведущие колеса буксирующего колесного трактора не производится.

Гидрорегулируемое буксирное устройство колесного трактора отображено на рисунке 1.18. Данное устройство выполнено в виде конструкции,

состоящей из установочного кронштейна 1 с направляющей осью 2 и регулирующим гидроцилиндром 3, закрепленного при помощи резьбового соединения в тыльной части корпуса трактора 4; плоской квадратной план-шайбы 5 со сквозными диагональными установочными 6 и крепежным 7 отверстиями, зафиксированной в опоре 8 с шарниром и упором, через которую проходит направляющая ось 2. При этом шток регулирующего гидроцилиндра 3 фиксирован в упоре, а в диагонально расположенном установочном отверстии плоской квадратной план-шайбы 5 шарнирно установлено буксирное устройство 9 для сцепки с дышлом прицепа 10; в крепежном отверстии 7 план-шайбы 5 с верхней стороны шарнирно закреплена вилка рабочего штока гидроцилиндра 11, корпус которого проушиной также закреплен в тыльной части корпуса (силовом элементе кузова) трактора 4.

Принцип работы устройства. При передвижении ТТА, состоящего из буксирующего колесного трактора 4 и прицепа 10, по грунтам с низкой несущей способностью и увеличении величины буксования на одном из ведущих колес, оператором трактора включается гидрораспределитель и производится горизонтальное регулирование план-шайбы 5 с буксирным устройством 9 методом втягивания или выдвижения рабочего штока силового гидроцилиндра 11. При этом плоская квадратная план-шайба 5 поворачивается в опоре 8 вокруг направляющей оси 2.

При необходимости вертикальной регулировки буксирного устройства 9 оператором производится вертикальное регулирование методом подключения регулирующего гидроцилиндра 3, шток которого при выходе или втягивании поднимает или опускает опору 8 с установленными план-шайбой 5 и буксирным устройством 9 на направляющей оси 2. При этом передается часть собственной нагрузки агрегируемого прицепа 10 через его дышло на подвеску и ведущие колеса буксирующего колесного трактора 4, побортно перемещая точку приложения сцепного веса прицепа 10.



- 1 – установочный кронштейн; 2 – направляющая ось; 3 – регулирующий гидроцилиндр;
 4 – трактор; 5 – плоская квадратная план-шайба; 6 – сквозные диагональные установочные
 отверстия; 7 – сквозное крепежное отверстие; 8 – опора с шарниром и упором;
 9 – буксирное устройство; 10 – прицеп; 11 – гидроцилиндр

**Рисунок 1.18 – Принципиальная схема гидрорегулируемого
 буксирного устройства колесного трактора**

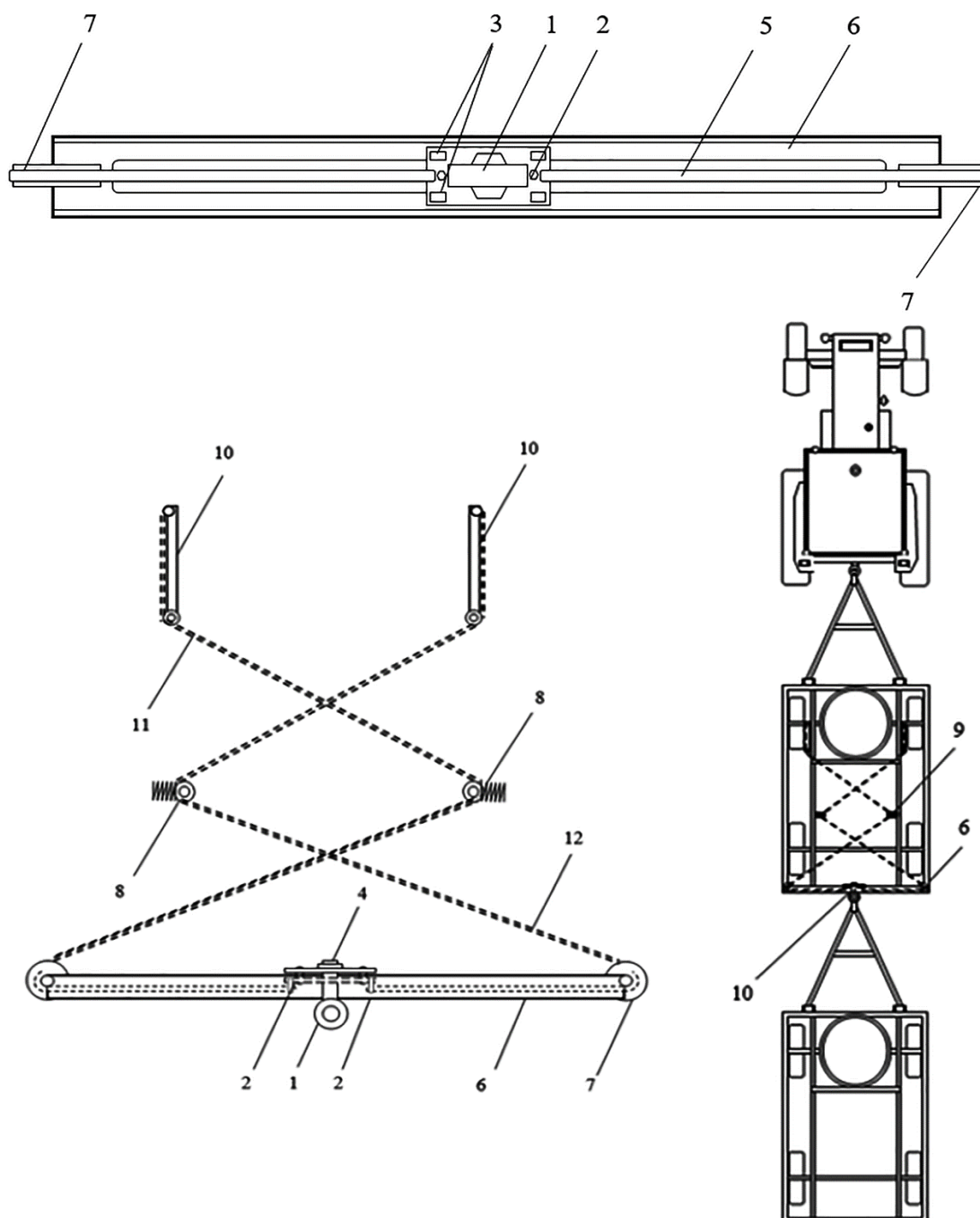
Это позволяет снизить буксование, увеличить тяговое усилие и агротехническую проходимость, а, следовательно, повысить производительность колесных тракторов при агрегатировании с прицепами в ходе выполнения хозяйственных работ.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным устройством гидрораспределитель не подключается и перераспределение собственной нагрузки с прицепа на подвеску и ведущие колеса буксирующего колесного трактора не производится.

Буксирно-распределяющее устройство для многозвенного транспортного агрегата показано на рисунке 1.19. Оно выполнено в виде конструкции, состоящей из разъемного тягово-сцепного устройства 1 с крюковыми фиксаторами 2 тросовой силовой связи и подвижными роликами 3, установленного и зафиксированного гаечным соединением 4 в центральном продольном сквозном пазе 5 швеллерной балки 6 с параллельными гранями полок. На окончаниях балки в шарнирных опорах установлены направляющие шкивы 7 натяжных блоков 8 с пружинами, размещенных на раме прицепа 9 и установочных кронштейнов 10, приваренных методом сварки на поворотном круге прицепа 9. При этом тросовая силовая связь 11 и 12 крепится окончанием в крюковых фиксаторах 2, проходит через направляющие шкивы 7, натяжные блоки 8 с пружинами и фиксируется в установочных кронштейнах 10.

Принцип работы устройства. При передвижении транспортного агрегата, состоящего из буксирующего колесного трактора и двух агрегатируемых звеньев (прицепов), по дорогам и грунтам, при повороте рулевого колеса оператором трактора дышло первого прицепа начинает сдвигаться в сторону поворота дороги. При этом происходит перемещение поворотного круга и натяжение тросовой силовой связи 11 или 12 (в зависимости от осуществления стороны поворота). Далее смещение троса производит силовое воздействие на крюковый фиксатор 2, натяжение и сдвигание тягово-сцепного устройства 1

в центральном продольном сквозном пазе 5 швеллерной балки 6 в сторону, противоположную повороту, на величину, равную углу поворота первого звена ТА (прицепа).



- 1 – разъемное тягово-сцепное устройство; 2 – крюковые фиксаторы; 3 – подвижные ролики; 4 – гаечное соединение; 5 – продольный сквозной паз; 6 – швеллерная балка;
7 – направляющие шкивы; 8 – натяжные блоки с пружинами; 9 – рама прицепа;
10 – установочные кронштейны; 11, 12 – тросовая связь

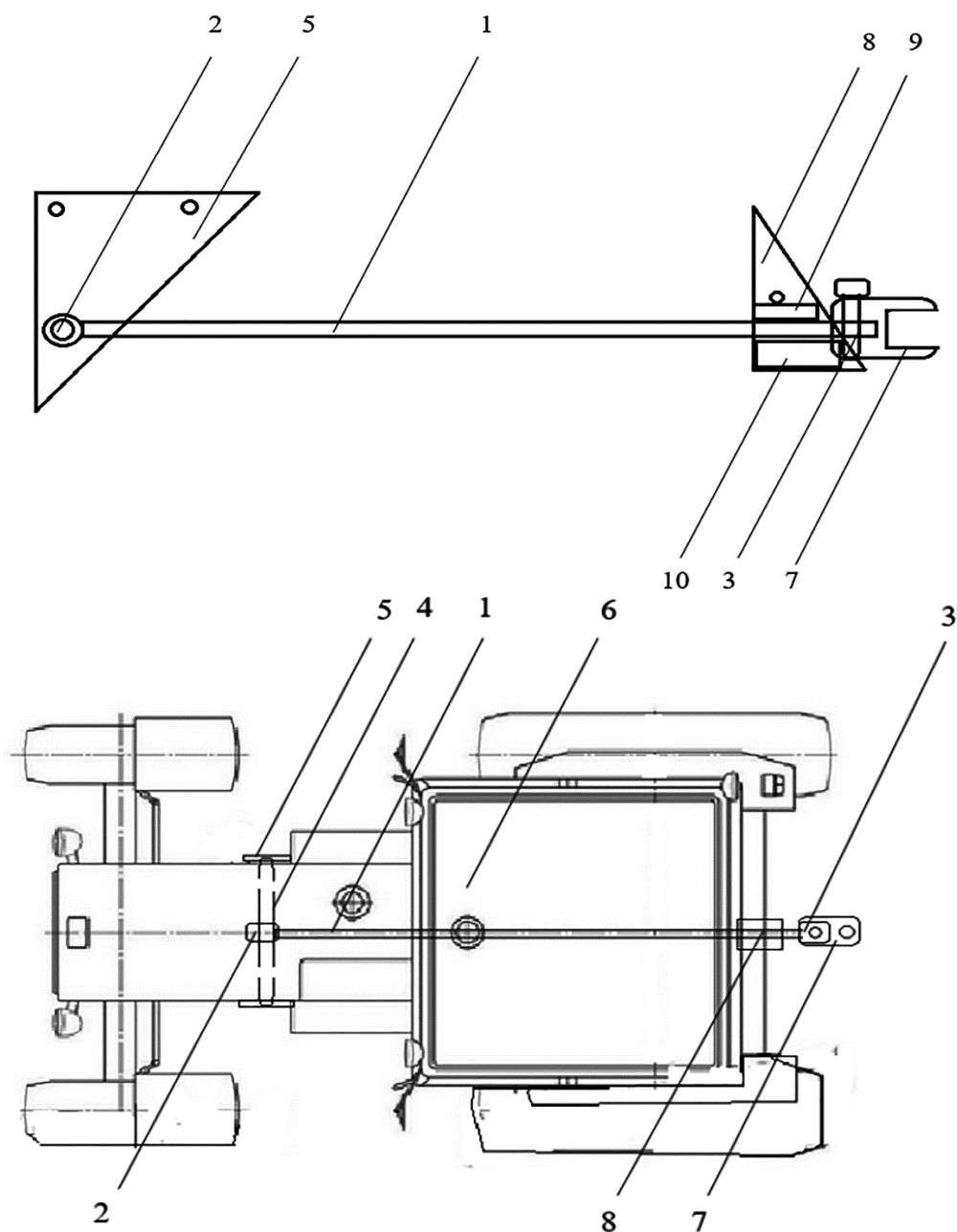
Рисунок 1.19 – Принципиальная схема буксирно-распределяющего устройства для многозвенного транспортного агрегата

Таким образом, за счет изменения точки соединения звеньев ТА в повороте происходит стабилизация движения и корректирование ширины транспортного коридора второго звена (прицепа) при движении ТА, перераспределение сцепного веса ТА и догрузка звеньев (трактора, прицепов), что снижает буксование агрегатируемого трактора за счет догрузки движителей и увеличивает его тяговое усилие.

Буксирно-распределяющее устройство отражено на рисунке 1.20.

Оно выполнено в виде конструкции, состоящей из плоской рессорной пружины 1 с окончаниями 2 и 3, зафиксированной одним окончанием 2 в средней части торсионной оси 4, проходящей через уголкового подвесные кронштейны 5, закрепленные побортно на раме трактора 6, а в последующем окончании 3 рессорной пружины 1 шарнирно установлено тягово-сцепное устройство 7 типа «тяговая вилка» и рамочного опорного кронштейна 8 с верхним и нижним резинометаллическими демпфером 9 и 10, фиксированного болтовым соединением в кормовой части остова трактора 6. При этом плоская рессорная пружина 1 проходит между демпферами 9 и 10 опорного кронштейна 8.

Принцип работы устройства. При передвижении тракторно-транспортного агрегата, состоящего из буксирующего колесного трактора и прицепа, равномерно и прямолинейно по горизонтальным участкам местности, за счет силового воздействия прицепа через тягово-сцепное устройство 7 происходит перераспределение силовой нагрузки через плоскую рессорную пружину 1 не только на кормовую часть трактора и задние движители, но и на торсионную ось 4 и подвесные кронштейны 5. Это позволяет рационально загрузить как задние, так и передние колеса трактора и ведет к снижению буксования, увеличению тягового усилия и повышению агротехнической проходимости.



1 – плоская рессорная пружина; 2, 3 – окончания плоской рессорной пружины;
4 – торсионная ось; 5 – уголковые подвесные кронштейны; 6 – рама трактора;
7 – тягово-сцепное устройство; 8 – рамочный опорный кронштейн; 9 – верхний
резинометаллический демпфер; 10 – нижний резинометаллический демпфер

**Рисунок 1.20 – Принципиальная схема
буксирно-распределяющего устройства**

При работе ТТА на склоновых поверхностях:

1) *в движении под уклон* – за счет силового воздействия прицепа на тягово-сцепное устройство 7 и плоскую рессорную пружину происходит перераспределение силовой нагрузки не только на кормовую часть трактора 6 и

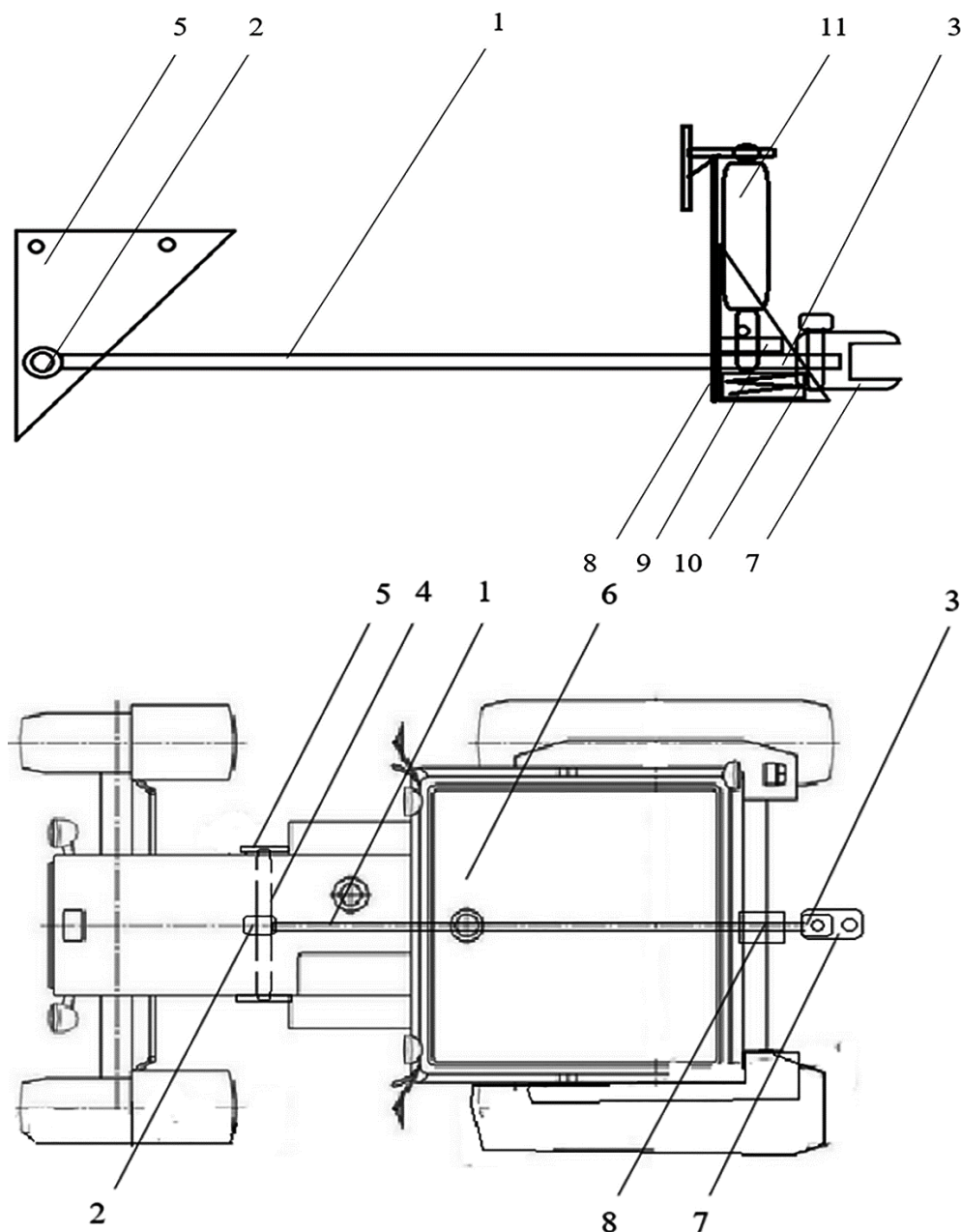
задние движители, но и на торсионную ось 4 и подвесные кронштейны 5, что загружает передний управляемый мост трактора 6, увеличивая управляемость ТТА, стабилизируя безопасность его движения, а также позволяет повысить скоростные характеристики и производительность транспортного агрегата;

2) *в движении на подъем* – за счет силового воздействия прицепа на тягово-сцепное устройство 7 и плоскую рессорную пружину 1 происходит перераспределение силовой нагрузки не только с кормовой части трактора 6, но и с его переднего управляемого моста; при этом наблюдается прижатие управляемого моста к поверхности движения, что снижает момент опрокидывания трактора, стабилизируя его конструкцию и повышая безопасность использования в рассматриваемых условиях.

Буксирно-сцепное устройство с вертикальным регулированием представлено на рисунке 1.21. Данное устройство выполнено в виде конструкции, состоящей из тяги 1, изготовленной из толстостенной металлической трубы с окончаниями 2 и 3, зафиксированной одним окончанием 2 в срединной части поперечной балки 4, проходящей через уголкового подвесные кронштейны 5, закрепленные побортно на раме трактора 6, а в последующем окончании 3 тяги 1 шарнирно установлено тягово-сцепное устройство 7 типа «тяговая вилка», рамочного установочного кронштейна 8 с верхним резинометаллическим демпфером 9, опорной пружиной 10 и нагружающим гидроцилиндром 11, фиксированного болтовым соединением в кормовой части остова трактора 6. При этом тяга 1 проходит через проушину рабочего штока нагружающего гидроцилиндра 11 между демпфером 9 и опорной пружиной 10 рамочного установочного кронштейна 8.

Принцип работы устройства. При передвижении тракторно-транспортного агрегата (ТТА), состоящего из буксирующего колесного трактора и прицепа, равномерно и прямолинейно по горизонтальным участкам местности, за счет силового воздействия массы прицепа на тягово-сцепное устройство 7

происходит перераспределение силовой нагрузки через тягу 1 не только на кормовую часть трактора и задние движители, но и на поперечную балку 4 и подвесные кронштейны 5.



1 – тяга; 2, 3 – окончания тяги; 4 – срединная часть поперечной балки; 5 – уголковые подвесные кронштейны; 6 – рама трактора; 7 – тягово-сцепное устройство типа «тяговая вилка»; 8 – рамочный установочный кронштейн; 9 – резинометаллический демпфер; 10 – опорная пружина; 11 – нагружающий гидроцилиндр

Рисунок 1.21 – Принципиальная схема буксирно-сцепного устройства с вертикальным регулированием

Это позволяет рационально загрузить как задние, так и передние колеса трактора, а также ведет к снижению буксования, увеличению тягового усилия, повышению агротехнической проходимости, уменьшению галопирования при трогании и движении; улучшает стабилизацию курсовой и траекторной устойчивости трактора при работе на склоновых поверхностях.

При работе ТТА на склоновых поверхностях:

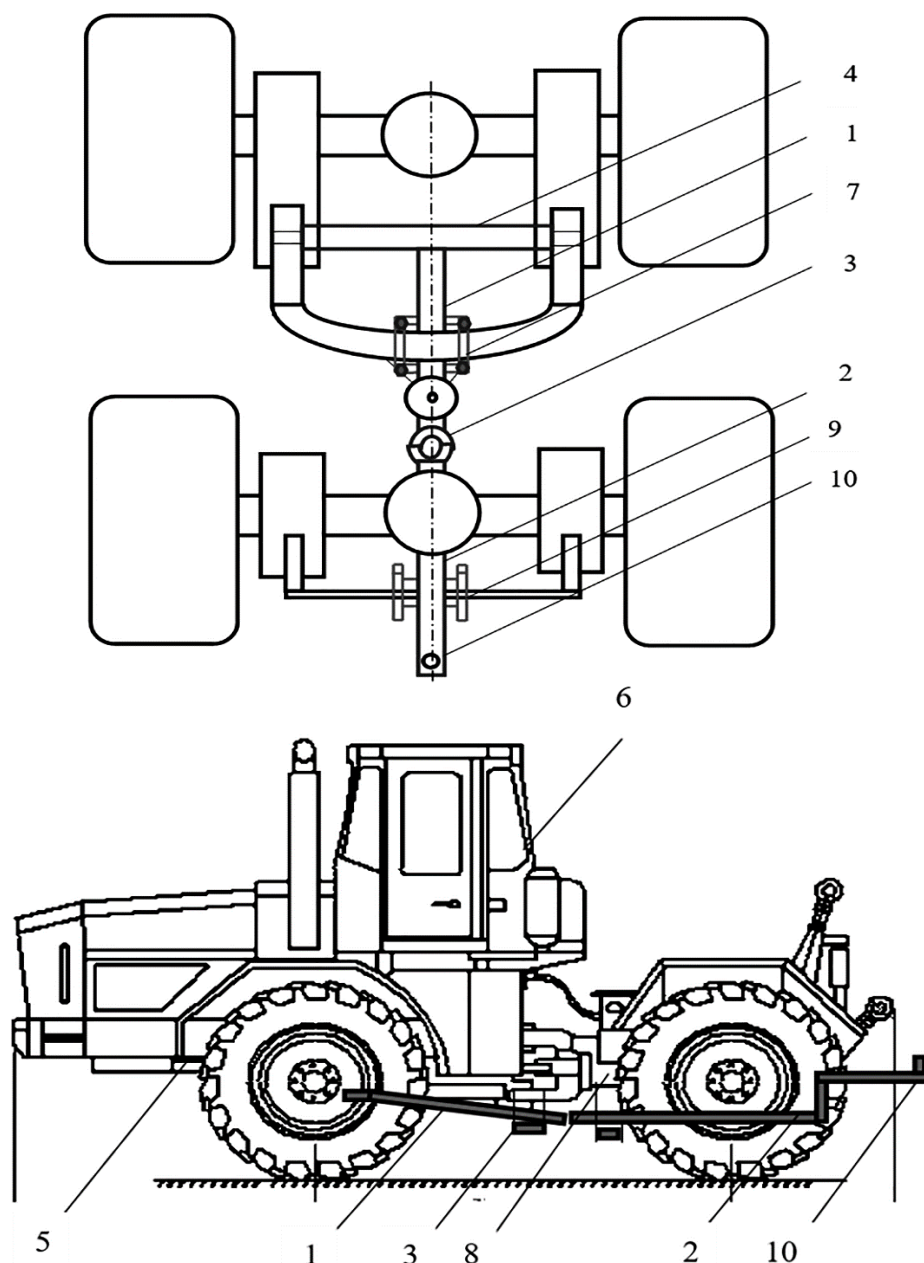
1) *в движении под уклон* – за счет силового воздействия массы прицепа на тягово-сцепное устройство 7 и тягу 1 происходит перераспределение силовой нагрузки не только на кормовую часть трактора 6 и задние движители, но и на поперечную балку 4 и подвесные кронштейны 5, что загружает передний управляемый мост трактора 6, увеличивая управляемость ТТА, стабилизируя безопасность его движения, а также позволяет повысить скоростные характеристики и производительность транспортного агрегата, уменьшить галопирование при трогании и движении МТА, улучшает стабилизацию курсовой и траекторной устойчивости трактора при работе на склоновых поверхностях;

2) *в движении на подъем* – за счет силового воздействия массы прицепа на тягово-сцепное устройство 7 и тягу 1 происходит перераспределение силовой нагрузки не только с кормовой части трактора 6, но и с его переднего управляемого моста; при этом наблюдается прижатие управляемого моста к поверхности движения, что снижает момент опрокидывания трактора, позволяет уменьшить галопирование при трогании и движении МТА, улучшает стабилизацию курсовой и траекторной устойчивости трактора при работе на склоновых поверхностях.

При необходимости дополнительной стабилизации курсовой и траекторной устойчивости трактора при работе на склоновых поверхностях оператор трактора методом включения нагружающего гидроцилиндра 11 при выходе рабочего штока прижимает опорную пружину 10, что позволяет опустить тягу 1 к поверхности движения, провести вертикальную регулировку положения

тягово-сцепного устройства 7, снизить положение центра тяжести трактора, тем самым дополнительно улучшить стабилизацию его курсовой и траекторной устойчивости.

Распределяюще-корректирующее тягово-сцепное устройство для полуприцепа трактора изображено на рисунке 1.22.



1, 2 – фигурные тяги; 3 – карданный шарнир; 4 – поперечная балка; 5 – передняя полурама; 6 – трактор; 7 – поддерживающий кронштейн; 8 – задняя полурама; 9 – опорный кронштейн; 10 – тягово-сцепное устройство типа «тяговая вилка»

Рисунок 1.22 – Принципиальная схема распределяюще-корректирующего тягово-сцепного устройства для полурамного трактора

Оно выполнено в виде комплекта из двух фигурных тяг 1 и 2, изготовленных из толстостенной металлической трубы, соединенных карданным шарниром 3 в точке горизонтального смещения полурам в повороте. При этом окончание фигурной тяги 1 закреплено болтовым соединением в центральной части поперечной балки 4, установленной в технологических отверстиях кронштейнов на нижней части передней полурамы 5 трактора 6 и дополнительно скреплено с полурамой 5 поддерживающим кронштейном 7. Тяга 2 проходит под нижней частью задней полурамы 8, поддерживается опорным кронштейном 9; при этом в окончании тяги 2 установлено тягово-сцепное устройство 10 типа «тяговая вилка».

Принцип работы устройства. При передвижении тракторно-транспортного агрегата (ТТА), состоящего из буксирующего колесного полурамного трактора 6 и прицепа, равномерно и прямолинейно по горизонтальным участкам местности, за счет силового воздействия прицепа через тягово-сцепное устройство 10 происходит перераспределение силовой нагрузки не только на кормовую часть трактора и заднюю полураму 8, но и через две фигурные тяги 1 и 2 на поперечную балку 4 и переднюю полураму 5 трактора 6, что позволяет рационально загрузить как задние, так и передние колеса трактора, а также ведет к снижению буксования, увеличению тягового усилия и повышению агротехнической проходимости.

При работе ТТА на склоновых поверхностях:

1) *в движении под уклон* – за счет силового воздействия прицепа на тягово-сцепное устройство 10 приходящая нагрузка распределяется не только на кормовую часть трактора и заднюю полураму 8, но и через две фигурные тяги 1 и 2, соединенные карданным шарниром 3 в точке горизонтального смещения полурам в повороте, на поперечную балку 4 и переднюю полураму 5 трактора 6, что позволяет рационально загрузить как задние, так и передние колеса

трактора, увеличивая управляемость ТТА, стабилизируя безопасность его движения, а также повысить скоростные характеристики и производительность транспортного агрегата при работе на склоновых поверхностях;

2) *в движении на подъем* – за счет силового воздействия прицепа через тягово-сцепное устройство 10 и две фигурные тяги 1 и 2 происходит перераспределение силовой нагрузки на ходовую часть прицепа не только с задней полурамы 8 и кормовой части трактора 6, но и с его переднего управляемого моста и передней полурамы 5; при этом наблюдается прижатие управляемого моста к поверхности движения, что уменьшает галопирование на склоновых поверхностях, снижает момент опрокидывания трактора, стабилизируя его конструкцию и повышая безопасность движения, а также позволяет повысить скоростные характеристики и производительность транспортного агрегата при работе на склоновых поверхностях.

Экспериментами установлено, что использование колесного ТТА с предлагаемыми устройствами повышает тягово-сцепные свойства и позволяет регулировать ширину транспортного коридора за счет применения рациональных углов входа и выхода звеньев ТТА в поворот при корректировании траектории направляющих колес прицепов; добиться повышения эксплуатационно-технологических параметров ТТА в технологии возделывания сельскохозяйственных культур при использовании в условиях мелкоконтурных полей и земельных участков, имеющих большой угол уклона.

Выводы

Проведенный обзор современного состояния регионального АПК, а также теоретических и экспериментальных научных исследований по обозначенной тематике, позволяет сделать следующие выводы:

1. Перспективы увеличения валового продукта растениеводства региона связаны с повышением урожайности культур либо расширением посевных площадей, что осуществимо на землях центральной и северной земледельческой зон за счет обработки залежей и временно неиспользуемых земель, нуждающихся в мелиоративных, культивационных либо восстановительных мероприятиях, а также включения в севооборот склоновых земель. Это сопряжено с выполнением работ и движением энергетических средств в составе агрегатов в условиях наличия поверхностей с переменным рельефом.

2. Обзор и анализ научных работ в области обоснования закономерностей функционирования и повышения эффективности использования парка колесных мобильных энергетических средств в условиях стабилизации их курсовой и поперечной устойчивости, корректирования транспортного коридора, позволил предложить перспективные схемы для серийного колесного МЭС, способные обеспечить его эффективное использование в условиях склонового земледелия на территории региона.

3. Для обоснования технологических параметров при использовании мобильного энергетического средства с устройством для перераспределения сцепного веса в составе ТТА, подтверждения выдвинутой научной гипотезы и получения результатов натурных экспериментов необходимо проведение дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

4. Обозначить способы и методы достижения целевых показателей при модернизации серийного многозвенного ТТА, имеющие значимое промышленное применение, перспективную концептуальную и техническую новизну.

5. Определить к дальнейшему исследованию следующие оптимальные конструкции: *догружающее устройство машинно-тракторного агрегата* (патент РФ № 2613367), *буксирно-распределяющее устройство для многозвенного транспортного агрегата* (патент РФ № 2739635), *буксирно-распределяющее устройство* (патент РФ № 2753047).

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОВОДИМЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Методологическое обоснование необходимости инженерного поиска и конструктивного исполнения технического решения задачи по повышению продольной устойчивости

В Амурской области на долю крестьянско-фермерских хозяйств приблизительно приходится до 24 % валовой сельскохозяйственной продукции региона. При этом необходимо отметить, что КФХ региона образовались в основном на базе ранее существующих сельскохозяйственных предприятий путем их реорганизации, которые в свое время, наряду с растениеводством занимались и животноводством, что определенным образом отразилось на формировании состава машинно-тракторного парка современных организаций.

В АПК СССР количество универсальных тракторов составляло до 43 %, а в отдельных хозяйствах, специализировавшихся на производстве именно продукции животноводства – до 60 % от их общего количества. Это значимо повлияло и на основной состав средств механизации вновь образованных КФХ, так как универсальные колесные тракторы класса 1,4, в частности моноблочной конструкции марки Минского тракторного завода (МТЗ), в силу своей надежности, ремонтпригодности, долговечности и неприхотливости, несмотря на сроки использования более чем в 30 лет, находятся в составе машинно-тракторного парка многих хозяйств России.

В этой связи организациям необходимо использовать их максимально эффективно, что возможно при использовании их на всех технологических операциях в сельском хозяйстве: как полевых, так и работах транспортно-технологического обеспечения деятельности предприятия в составе тракторно-транспортных агрегатов (ТТА).

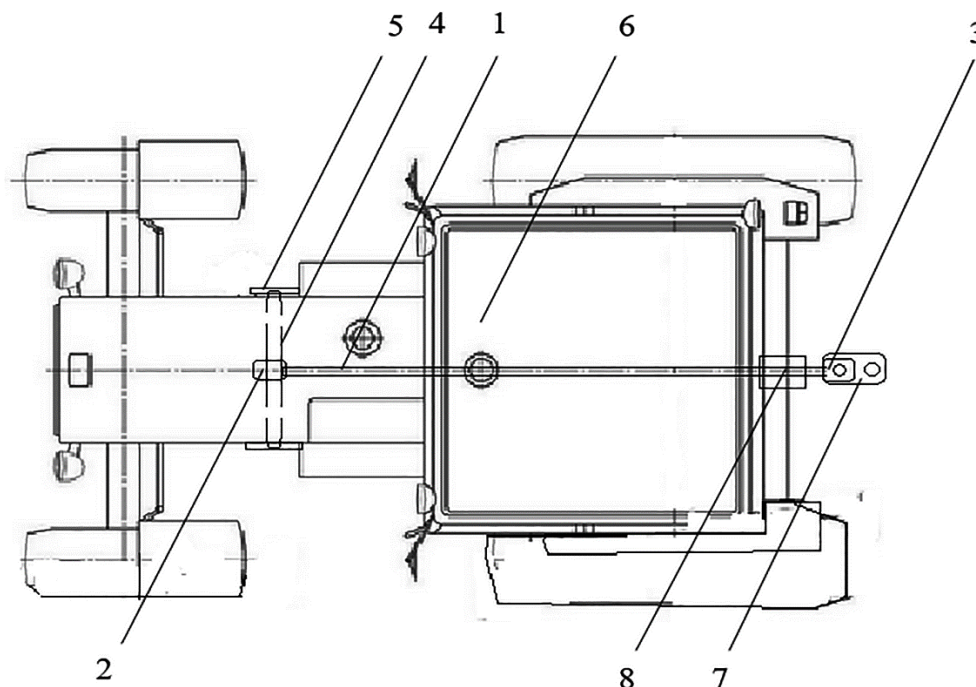
Одним из способов повышения эффективности использования ТТА на транспортных работах является их адаптация к условиям эксплуатации при различном состоянии и углах наклона поверхности движения. В частности одной из выявленных проблем при выполнении транспортных работ, учитывая особенности конструкции моноблочного колесного трактора, является необходимость обеспечения продольно-поперечной устойчивости ТТА, что возможно за счет корректирования сцепного веса в системе агрегата. Этот способ позволяет своевременно перераспределять нагрузку, приходящуюся на движители тракторно-транспортного агрегата, что в конечном счете положительно влияет на его продольно-поперечную устойчивость, стабилизируя курсовую и траекторную устойчивость трактора при работе на склоновых поверхностях. Кроме того, изменение нагрузки, приходящейся на движители ТТА в условиях недостаточных тягово-сцепных свойств энергетического средства, позволяет повышать его технологические характеристики за счет лучшей реализации колесным движителем перераспределяемого сцепного веса в звене «трактор – транспортируемый агрегат».

Таким образом, проведенный анализ обосновывает необходимость инженерного и патентного поиска эффективных средств, системных и малозатратных способов для решения обозначенной технической задачи.

В результате проведенных исследований предложено конструктивное решение в формате дополнительного тягово-сцепного устройства, которое при применении в ходовой системе колесного агрегата позволяет получить технический эффект в виде коррекции приходящей нагрузки на движители, повышающей тягово-сцепные свойства ТТА при работе колесного агрегата на наклонных поверхностях движения и общей стабилизации продольно-поперечной, курсовой и траекторной устойчивости агрегата.

Полученная конструкция «Буксирно-распределяющее устройство» соответствует всем условиям патентоспособности, предъявляемым к изобретению,

в связи с чем на данное техническое решение получен патент РФ на изобретение № 2753047. Предлагаемое устройство устанавливается в средней и тыльной части корпуса трактора и способно равномерно распределять весовую нагрузку прицепа на движители трактора в движении в целях снижения буксования, увеличения тягового усилия и агротехнической проходимости, повышения производительности и безопасности движения в ходе выполнения транспортных работ в условиях склоновых поверхностей. Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 2.1.



1 – подвесной кронштейн; 2, 4 – торсионная ось; 3 – рессорная пружина; 5, 8 – окончания рессорной пружины; 6 – тягово-сцепное устройство; 7 – опорный кронштейн

Рисунок 2.1 – Принципиальная схема трактора с буксирно-распределяющим устройством (вид сверху)

При движении тракторно-транспортных агрегатов в результате воздействия различных эксплуатационных критериев наблюдается постоянное изменение стабилизационных факторов. Для теоретической оценки их взаимного влияния предлагается ввести дополнительный объемный коэффициент стабилизации движения, который бы учитывал воздействующие величины и при

необходимости позволил определить размеры технической эффективности исследуемого устройства.

При этом также необходимо учесть, что для определения вводимого коэффициента следует установить основные возмущающие факторы, параметры которых влияют на стабилизацию движения агрегата и в целом на предлагаемый коэффициент. Итоговую оценку движения ТТА при этом нужно проводить в сравнении с серийным вариантом, используемым на перевозке грузов.

Таким образом, в ходе проведенных исследований и хронометражных наблюдений за работой тракторно-транспортных агрегатов в условиях АПК Амурской области, в частности центральной сельскохозяйственной зоны, установлено влияние на стабилизацию движения следующих факторов:

- 1) поперечный уклон поверхности движения ТТА;
- 2) продольный уклон поверхности движения ТТА;
- 3) состояние поверхности, по которой движется ТТА.

Рассмотрим каждый из факторов для поиска определенных граничных параметров для коэффициентов с целью дальнейшего определения общего коэффициента стабилизации, характеризующего движение тракторно-транспортного агрегата.

При движении по поверхности, имеющей поперечный уклон, возникает необходимость постоянного удержания ТТА при отклонении прямолинейности движения за счет бокового наклона, и с этой целью предлагается ввести коэффициент стабилизации поперечной устойчивости ($K_{пу}$):

$$K_{пу} = \frac{K_{пус}}{K_{пуэ}} \quad (2.1)$$

где $K_{пус}$ – коэффициент стабилизации поперечной устойчивости серийного тракторно-транспортного агрегата;

$K_{пуэ}$ – коэффициент стабилизации поперечной устойчивости экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством.

$$\text{или } K_{\text{пу}} = \frac{B_{\text{пус}}}{B_{\text{пуэ}}} \quad (2.2)$$

где $B_{\text{пус}}$ – расстояние смещения центра тяжести серийного ТТА в поперечной плоскости, м;

$B_{\text{пуэ}}$ – расстояние смещения центра тяжести экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством в поперечной плоскости, м.

При передвижении по поверхности, имеющей продольный уклон, при движении на подъем возникает эффект снижения устойчивости и управляемости в связи с уменьшением веса, приходящегося на передние управляемые колеса, который при определенных обстоятельства может вызвать явление галопирования и переворачивания. С этой целью предлагается ввести коэффициент стабилизации продольной устойчивости при движении на подъем, определяемый по формулам (2.3) и (2.4):

$$K_{\text{пруп}} = \frac{K_{\text{прупс}}}{K_{\text{прупэ}}}, \quad (2.3)$$

$$\text{или } K_{\text{пруп}} = \frac{B_{\text{прупс}}}{B_{\text{прупэ}}} \quad (2.4)$$

где $K_{\text{прупс}}$ – коэффициент стабилизации продольной устойчивости серийного ТТА при движении на подъем;

$K_{\text{прупэ}}$ – коэффициент стабилизации продольной устойчивости экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством при движении на подъем;

$B_{\text{прупс}}$ – расстояние смещения центра тяжести серийного ТТА в продольной плоскости при движении на подъем, м;

$B_{\text{прупэ}}$ – расстояние смещения центра тяжести экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством в продольной плоскости при движении на подъем, м.

При передвижении по поверхности, имеющей продольный уклон, при движении на спуске, также возникает эффект снижения устойчивости в связи с возникновением дополнительного поворачивающего момента от воздействия толкающего прицепа. С этой целью предлагается ввести коэффициент

стабилизации продольной устойчивости при движении на спуске, определяемый по формулам (2.5) и (2.6):

$$K_{\text{прус}} = \frac{K_{\text{прусс}}}{K_{\text{прусэ}}}, \quad (2.5)$$

$$\text{или } K_{\text{прус}} = \frac{B_{\text{прусс}}}{B_{\text{прусэ}}} \quad (2.6)$$

где $K_{\text{прусс}}$ – коэффициент стабилизации продольной устойчивости серийного ТТА при движении на спуске;

$K_{\text{прусэ}}$ – коэффициент стабилизации продольной устойчивости экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством при движении на спуске;

$B_{\text{прусс}}$ – расстояние смещения точки соединения трактора с прицепом серийного ТТА в продольной плоскости при движении на спуске, м;

$B_{\text{прусэ}}$ – расстояние смещения точки соединения трактора с прицепом экспериментального ТТА с установленным дополнительным устройством в продольной плоскости при движении на спуске, м.

Оценку стабилизации движения тракторно-транспортного агрегата в целом предлагается оценивать обобщенным коэффициентом, равным произведению ранее полученных коэффициентов: для серийного ТТА по формуле (2.7); для экспериментального ТТА с установленным буксирно-распределяющим устройством по формуле (2.8):

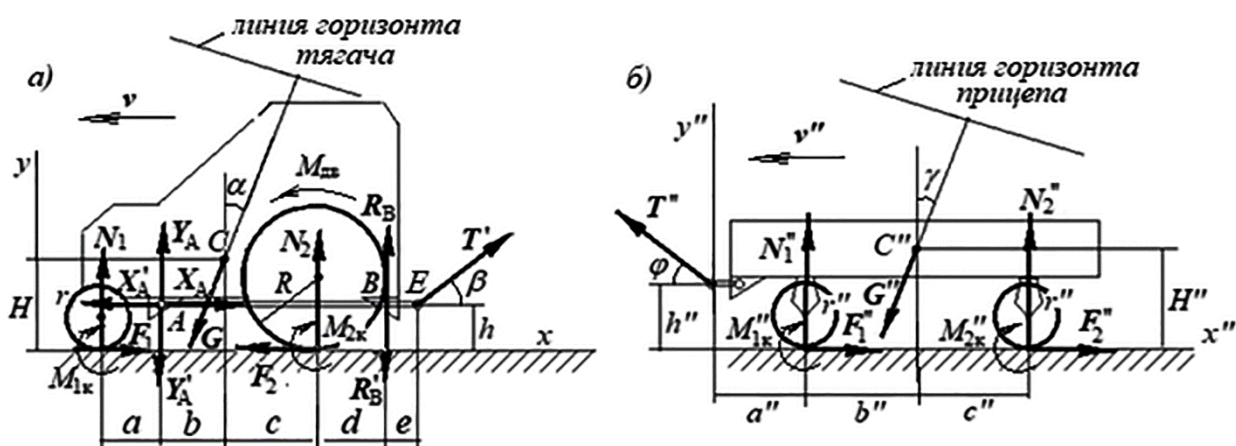
$$K_{\text{обс}} = K_{\text{пус}} \cdot K_{\text{прупс}} \cdot K_{\text{прусс}}, \quad (2.7)$$

$$K_{\text{обэ}} = K_{\text{пуэ}} \cdot K_{\text{прупэ}} \cdot K_{\text{прусэ}} \quad (2.8)$$

Предложенные уравнения (2.1)–(2.6) дают возможность проанализировать и определить необходимость в повышении того или иного коэффициента стабилизации движения ТТА, а уравнения (2.7) и (2.8) получить формулу общего коэффициента стабилизации движения в зависимости от определенных граничных параметров. При этом необходимо учитывать, что на величину общего коэффициента стабилизации движения значимое влияние оказывает механизм формирования нормальных реакций почвы на движители.

2.2 Обоснование механизма формирования нормальных реакций почвы на движители энергетического средства

Рассмотрим более подробно механизм формирования нормальных реакций почвы на опоры в зависимости от угла наклона поверхности движения при использовании предлагаемого устройства, используя схемы на рисунке 2.2. Для универсализации расчетов системы координат тягача и прицепа рассматриваем отдельно углы подъема и спуска колесного агрегата: α , γ .



а) силы, действующие на трактор и на тягу АВ; б) силы, действующие на прицеп А, В – опоры тяги устройства; опора А – шарнирно неподвижная, реакция включает две неизвестные составляющие X'_A, Y'_A ($X_A = X'_A, Y_A = Y'_A$); опора В – шарнирно подвижная, реакция определяется одной неизвестной составляющей R'_B ($R_B = R'_B$); С, С'' – центры тяжести тягача и прицепа, точки приложения сил тяжести G, G'' при любом угле наклона α, γ направления движения v, v'' относительно линии горизонта; r, R, r'' – радиусы колес тягача и прицепа; a, b, c, d, e, H, h – размеры трактора (тягача), м; a'', b'', c'', H'', h'' – размеры прицепа, м; β, φ – углы направления сил тяги T', T'' ($T' = T''$) по отношению к направлениям движения тягача и прицепа, град.; N_1, N_2, N_1'', N_2'' – нормальные реакции шероховатой поверхности для тягача и прицепа, Н; F_1, F_2, F_1'', F_2'' – силы трения скольжения (сцепления) колес тягача и прицепа, Н; $M_{1k}, M_{2k}, M_{1k}'', M_{2k}''$ – моменты трения качения в колесах тягача и прицепа, Н; f, δ – коэффициенты трения скольжения (покоя) и трения качения, Н; $M_{дв}$ – силовой момент двигателя, кВт

Рисунок 2.2 – Схема сил, действующих на агрегат

При определении нормальных реакций почвы на движители примем некоторые допущения:

1) для совместности выполнения условия равенства $T' = T''$ необходимо согласование углов: $\alpha + \beta = \gamma - \varphi$;

2) при определении нормальных реакций шероховатой поверхности для тягача и прицепа считаем движение безотрывным, поэтому вертикальные составляющие нормальных реакций должны быть направлены вверх;

3) силы трения скольжения (сцепления) колес тягача и прицепа направлены в сторону, противоположную предполагаемому относительному проскальзыванию соприкасающихся поверхностей;

4) моментами трения качения в колесах тягача и прицепа в приближенных расчетах можно пренебречь, если это не противоречит уравнениям движения;

5) коэффициенты трения скольжения (покоя) и трения качения считаем одинаковыми для всех колес тягача и прицепа; они зависят от качества грунта, состояния колес и погодных условий; при этом, если трением качения пренебрегаем, то полагаем $\delta = 0$;

6) силовой момент двигателя действует на ось ведущего колеса радиусом R , определяет движущую силу трения (сцепления) F_2 , но сам относится к внутренним силам и в уравнения движения агрегата не включается.

Если обозначить:

$\mu_r = \min(f \cdot r, \delta), \mu_R = \min(f \cdot R, \delta), \mu''_r = \min(f \cdot r'', \delta)$ – параметры трения, то во время движения вперед тягача с прицепом для сил сопротивления имеем:

$$|F_1| = \frac{\mu_r}{r} N_1, \quad |F_2| = \frac{M_{дв}}{R} - \frac{\mu_R}{R} N_2 \leq f \cdot N_2, \quad |F_1''| = \frac{\mu''_r}{r''} N''_1, \quad |F_2''| = \frac{\mu''_r}{r''} N''_2, \\ M_{1k} = \mu_r N_1, \quad M_{2k} = \mu_R N_2, \quad M_{1k}'' = \mu''_r N''_1, \quad M_{2k}'' = \mu''_r N''_2$$

Для безотрывности движения необходимо выполнение условий:

неотрицательности нормальных реакций: $N_1 \geq 0, N_2 \geq 0, N''_1 \geq 0, N''_2 \geq 0$;

для реализации движения вперед: $M_{дв} > \mu_R N_2$;

отсутствие проскальзывания (пробуксовки) движителя гарантируется неравенством: $|F_2| < f \cdot N_2$.

В случае, если $\frac{M_{дв}}{R} - \frac{\mu R}{R} N_2 > f \cdot N_2$, то следует считать $F_2 = f \cdot N_2$ с сохранением направления силы трения F_2 .

Направления остальных сил сопротивления (сил трения и моментов трения качения) сохраняются в случае перемещения агрегата вперед и меняются на противоположные при сползании назад. Конкретная реализация определяется из уравнений баланса всех внешних сил.

В частности, если пренебречь трением качения, считать $\delta = 0$, получим:

$$F_1 = 0, |F_2| = \frac{M_{дв}}{R} \leq f \cdot N_2, F_1'' = F_2'' = 0, M_{1k} = M_{2k} = M_{1k}'' = M_{2k}'' = 0.$$

Для установившегося рабочего движения трактора можно считать, что силы, действующие на элементы агрегата, находятся в равновесии. Выбираем в качестве координатных осей: x, y – для трактора и тяги, x'', y'' – для прицепа.

Уравнения равновесия тяги АВ имеют вид:

$$\sum F_{ix} = 0; -X'_A + T' \cos \beta = 0, \quad (2.9)$$

$$\sum F_{iy} = 0; -Y'_A - R'_B + T' \sin \beta = 0, \quad (2.10)$$

$$\sum M_{Ai} = 0; -R'_B \cdot AB + T' \sin \beta \cdot AE = 0 \quad (2.11)$$

при $AB = b + c + d, AE = b + c + d + e$

Уравнения равновесия для опор трактора (тягача) имеют вид:

$$\sum F_{ix} = 0; F_1 - F_2 + X_A - G \cdot \sin \alpha = 0, \quad (2.12)$$

$$\sum F_{iy} = 0; N_1 + N_2 + Y_A + R_B - G \cdot \cos \alpha = 0, \quad (2.13)$$

$$\sum M_{Ai} = 0; -M_{1k} - M_{2k} + F_1 h - F_2 h + R_B \cdot AB - N_1 a + N_2(b + c) + G((H - h) \sin \alpha - b \cos \alpha) = 0 \quad (2.14)$$

Уравнения равновесия для опор прицепа имеют вид:

$$\sum F_{ix}'' = 0; -T'' \cos \varphi + F''_1 - G'' \sin \gamma + F''_2 = 0, \quad (2.15)$$

$$\sum F_{iy}'' = 0; T'' \sin \varphi + N''_1 - G'' \cdot \cos \gamma + N''_2 = 0, \quad (2.16)$$

$$\sum M_{Pi}'' = 0; -M''_{1k} - M''_{2k} + T''(h'' \cos \varphi - a'' \sin \varphi) + \\ + G''(H'' \sin \gamma - b'' \cos \gamma) + N''_2(b'' + c'') = 0 \quad (2.17)$$

Уравнения (2.9)–(2.17) представляют собой систему девяти линейных алгебраических уравнений относительно девяти неизвестных:

$$X_A, Y_A, R_B, N_1, N_2, F_2 (M_{дв}), T' (T''), N''_1, N''_2$$

Обозначим $T = T' = T''$. Будем считать, что состав движется вперед без пробуксовки:

$$F_2 = \frac{M_{дв}}{R} - \frac{\mu_R}{R} N_2 < f \cdot N_2$$

Тогда из уравнений (2.15)–(2.17) сначала находим:

$$T = \frac{\mu_r'' \cos \gamma - r'' \sin \gamma}{\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi} G'', \quad (2.18)$$

$$N''_2 = \frac{(\mu_r'' + b'') \cos \gamma - H'' \sin \gamma}{b'' + c''} G'' + \frac{(a'' - \mu_r'') \sin \varphi - h'' \cos \varphi}{b'' + c''} T = \\ = \frac{\mu_r'' [(a'' + b'') \cos \gamma \sin \varphi - (H'' - r'') \sin \gamma \sin \varphi - (h'' - r'') \cos \gamma \cos \varphi]}{(b'' + c'')(\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi)} G'' \\ - \frac{r'' [(H'' - h'') \sin \gamma \cos \varphi - b'' \cos \gamma \cos \varphi + a'' \sin \gamma \sin \varphi]}{(b'' + c'')(\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi)} G'', \quad (2.19)$$

$$N''_1 = \frac{r'' \cos(\varphi - \gamma)}{\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi} G'' - N''_2 = \\ = \frac{r'' [(H'' - h'') \sin \gamma \cos \varphi + (a'' + b'') \sin \gamma \sin \varphi + c'' \cos(\varphi - \gamma)]}{(b'' + c'')(\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi)} G'' - \\ - \frac{\mu_r'' [(a'' + b'') \cos \gamma \sin \varphi - (H'' - r'') \sin \gamma \sin \varphi - (h'' - r'') \cos \gamma \cos \varphi]}{(b'' + c'')(\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi)} G'' \quad (2.20)$$

Затем из уравнений (2.9)–(2.11) находим:

$$X_A = X'_A = T \cos \beta = \frac{\mu_r'' \cos \gamma - r'' \sin \gamma}{\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi} G'' \cos \beta, \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} R_B = R'_B &= \frac{AE}{AB} \cdot T \sin \beta = \\ &= \frac{b + c + d + e}{b + c + d} \cdot \frac{\mu_r'' \cos \gamma - r'' \sin \gamma}{\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi} G'' \sin \beta, \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} Y_A = Y'_A &= T \sin \beta - R_B = \left(1 - \frac{AE}{AB}\right) \cdot T \sin \beta = \\ &= -\frac{e}{b + c + d} \cdot \frac{\mu_r'' \cos \gamma - r'' \sin \gamma}{\mu_r'' \sin \varphi + r'' \cos \varphi} G'' \sin \beta \end{aligned} \quad (2.23)$$

Из уравнений (2.12)–(2.15) получаем:

$$N_1 = \frac{G[(c - \mu_R) \cos \alpha + H \sin \alpha] - T[h \cos \beta - (d + e + \mu_R) \sin \beta]}{a + b + c + \mu_r - \mu_R}, \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} N_2 = -N_1 + G \cos \alpha - T \sin \beta &= \frac{G[(a + b + \mu_r) \cos \alpha - H \sin \alpha]}{a + b + c + \mu_r - \mu_R} + \\ &+ \frac{T[h \cos \beta - (a + b + c + d + e + \mu_r) \sin \beta]}{a + b + c + \mu_r - \mu_R}, \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} F_2 = -G \sin \alpha + X_A + F_1 &= -G \sin \alpha + T \cos \beta + \frac{\mu_r}{r} N_1 = \\ &= \frac{T[(a + b + c + \mu_r - \mu_R) r \cos \beta + (d + e + \mu_R) \mu_r \sin \beta - \mu_r h \cos \beta]}{a + b + c + \mu_r - \mu_R} - \\ &- \frac{G[(a + b + c + \mu_r - \mu_R) r \sin \alpha - (c - \mu_R) \mu_r \cos \alpha - \mu_r H \sin \alpha]}{a + b + c + \mu_r - \mu_R} \end{aligned} \quad (2.26)$$

В частности, если пренебрегать трением качения, $\delta = 0$, то получим:

$$T = -\frac{\sin \gamma}{\cos \varphi} G'', \quad (2.27)$$

$$N_1'' = \frac{r''[(H'' - h'') \sin \gamma \cos \varphi + (a'' + b'') \sin \gamma \sin \varphi + c'' \cos(\varphi - \gamma)]}{(b'' + c'') r'' \cos \varphi} G'', \quad (2.28)$$

$$N_2'' = \frac{r''[b'' \cos \gamma \cos \varphi - (H'' - h'') \sin \gamma \cos \varphi - a'' \sin \gamma \sin \varphi]}{(b'' + c'') r'' \cos \varphi} G'', \quad (2.29)$$

$$X_A = -\frac{\sin\gamma}{\cos\varphi} G'' \cos\beta, \quad (2.30)$$

$$R_B = -\frac{b+c+d+e}{b+c+d} \cdot \frac{\sin\gamma}{\cos\varphi} G'' \sin\beta, \quad (2.31)$$

$$Y_A = \frac{e}{b+c+d} \cdot \frac{\sin\gamma}{\cos\varphi} G'' \sin\beta, \quad (2.32)$$

$$N_1 = \frac{G[c \cdot \cos\alpha + H \sin\alpha] - T[h \cos\beta - (d+e) \sin\beta]}{a+b+c}, \quad (2.33)$$

$$N_2 = \frac{G[(a+b) \cos\alpha - H \sin\alpha] + T[h \cos\beta - (a+b+c+d+e) \sin\beta]}{a+b+c}, \quad (2.34)$$

$$F_2 = T \cos\beta - G \sin\alpha \quad (2.35)$$

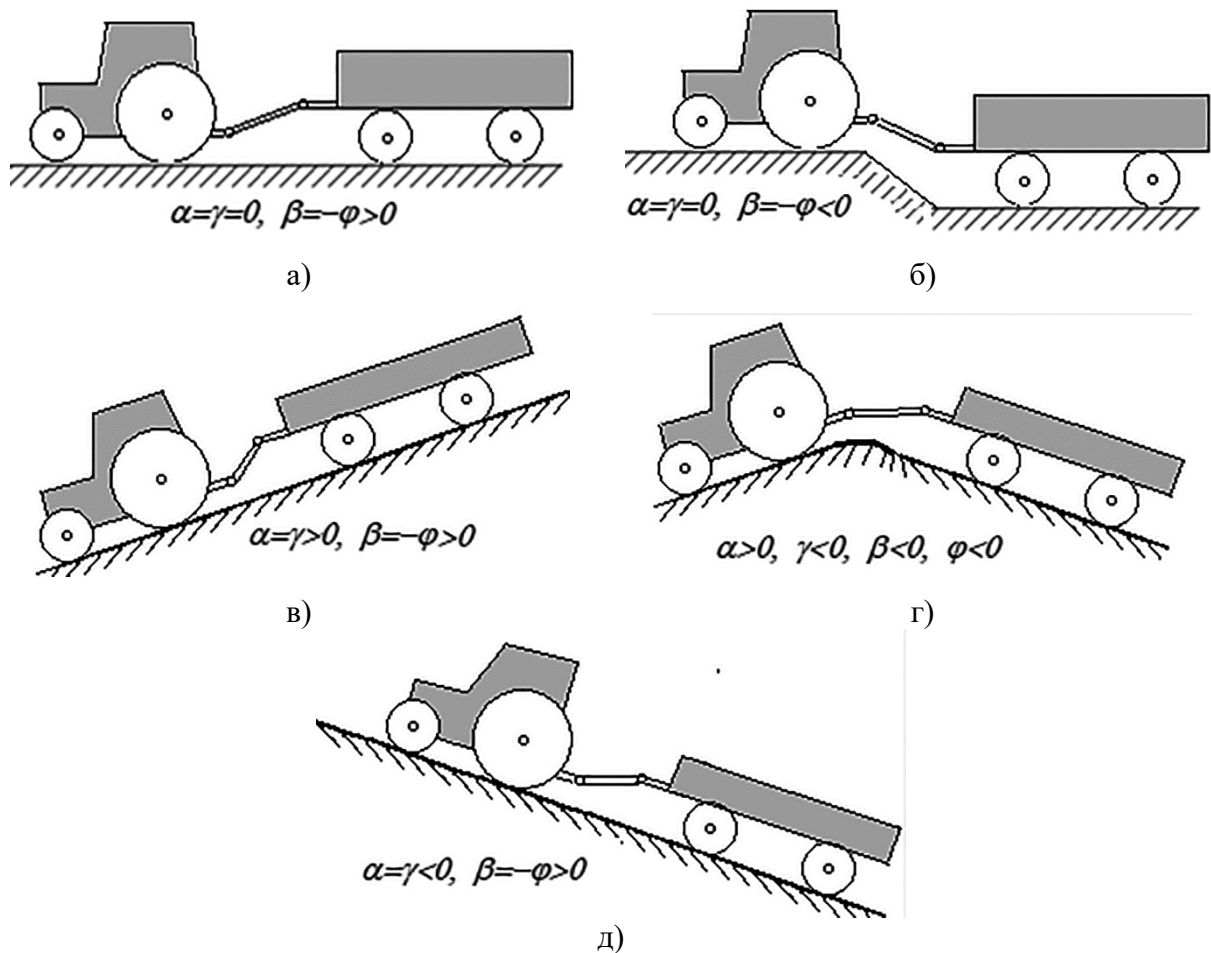


Рисунок 2.3 – Различные случаи сочетания значений углов $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$ ($\alpha + \beta = \gamma - \varphi$) при движении агрегата по наклонным поверхностям движения

Различные случаи сочетания значений углов α , β , γ , φ ($\alpha + \beta = \gamma - \varphi$) при движении агрегата по наклонным поверхностям движения в различных сочетаниях ТТА представлены на рисунке 2.3.

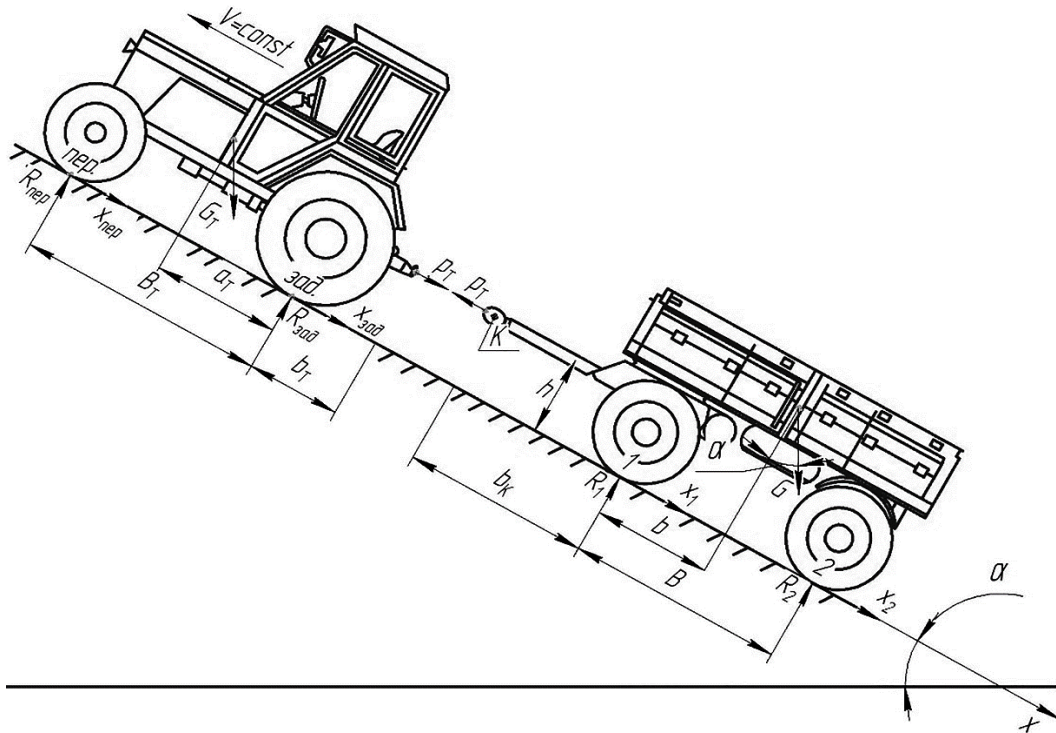
Таким образом, можно сделать вывод, что использование тягово-сцепного устройства предлагаемой конструкции позволяет равномерно распределять нагрузку, приходящуюся на движители энергетического средства и прицепа, а также повысить тягово-сцепные свойства ТТА, стабилизировать курсовую и траекторную устойчивость трактора при работе на склоновых поверхностях. Для дальнейшего теоретического обоснования работы ТТА с предлагаемым буксирно-распределяющим устройством рассмотрим более подробно работу агрегата в различных условиях сочетания режимов движения.

2.3 Распределение нагрузки звеньев тракторно-транспортного агрегата при движении на подъем

В целях теоретического обоснования конструктивных и технологических параметров предлагаемого устройства определим условия распределения весовой нагрузки на опоры буксирующего колесного трактора, для чего составим уравнения равновесия, описывающие процессы перераспределения нагрузки в ходовой системе ТТА. Для упрощения расчета рассмотрим тракторно-транспортный агрегат как составную конструкцию:

- 1) без буксирно-распределяющего устройства (БРУ) (трактор + прицеп);
- 2) с буксирно-распределяющим устройством (трактор + торсионная ось + плоская рессорная пружина + прицеп).

Покажем все силы, действующие на составные части конструкции без буксирно-распределяющего устройства, и рассмотрим равновесие вертикальных реакций опор каждой части в отдельности согласно схеме на рисунке 2.4.



B_T – колесная база трактора, м; a_T – расстояние от центра тяжести трактора до опоры заднего колеса трактора, м; b_T – расстояние от сцепной петли буксирного устройства до опоры заднего колеса трактора, м; h – расстояние от дышла до поверхности земли, м; G – вес прицепа, Н; G_T – вес трактора, Н; R_1 и R_2 – вертикальные составляющие реакции поверхности под опорами (колесными движителями) прицепа, Н; x_1 и x_2 – горизонтальные составляющие силовой реакции опор прицепа, Н; P_T – тяговое усилие трактора, Н; $R_{пер}$ и $R_{зад}$ – вертикальные составляющие силовой реакции поверхности под опорами (колесными движителями) трактора, Н; $X_{пер}$ и $X_{зад}$ – горизонтальные составляющие силовой реакции поверхности под опорами (колесными движителями) трактора, Н; B – колесная база прицепа, м; b – расстояние от центра тяжести прицепа до опоры направляющего колеса прицепа, м; b_K – расстояние от сцепной петли до опоры направляющего колеса прицепа, м; α – угол подъема, град.

Рисунок 2.4 – Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности на опоры ТТА без работы БРУ

Составим уравнения равновесия для прицепа:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_1(F_k) &= 0 \quad R_2 \cdot B - G \cdot \cos \alpha \cdot b + P_T \cdot h = 0 \\ \sum M_2(F_k) &= 0 \quad -R_1 \cdot B + G \cdot \cos \alpha \cdot (B - b) + P_T \cdot h = 0 \\ \sum F_{ky} &= 0 \quad -G \cdot \cos \alpha + R_1 + R_2 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.36)$$

$$\text{тогда } R_2 = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot b - P_T \cdot h}{B}, \quad (2.37)$$

$$R_1 = \frac{G \cdot \cos\alpha(B - b) + P_T \cdot h}{B} \quad (2.38)$$

Составим уравнения равновесия для реакций поверхности под опорами (колесными движителями) трактора:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_{\text{пер}}(F_k) = 0 \quad R_{\text{зад}} \cdot B_T - G_T \cdot \cos\alpha(B_T - a_T) = 0 \\ \sum M_{\text{зад}}(F_k) = 0 \quad -R_{\text{пер}} \cdot B_T + G_T \cdot \cos\alpha \cdot a_T = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.39)$$

$$\text{тогда } R_{\text{зад}} = \frac{G_T \cdot \cos\alpha \cdot (B_T - a_T)}{B_T}, \quad (2.40)$$

$$R_{\text{пер}} = \frac{G_T \cdot \cos\alpha \cdot a_T}{B_T} \quad (2.41)$$

Горизонтальные составляющие реакции поверхности под опорами прицепа и трактора определять не будем, так как БРУ влияет только на вертикальные составляющие реакций поверхности.

Рассмотрим составную конструкцию с буксирно-распределяющим устройством в работе. Разбиваем на составные части конструкции: трактор + поперечная торсионная ось крепления БРУ + плоская рессорная пружина БРУ + прицеп.

Покажем все силы, действующие на рассматриваемую составную конструкцию (рис. 2.5). Схемы (рис. 2.4 и 2.5) позволяют предположить, что действие сил на прицеп не поменялось, следовательно выражения (2.37) и (2.38) справедливы при рассмотрении ТТА с БРУ.

Составляем уравнения равновесия для каждого звена агрегата, используя схему рисунка 2.6:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{kx} = 0 \quad -x_c + P_T = 0 \\ \sum M_c(F_k) = 0 \quad -G_n \cdot \cos\alpha \cdot \frac{l}{2} + N_D \cdot (l - a) = 0 \\ \sum M_D(F_k) = 0 \quad -y_c \cdot (l - a) + G_n \cdot \cos\alpha \cdot \left(\frac{l}{2} - a\right) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.42)$$

где $x_c = P_T$

$$\text{тогда } N_D = \frac{G_n \cdot \cos \alpha \cdot \frac{l}{2}}{l - a}, \quad (2.43)$$

$$y_c = \frac{G_n \cdot \cos \alpha (\frac{l}{2} - a)}{l - a} \quad (2.44)$$

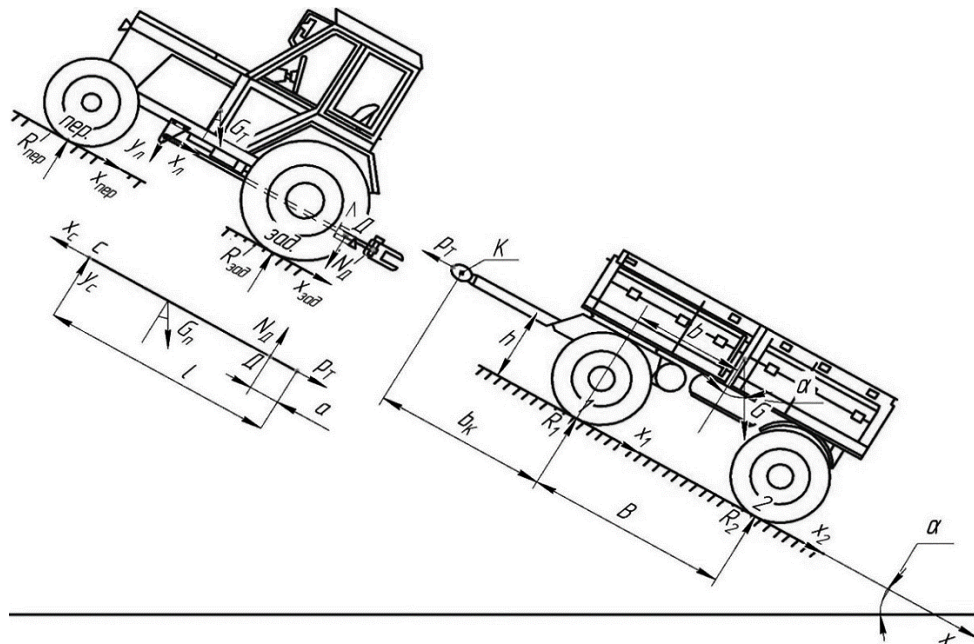
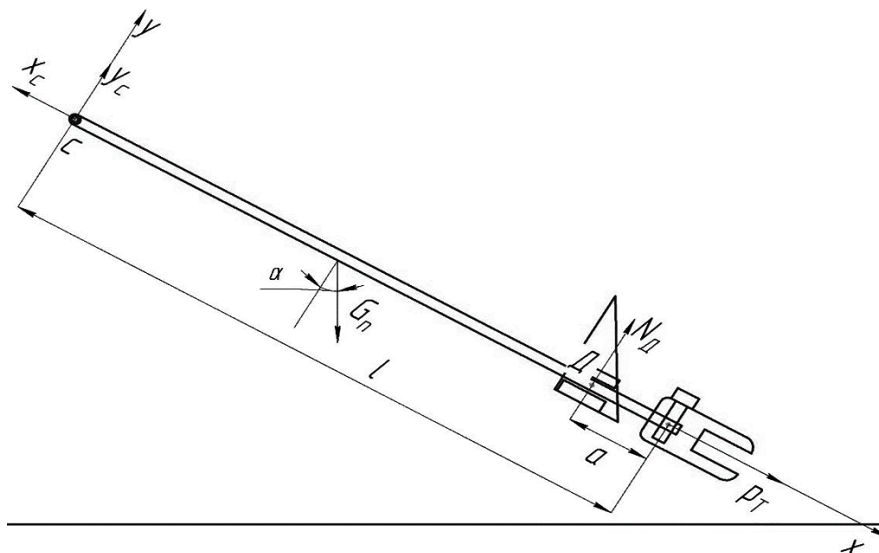


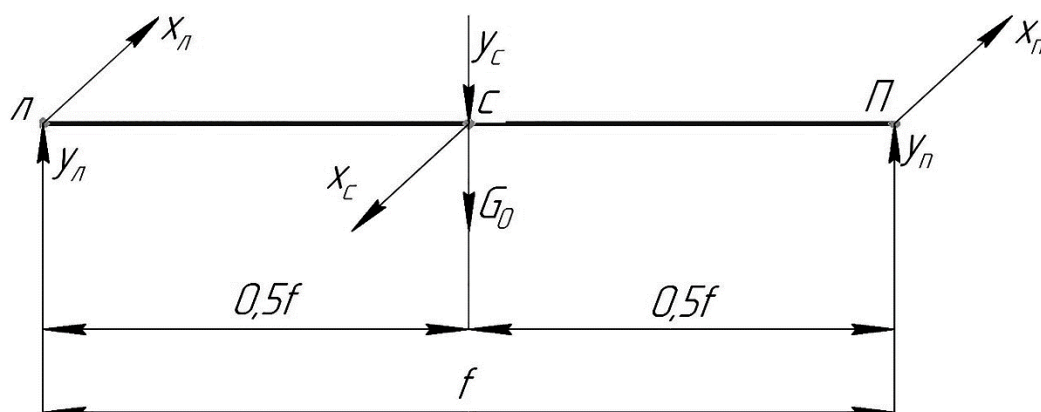
Рисунок 2.5 – Схема действующих сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности земли ТТА с БРУ



a – расстояние от тягово-сцепного устройства, м; l – длина рессорной пружины, м;
 N_D – реакция демпфера, Н; P_T – тяговое усилие, Н; y_c и x_c – реакции в точке с, Н;
 G_n – вес плоской рессорной пружины, Н

Рисунок 2.6 – Схема к определению реакции опор
плоской рессорной пружины БРУ

Так как точка c находится в срединной части торсионной оси, то можно считать, что $x_{\text{л}} = x_{\text{п}}$ и $y_{\text{л}} = y_{\text{п}}$, тогда уравнения равновесия рассматриваем в двух плоскостях (согласно схемы на рисунке 2.7).



G_0 – вес торсионной оси, Н; $x_{\text{л}}$ и $y_{\text{л}}$; $x_{\text{п}}$ и $y_{\text{п}}$ – реакции левой и правой опор соответственно, Н; f – длина торсионной оси, м

Рисунок 2.7 – Схема к определению реакций в поперечной торсионной оси БРУ

В горизонтальной плоскости:

$$\sum M_{\text{л}}(F_k) = 0 \quad -x_c \cdot 0,5f + x_{\text{п}}f = 0 \quad (2.45)$$

при $x_{\text{п}} = x_{\text{л}} = 0,5x_c$

В вертикальной плоскости:

$$\sum M_{\text{л}}(F_k) = 0 \quad -y_c \cdot 0,5f - G_0 \cdot \cos\alpha \cdot 0,5f + y_{\text{п}} \cdot f = 0 \quad (2.46)$$

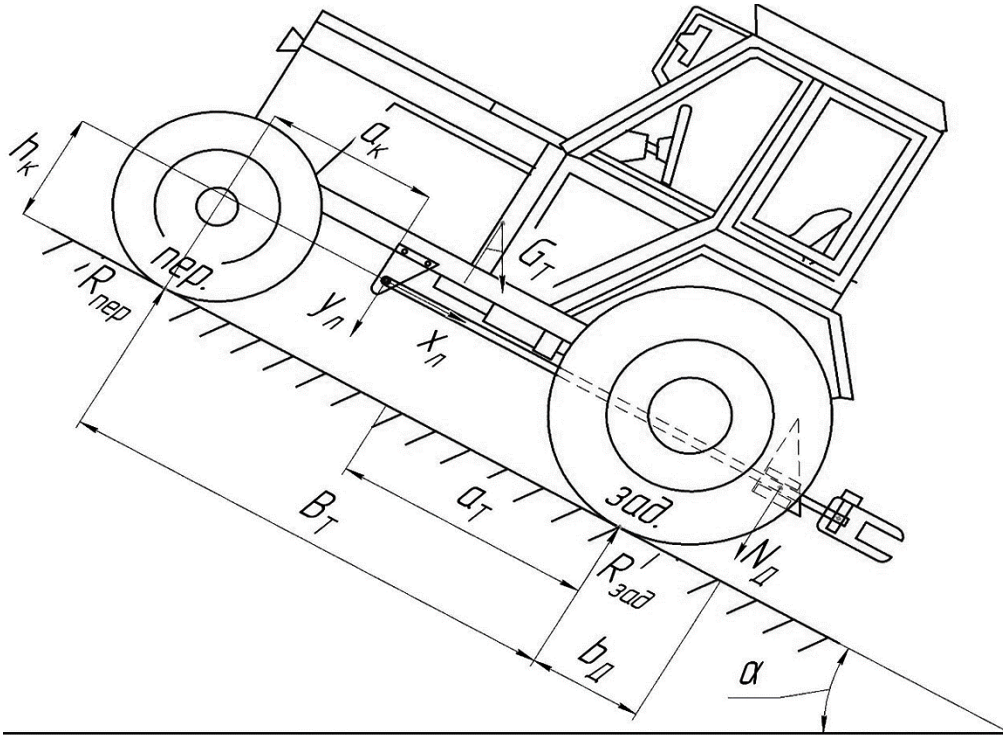
при $y_{\text{п}} = y_{\text{л}} = 0,5(y_c - G_0 \cdot \cos\alpha)$

С учетом выражений (2.42) и (2.44) получаем:

$$x_{\text{п}} = x_{\text{л}} = 0,5 \cdot P_{\text{Т}}, \quad (2.47)$$

$$y_{\text{п}} = y_{\text{л}} = 0,5 \cdot \left(\frac{G_n \cdot \cos\alpha (0,5l - a)}{l - a} - G_0 \cdot \cos\alpha \right) \quad (2.48)$$

Схема сил, действующих на трактор, для определения вертикальных составляющих реакции поверхности на опоры трактора представлена в виде схемы на рисунке 2.8.



b_D – расстояние от опоры заднего колеса до вертикальной составляющей действия силы N_D , м; a_k – расстояние от опоры переднего колеса до линии действия силы y_l , м; h_k – расстояние от поверхности земли до точки соединения кронштейна и торсионной оси буксирно-распределяющего устройства, м

Рисунок 2.8 – Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакции поверхности земли на трактор

Составляем уравнения равновесия согласно схемы на рисунке 2.8:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_{\text{пер}} = 0 & \quad - y_l \cdot a_k - x_l \cdot h_k - G_T \cdot \cos \alpha (B_T - a_T) - \\ & \quad - N_D (B_T + b_D) + R'_{\text{зад}} \cdot B_T = 0 \\ \sum M_{\text{зад}}(F_k) = 0 & \quad - R'_{\text{пер}} \cdot B_T + y_l (B_T - a_k) - x_l \cdot h_k + \\ & \quad + G_T \cdot \cos \alpha \cdot a_T - N_D \cdot b_D = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.49)$$

$$\text{тогда } R'_{\text{зад}} = \frac{G_T \cdot \cos \alpha (B_T - a_T) + N_D (B_T + b_D) + y_l \cdot a_k + x_l \cdot h_k}{B_T} = \quad (2.50)$$

$$\frac{G_T \cdot \cos \alpha (B_T - a_T)}{B_T} + \frac{N_D (B_T + b_D) + y_l \cdot a_k + x_l \cdot h_k}{B_T},$$

$$R'_{\text{пер}} = \frac{G_T \cdot \cos \alpha \cdot a_T + y_l (B_T - a_k) - x_l \cdot h_k - N_D \cdot b_D}{B_T} = \quad (2.51)$$

$$= \frac{G_T \cdot \cos \alpha \cdot a_T}{B_T} + \frac{y_l (B_T - a_k) - x_l \cdot h_k - N_D \cdot b_D}{B_T}$$

Анализ выражений (2.50), (2.51) и (2.40), (2.41) показывает изменения вертикальных составляющих реакций поверхности под опорами трактора, которые составят:

1) для задней опоры (колесного движителя) серийного трактора:

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{N_{\text{д}}(B_{\text{т}} + b_{\text{д}}) + y_{\text{л}} \cdot a_{\text{к}} + x_{\text{л}} \cdot h_{\text{к}}}{B_{\text{т}}} \quad (2.52)$$

2) для передней опоры (колесного движителя) серийного трактора:

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{y_{\text{л}}(B_{\text{т}} - a_{\text{к}}) - x_{\text{л}} \cdot h_{\text{к}} - N_{\text{д}} \cdot b_{\text{д}}}{B_{\text{т}}} \quad (2.53)$$

С учетом выражений (2.43), (2.47), (2.48) получаем изменения вертикальных реакций для опор трактора с БРУ:

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{1}{2} \left(\frac{G_{\text{н}} \cdot \cos \alpha}{(l - a) B_{\text{т}}} (l(B_{\text{т}} + b_{\text{д}} + 0,5a_{\text{к}}) - a \cdot a_{\text{к}}) - \frac{G_0 \cdot \cos \alpha \cdot a_{\text{к}}}{B_{\text{т}}} + \frac{P_{\text{т}} \cdot h_{\text{к}}}{B_{\text{т}}} \right), \quad (2.54)$$

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{1}{2} \left(\frac{G_{\text{н}} \cdot \cos \alpha}{(l - a) B_{\text{т}}} ((0,5l - a)(B_{\text{т}} - a_{\text{к}}) - l \cdot b_{\text{д}}) - G_0 \cdot \cos \alpha \left(1 - \frac{a_{\text{к}}}{B_{\text{т}}} \right) - \frac{P_{\text{т}} \cdot h_{\text{к}}}{B_{\text{т}}} \right) \quad (2.55)$$

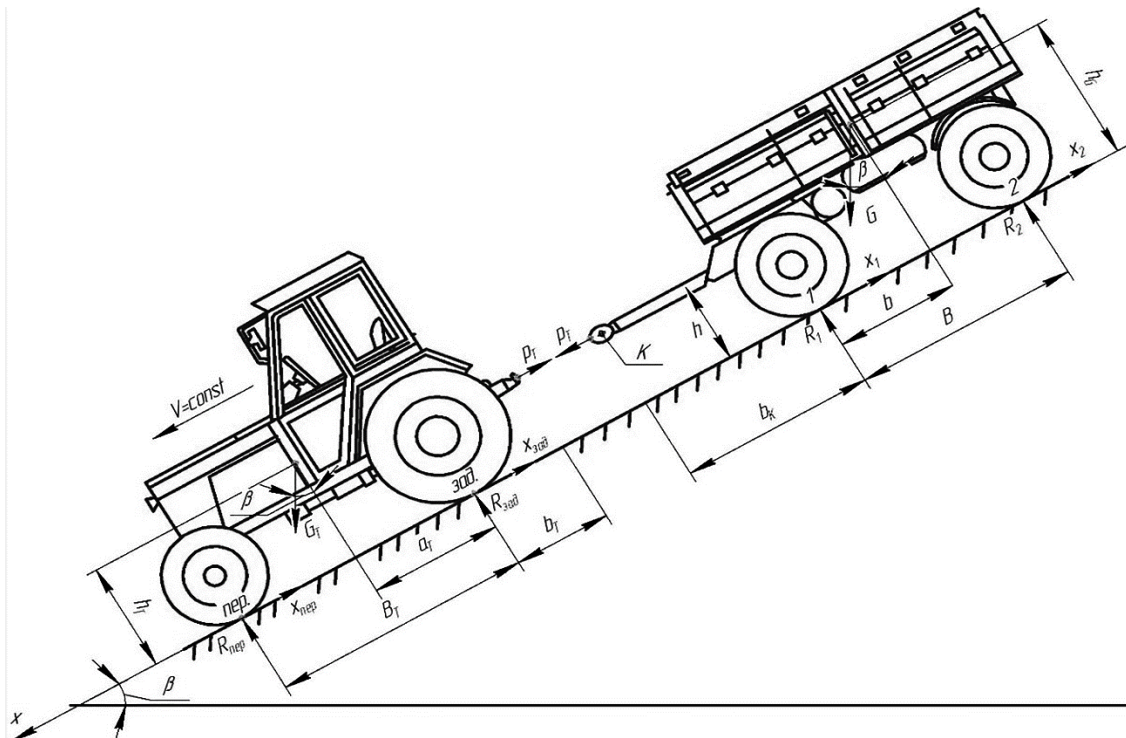
Анализ полученных выражений (2.54) и (2.55) позволяет сделать вывод, что в результате работы буксирно-распределяющего устройства задняя ось трактора с БРУ в работе загружается, а передняя – разгружается.

Проведенные теоретические исследования, с учетом конструктивных особенностей ТТА, позволяют предположить, что установка буксирно-распределяющего устройства способствует распределению сцепного веса в ходовой системе экспериментального трактора, что позволяет догрузить управляемый мост трактора в пределах 20–23 % по сравнению с серийным агрегатом при движении ТТА с БРУ на подъем.

2.4 Распределение нагрузки звеньев

тракторно-транспортного агрегата при движении на спуске

Покажем все силы, действующие на составные части конструкции по типу А (рис. 2.9), и рассмотрим равновесие вертикальных реакций опор каждой части (звена) агрегата в отдельности.



B_T – колесная база трактора, м; h_T – высота расположения центра тяжести трактора, м; h_G – высота расположения центра тяжести прицепа, м; a_T – расстояние от центра тяжести трактора до опоры заднего колеса трактора, м; b_T – расстояние от сцепной петли буксирного устройства до опоры заднего колеса трактора, м; h – расстояние от дышла до поверхности земли, м; G – вес прицепа, Н; G_T – вес трактора, Н; R_1 и R_2 – вертикальные составляющие реакции поверхности под опорами (колесными движителями) прицепа, Н; x_1 и x_2 – горизонтальные составляющие силовой реакции опор прицепа, Н; P_T – тяговое усилие трактора, Н; $R_{пер}$ и $R_{зад}$ – вертикальные составляющие силовой реакции поверхности под опорами (колесными движителями) трактора, Н; $X_{пер}$ и $X_{зад}$ – горизонтальные составляющие силовой реакции поверхности под опорами (колесными движителями) трактора, Н; B – колесная база прицепа, м; b – расстояние от центра тяжести прицепа до опоры направляющего колеса прицепа, м; b_k – расстояние от сцепной петли до опоры направляющего колеса прицепа, м; β – угол движения трактора, град.

Рисунок 2.9 – Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности движения на ТТА без БРУ

Составим уравнения равновесия для прицепа:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_1(F_k) = 0 \quad R_2 \cdot B - G \cdot \cos\beta \cdot b + P_T \cdot h + G \cdot \sin\beta \cdot h_G = 0 \\ \sum M_2(F_k) = 0 \quad -R_1 \cdot B - G \cdot \cos\beta \cdot (B - b) + P_T \cdot h + G \cdot \sin\beta \cdot h_G = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.56)$$

$$\text{тогда } R_2 = \frac{G \cdot \cos\beta \cdot b - P_T \cdot h - G \cdot \sin\beta \cdot h_G}{B}, \quad (2.57)$$

$$R_1 = \frac{G \cdot \sin\beta \cdot h_G + P_T \cdot h - G \cos\beta \cdot (B - b)}{B} \quad (2.58)$$

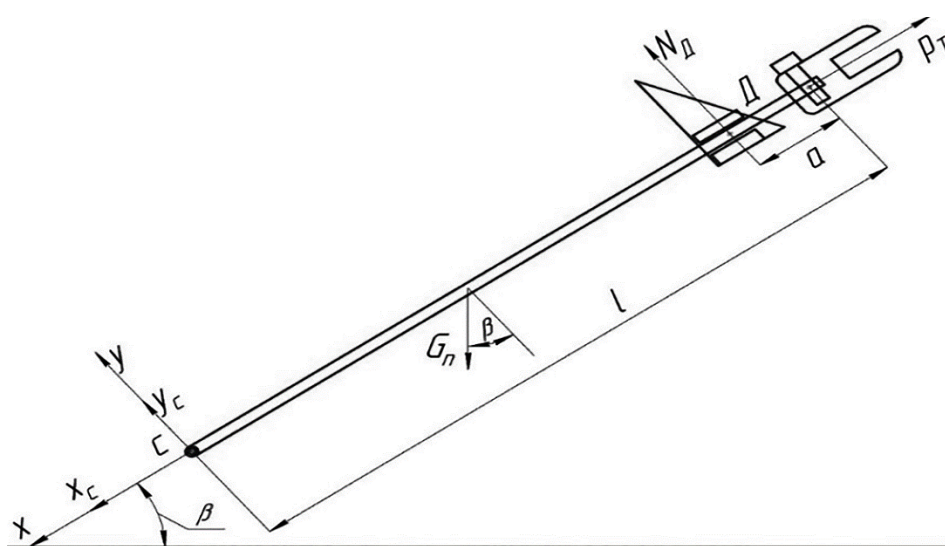
Составим уравнения равновесия для реакций поверхности под опорами (колесными движителями) трактора:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_{\text{пер}}(F_k) = 0 \quad G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T - G_T \cdot \cos\beta (B_T - a_T) - P_T \cdot h + R_{\text{зад}} \cdot B_T = 0 \\ \sum M_{\text{зад}}(F_k) = 0 \quad -R_{\text{пер}} \cdot B_T + G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + G_T \cdot \cos\beta \cdot a_T - P_T \cdot h = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.59)$$

$$\text{тогда } R_{\text{пер}} = \frac{G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + G_T \cdot \cos\beta \cdot a_T - P_T \cdot h}{B_T}, \quad (2.60)$$

$$R_{\text{зад}} = \frac{G_T \cdot \cos\beta \cdot (B_T - a_T) - G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + P_T \cdot h}{B_T} \quad (2.61)$$

Составляем уравнения равновесия для каждой конструкции, используя рисунок 2.10.



a – расстояние от тягово-сцепного устройства, м; l – длина рессорной пружины, м;
 N_d – реакция демпфера; P_T – тяговое усилие, Н; y_c и x_c – реакции в точке с, Н;
 G_n – вес плоской рессорной пружины, Н; β – угол поверхности движения, град.

Рисунок 2.10 – Схема к определению реакции опор БРУ

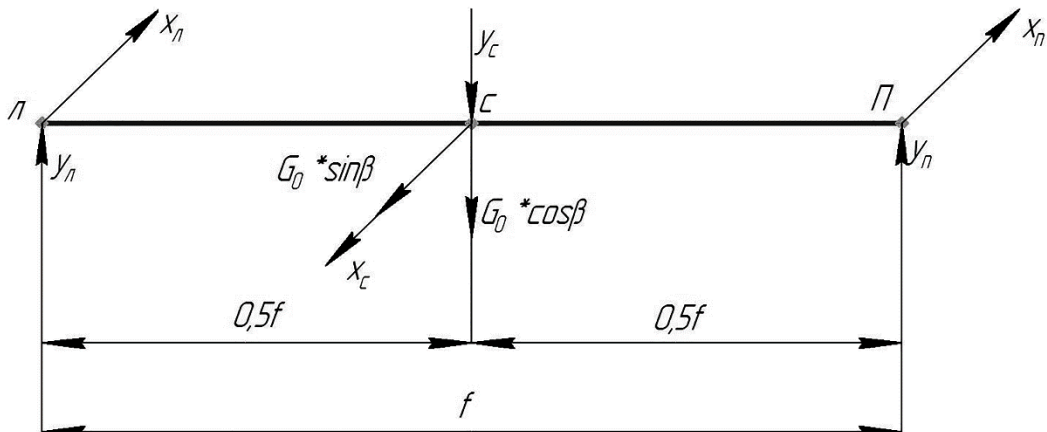
$$\left. \begin{aligned} \sum F_{kx} = 0 \quad x_c - P_T + G_n \cdot \sin\beta &= 0 \\ \sum M_c(F_k) = 0 \quad -G_n \cdot \cos\beta \cdot \frac{l}{2} + N_D \cdot (l - a) &= 0 \\ \sum M_D(F_k) = 0 \quad -y_c \cdot (l - a) + G_n \cdot \cos\beta \cdot \left(\frac{l}{2} - a\right) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.62)$$

$$x_c = P_T - G_n \cdot \sin\beta, \quad (2.63)$$

$$N_D = \frac{G_n \cdot \cos\beta \cdot \frac{l}{2}}{l - a}, \quad (2.64)$$

$$y_c = \frac{G_n \cdot \cos\beta \left(\frac{l}{2} - a\right)}{l - a} \quad (2.65)$$

Схема силовых реакций торсионной оси буксирно-распределяющего устройства представлена на рисунке 2.11.



G_0 – вес торсионной оси, Н; $x_л$ и $y_л$; $x_п$ и $y_п$ – реакции левой и правой опоры соответственно, Н; f – длина торсионной оси, м

Рисунок 2.11 – Схема к определению реакций связи поперечной торсионной оси БРУ

Так как точка c находится в срединной части торсионной оси, можно считать, что $x_л = x_п$ и $y_л = y_п$. Тогда уравнения равновесия рассматриваем в двух плоскостях (рис. 2.11):

1) в горизонтальной плоскости:

$$\sum M_л = 0, \quad -x_c \cdot 0,5f + x_п f - G_0 \cdot \sin\beta \cdot 0,5f = 0, \quad (2.66)$$

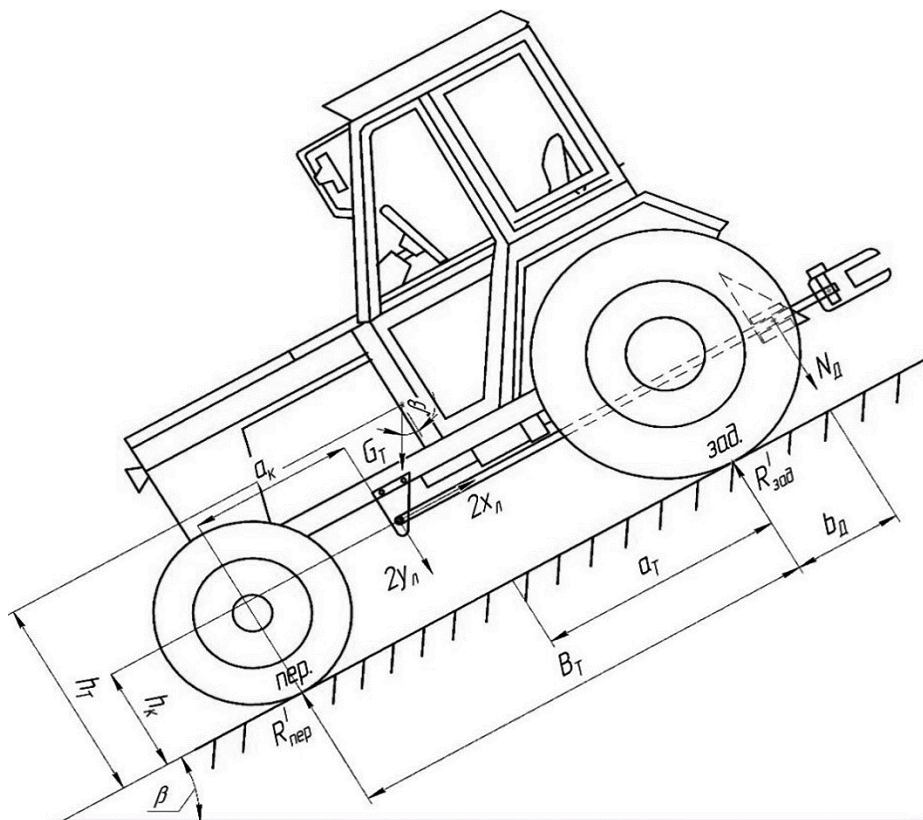
$$\begin{aligned} \text{при } x_п = x_л = x_c \cdot 0,5 + G_0 \cdot \sin\beta \cdot 0,5 = \\ = 0,5(P_T - G_n \cdot \sin\beta + G_0 \cdot \sin\beta) \end{aligned} \quad (2.67)$$

2) в вертикальной плоскости:

$$\sum M_{\text{л}} = 0, \quad -y_{\text{с}} \cdot 0,5f - G_0 \cdot \cos\beta \cdot 0,5f + y_{\text{п}} \cdot f = 0 \quad (2.68)$$

$$\begin{aligned} \text{при } y_{\text{п}} = y_{\text{л}} = 0,5(y_{\text{с}} - G_0 \cdot \cos\beta) = \\ = 0,5 \left(\frac{G_{\text{н}} \cdot \cos\beta \left(\frac{l}{2} - a \right)}{l - a} + G_0 \cdot \cos\beta \right) \end{aligned} \quad (2.69)$$

Составляем уравнения равновесия для звена ТТА «трактор», используя схему на рисунке 2.12.



$b_{\text{д}}$ – расстояние от опоры заднего колеса до линии действия силы $N_{\text{д}}$, м; $a_{\text{к}}$ – расстояние от опоры переднего колеса до линии действия силы $y_{\text{л}}$, м; $h_{\text{к}}$ – расстояние от поверхности земли до точки соединения кронштейна и торсионной оси БРУ, м; $h_{\text{т}}$ – высота расположения центра тяжести трактора, м

Рисунок 2.12 – Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакции поверхности земли на трактор

$$\left. \begin{aligned} \sum M_{\text{пер}} = 0 \quad & G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T - G_T \cdot \cos\beta (B_T - a_T) + \\ & + R'_{\text{зад}} \cdot B_T - N_D (B_T + b_D) - 2y_L \cdot a_K - 2x_L \cdot h_K = 0 \\ \sum M_{\text{зад}} = 0 \quad & - R'_{\text{пер}} \cdot B_T + G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + \\ & + G_T \cdot \cos\beta \cdot a_T + 2y_L (B_T - a_K) - 2x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.70)$$

$$\text{тогда } R'_{\text{зад}} = \frac{G_T \cdot \cos\beta (B_T - a_T) - G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + N_D \cdot (B_T + b_D)}{B_T} + \frac{2y_L \cdot a_K + 2x_L \cdot h_K}{B_T}, \quad (2.71)$$

$$R'_{\text{пер}} = \frac{G_T \cdot \cos\beta \cdot a_T + G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + 2y_L (B_T - a_K) - 2x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D}{B_T} \quad (2.72)$$

Подставим в выражения (2.71) и (2.72) формулы (2.65), (2.68) и (2.70):

$$\begin{aligned} R'_{\text{пер}} = & \frac{G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + G_T \cdot \cos\beta \cdot a_T - P_T \cdot h_K}{B_T} + \\ & + \frac{G_n \cdot \cos\beta \left(\left(\frac{l}{2} - a \right) - b_D \right) \cdot (B_T - a_K)}{(l - a) B_T} + \frac{G_0 (\cos\beta (B_T - a_K) - h_K \cdot \sin\beta)}{B_T} + \\ & + \frac{G_n \cdot \sin\beta \cdot h_K}{B_T}, \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$\begin{aligned} R'_{\text{зад}} = & \frac{G_T \cdot \cos\beta \cdot (B_T - a_T) - G_T \cdot \sin\beta \cdot h_T + P_T \cdot h_K}{B_T} + \\ & + \frac{G_n \cdot \cos\beta \left(\frac{l}{2} (B_T + b_D) + \left(\frac{l}{2} - a \right) \right) a_K}{(l - a) B_T} + \frac{G_0 (\cos\beta \cdot a_K + h_K \cdot \sin\beta)}{B_T} - \\ & - \frac{G_n \cdot \sin\beta \cdot h_K}{B_T} \end{aligned} \quad (2.74)$$

Получаем изменения вертикальных реакций для опор трактора с БРУ:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{пер}} = & \frac{G_n \cdot \cos\beta \left(\left(\frac{l}{2} - a \right) - b_D \right) \cdot (B_T - a_K)}{(l - a) B_T} + \\ & + \frac{G_0 (\cos\beta (B_T - a_K) - h_K \cdot \sin\beta)}{B_T} + \frac{G_n \cdot \sin\beta \cdot h_K}{B_T}, \end{aligned} \quad (2.75)$$

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{G_n \cdot \cos\beta \left(\frac{l}{2} (B_T + b_d) + \left(\frac{l}{2} - a \right) \right) \cdot a_k}{(l - a) B_T} + \frac{G_0 (\cos\beta \cdot a_k + \sin\beta \cdot h_k)}{B_T} - \frac{G_n \cdot \sin\beta \cdot h_k}{B_T} \quad (2.76)$$

Анализ полученных выражений (2.57) и (2.58), а также (2.75) и (2.76) позволяет сделать вывод, что в результате работы БРУ задняя и передняя оси трактора с буксирно-распределяющим устройством загружаются.

Проведенные теоретические исследования, с учетом конструктивных особенностей ТТА, позволяют предположить, что установка буксирно-распределяющего устройства способствует распределению сцепного веса в ходовой системе экспериментального трактора. Это позволяет стабилизировать ходовую систему ТТА и дополнительно догрузить управляемый мост трактора в пределах 12–16 % по сравнению с серийным агрегатом, что не повлечет потери управляемости при равномерном поступательном движении на спуске.

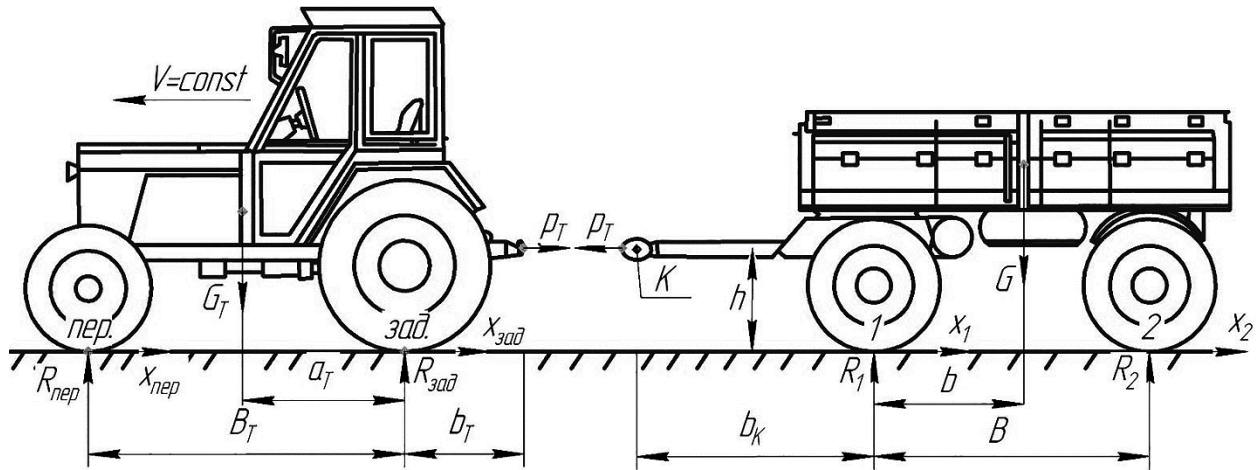
2.5 Распределение нагрузки при движении тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством по горизонтальной поверхности

Для определения условий распределения весовой нагрузки на опоры буксирующего колесного трактора и составления уравнений равновесия, описывающих процессы перераспределения, рассмотрим тракторно-транспортный агрегат как составную конструкцию в следующих вариантах:

Вариант А: трактор без устройства + прицеп.

Вариант Б: трактор с устройством + торсионная ось крепления устройства + плоская рессорная пружина с установленным тягово-сцепным устройством (ТСУ) + прицеп.

Для этого покажем все силы, действующие на составные части конструкции по варианту А (рис. 2.13), и рассмотрим равновесие.



B_T – колесная база трактора, м; a_T – расстояние от центра тяжести трактора до опоры заднего колеса трактора, м; b_T – расстояние от сцепной петли буксирного устройства до опоры заднего колеса трактора, м; h – расстояние от дышла до поверхности движения, м; G – вес прицепа, Н; G_T – вес трактора, Н; R_1 и R_2 – вертикальные составляющие реакции поверхности под опорами (колесными движителями) прицепа, Н; x_1 и x_2 – горизонтальные составляющие силовой реакции опор прицепа, Н; P_T – тяговое усилие трактора, Н; $R_{пер}$ и $R_{зад}$ – вертикальные составляющие силовой реакции поверхности движения под опорами (колесными движителями) трактора, Н; $X_{пер}$ и $X_{зад}$ – горизонтальные составляющие силовой реакции поверхности под опорами (колесными движителями) трактора, Н; B – колесная база прицепа, м; b – расстояние от центра тяжести прицепа до опоры направляющего колеса прицепа, м; b_K – расстояние от сцепной петли до опоры направляющего колеса прицепа, м

Рисунок 2.13 – Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности по варианту А

Составим уравнения равновесия для прицепа:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_1(F_k) &= 0 \quad R_2 \cdot B - G \cdot b + P_T \cdot h = 0 \\ \sum M_2(F_k) &= 0 \quad -R_1 \cdot B + G \cdot (B - b) + P_T \cdot h = 0 \\ \sum F_{ky} &= 0 \quad -G + R_1 + R_2 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.77)$$

$$\text{тогда } R_2 = \frac{G \cdot b - P_T \cdot h}{B}, \quad (2.78)$$

$$R_1 = \frac{G \cdot (B - b) + P_T \cdot h}{B} \quad (2.79)$$

Составим уравнения равновесия для реакций поверхности движения под опорами (колесными движителями) трактора:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_{\text{пер}}(F_k) = 0 \quad R_{\text{зад}} \cdot B_T - G_T \cdot (B_T - a_T) = 0 \\ \sum M_{\text{зад}}(F_k) = 0 \quad -R_{\text{пер}} \cdot B_T + G_T \cdot a_T = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.80)$$

$$\text{тогда } R_{\text{зад}} = \frac{G_T \cdot (B_T - a_T)}{B_T}, \quad (2.81)$$

$$R_{\text{пер}} = \frac{G_T \cdot a_T}{B_T} \quad (2.82)$$

Горизонтальные составляющие реакции поверхности движения под опорами прицепа и трактора определять не будем, так как устройство оказывает влияние только на вертикальные составляющие реакции поверхности.

Рассмотрим составную конструкцию с буксирно-распределяющим устройством по варианту Б. Разбиваем конструкцию ТТА на составные части: трактор + поперечная торсионная ось крепления устройства + плоская рессорная пружина устройства с установленным ТСУ + прицеп.

Покажем все силы, действующие на рассматриваемые части составной конструкции (рис. 2.14).

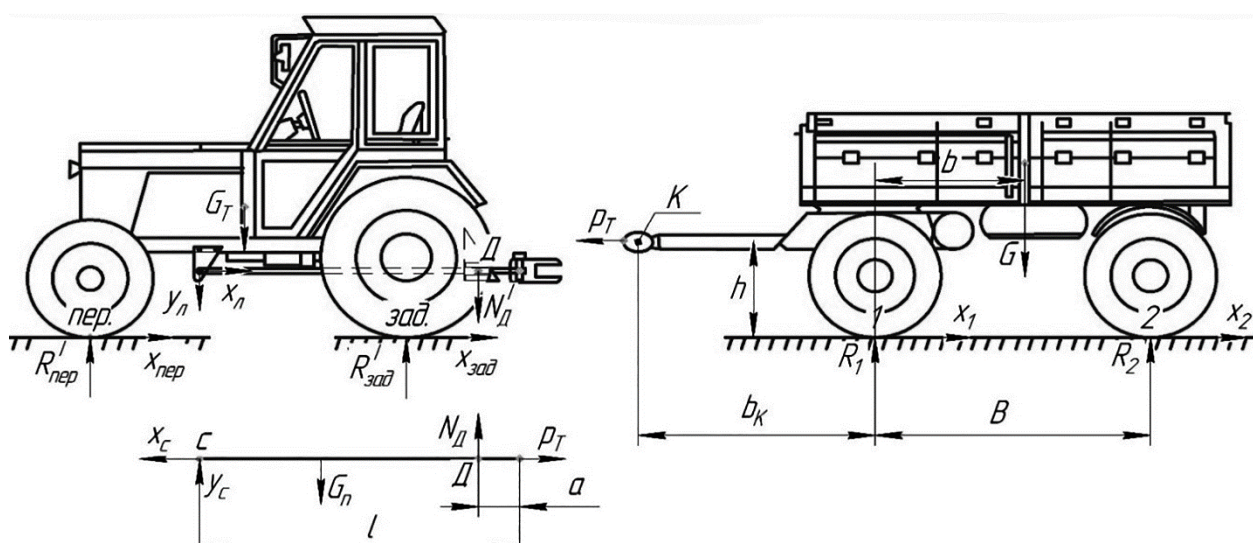
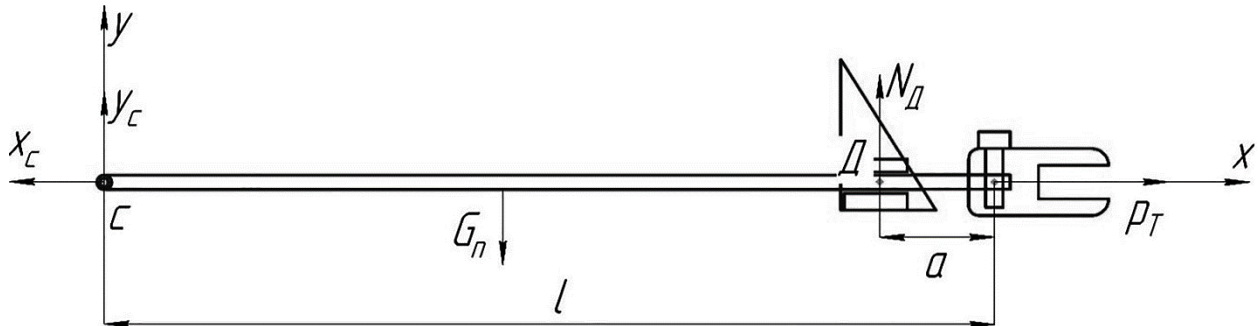


Рисунок 2.14 – Схема действующих сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности движения ТТА с устройством по варианту Б

Схемы (рис. 2.13 и 2.14) позволяют предположить, что действие сил на прицеп не изменилось. Следовательно, выражения (2.78) и (2.79) справедливы при рассмотрении ТТА с установленным предлагаемым устройством.

Схема к определению реакций опор плоской рессорной пружины устройства с ТСУ представлена на рисунке 2.15.



a – расстояние от тягово-сцепного устройства, м; l – длина рессорной пружины, м;
 N_d – реакция демпфера, Н; P_T – тяговое усилие, Н; y_c и x_c – реакции в точке c , Н;
 G_n – вес плоской рессорной пружины, Н

**Рисунок 2.15 – Схема к определению реакции опор
плоской рессорной пружины БРУ**

Составляем уравнения равновесия для каждой части конструкции, используя схему на рисунке 2.15:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{kx} &= 0 \quad -x_c + P_T = 0 \\ \sum M_c(F_k) &= 0 \quad -G_n \cdot \frac{l}{2} + N_d \cdot (l - a) = 0 \\ \sum M_d(F_k) &= 0 \quad -y_c \cdot (l - a) + G_n \cdot \left(\frac{l}{2} - a\right) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.83)$$

$$\begin{aligned} \text{где } x_c &= P_T \\ \text{тогда } N_d &= \frac{G_n \cdot \frac{l}{2}}{l - a}, \end{aligned} \quad (2.84)$$

$$y_c = \frac{G_n \cdot \left(\frac{l}{2} - a\right)}{l - a} \quad (2.85)$$

Для дальнейших расчетов используем схему на рисунке 2.11.

Так как точка C находится в срединной части торсионной оси, можно считать, что $x_{\text{л}} = x_{\text{п}}$ и $y_{\text{л}} = y_{\text{п}}$. Тогда уравнения равновесия рассматриваем в двух плоскостях:

1) в горизонтальной плоскости:

$$\sum M_{\text{л}}(F_k) = 0 \quad - x_{\text{с}} \cdot 0,5f + x_{\text{п}}f = 0 \quad (2.86)$$

при $x_{\text{п}} = x_{\text{л}} = 0,5x_{\text{с}}$

2) в вертикальной плоскости:

$$\sum M_{\text{л}}(F_k) = 0 \quad - y_{\text{с}} \cdot 0,5f - G_0 \cdot 0,5f + y_{\text{п}} \cdot f = 0 \quad (2.87)$$

при $y_{\text{п}} = y_{\text{л}} = 0,5(y_{\text{с}} - G_0)$

С учетом выражений (2.83) и (2.84) получаем:

$$x_{\text{п}} = x_{\text{л}} = 0,5 \cdot P_{\text{Т}}, \quad (2.88)$$

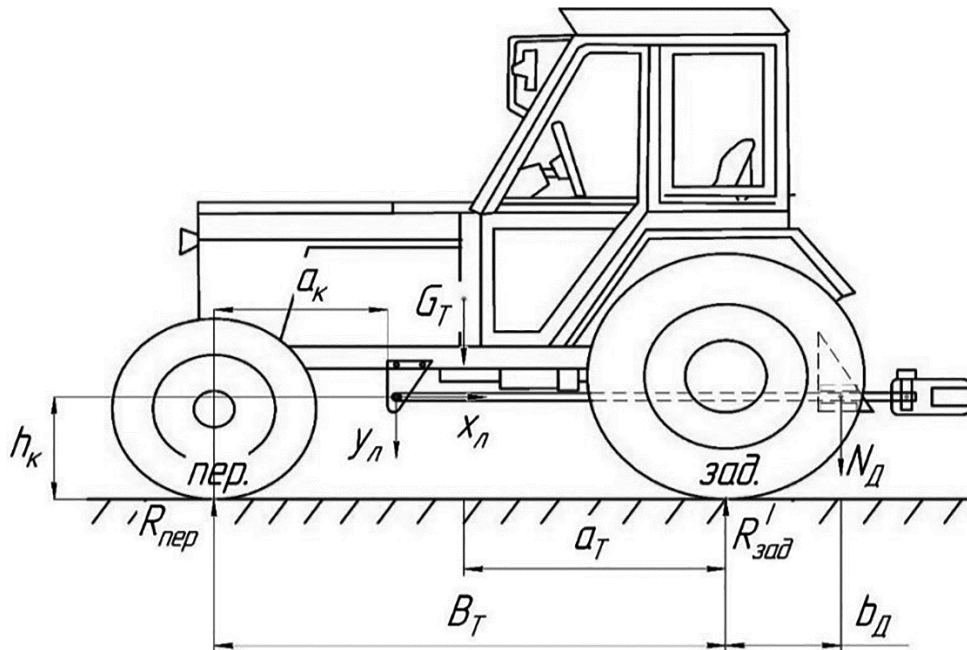
$$y_{\text{п}} = y_{\text{л}} = 0,5 \cdot \left(\frac{G_{\text{н}} \cdot (0,5l - a)}{l - a} - G_0 \right) \quad (2.89)$$

Рассмотрим силовые реакции горизонтальной поверхности на опоры трактора согласно схеме на рисунке 2.16. Составляем уравнения равновесия согласно представленной схемы:

$$\left. \begin{aligned} \sum M_{\text{пер}} = 0 & \quad - y_{\text{л}} \cdot a_{\text{к}} - x_{\text{л}} \cdot h_{\text{к}} - G_{\text{Т}} \cdot \cos \alpha (B_{\text{Т}} - a_{\text{Т}}) - \\ & \quad - N_{\text{Д}}(B_{\text{Т}} + b_{\text{Д}}) + R'_{\text{зад}} \cdot B_{\text{Т}} = 0 \\ \sum M_{\text{зад}}(F_k) = 0 & \quad - R'_{\text{пер}} \cdot B_{\text{Т}} + y_{\text{л}}(B_{\text{Т}} - a_{\text{к}}) - x_{\text{л}} \cdot h_{\text{к}} + \\ & \quad + G_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Т}} - N_{\text{Д}} \cdot b_{\text{Д}} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.90)$$

$$\begin{aligned} \text{тогда } R'_{\text{зад}} &= \frac{G_{\text{Т}} \cdot (B_{\text{Т}} - a_{\text{Т}}) + N_{\text{Д}}(B_{\text{Т}} + b_{\text{Д}}) + y_{\text{л}} \cdot a_{\text{к}} + x_{\text{л}} \cdot h_{\text{к}}}{B_{\text{Т}}} = \\ &= \frac{G_{\text{Т}} \cdot (B_{\text{Т}} - a_{\text{Т}})}{B_{\text{Т}}} + \frac{N_{\text{Д}}(B_{\text{Т}} + b_{\text{Д}}) + y_{\text{л}} \cdot a_{\text{к}} + x_{\text{л}} \cdot h_{\text{к}}}{B_{\text{Т}}}, \end{aligned} \quad (2.91)$$

$$R'_{\text{пер}} = \frac{G_T \cdot a_T + y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D}{B_T} = \frac{G_T \cdot a_T}{B_T} + \frac{y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D}{B_T} \quad (2.92)$$



b_D – расстояние от опоры заднего колеса до вертикальной проекции действия силы N_D , м;
 a_K – расстояние от опоры переднего колеса до линии действия силы y_L , м; h_K – расстояние от поверхности земли до точки соединения кронштейна и торсионной оси устройства, м

Рисунок 2.16 – Схема к определению вертикальных составляющих силовых реакций поверхности движения на трактор

Анализ выражений (2.91), (2.92) и (2.81), (2.82) показывает, что происходят изменения вертикальных составляющих силовых реакций поверхности под опорами трактора, которые составят:

1) для задней опоры (колесного движителя) экспериментального трактора:

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{N_D(B_T + b_D) + y_L \cdot a_K + x_L \cdot h_K}{B_T} \quad (2.93)$$

2) для передней опоры (колесного движителя) экспериментального трактора:

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D}{B_T} \quad (2.94)$$

С учетом выражений (2.87), (2.89), (2.93) получаем изменения вертикальных реакций для опор трактора с устройством:

$$\Delta_{\text{зад}} = \frac{1}{2} \left(\frac{G_n}{(l-a)B_T} (l(B_T + b_D + 0,5a_K) - a \cdot a_K) - \frac{G_0 \cdot a_K}{B_T} + \frac{P_T \cdot h_K}{B_T} \right), \quad (2.95)$$

$$\Delta_{\text{пер}} = \frac{1}{2} \left(\frac{G_n}{(l-a)B_T} ((0,5l-a)(B_T - a_K) - l \cdot b_D) - G_0 \cdot \left(1 - \frac{a_K}{B_T}\right) - \frac{P_T \cdot h_K}{B_T} \right) \quad (2.96)$$

Анализируя выражения (2.95) и (2.96) делаем вывод, что задняя ось трактора с устройством в работе загружается, а передняя управляемая – разгружается. Таким образом, проведенные исследования подтверждают утверждение, что изменение веса, приходящегося на колеса трактора, корректирует положение центра тяжести, что позволит в общем случае увеличить тягово-сцепные свойства трактора.

2.6 Теоретические исследования по повышению устойчивости тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством против опрокидывания при галопировании

Одной из особенностей при передвижении транспортных агрегатов по дорогам, имеющим значительные показатели крутизны продольного уклона поверхности движения, особенно при движении на подъем, является воздействие агрегатируемого прицепа на стабилизацию ходовой системы трактора.

Как отмечалось ранее, производственными наблюдениями установлено, что при движении под уклон в холмистых участках местности динамический фактор прицепа производит догрузку передней оси трактора, ухудшая управляемость. В тоже время при движении на подъем прицепной агрегат уменьшает сцепной вес трактора, смещая центр масс в направлении задней оси; снижает продольную устойчивость, увеличивая опасность переворачивания

вследствие галопирования трактора, то есть неконтролируемого поднятия передней оси управляемого трактора. Особенно значительно эти зависимости проявляются при эксплуатации тракторов моноблочной компоновки с колесами различного диаметра, в связи с чем такие трактора имеют ограничения по использованию в условиях склонных ландшафтов.

Таким образом, существует необходимость теоретических изысканий в направлении воздействия предлагаемого буксирно-распределяющего устройства на галопирование и переворачивание трактора вокруг задней оси.

Для реализации поставленной цели и проведения теоретического обоснования примем тракторно-транспортный агрегат как механическую систему, состоящую из элементов: трактор, буксирно-распределяющее устройство, прицеп. При этом используем схемы на рисунках 2.11, 2.14, 2.15.

Рассмотрим опрокидывание трактора относительно задней опоры для серийного трактора. Для этого составим уравнение равновесия относительно задней опоры (рис. 2.14). При опрокидывании, отрыве переднего моста от поверхности $R_{\text{пер}} = 0$:

$$\sum M_{\text{зад}}(F_k) = 0 \quad - R_{\text{пер}} \cdot B_{\text{т}} + G_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} = P_{\text{т}} \cdot h_k = 0, \quad (2.97)$$

$$R_{\text{пер}} = \frac{G_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}}}{B_{\text{т}}} - \frac{P_{\text{т}} \cdot h_k}{B_{\text{т}}} \quad (2.98)$$

При опрокидывании получаем:

$$\begin{aligned} G_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} - P_{\text{т}} \cdot h_k &= 0 \\ \text{при условии } G_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} &< P_{\text{т}} \cdot h_k \end{aligned} \quad (2.99)$$

Рассмотрим опрокидывание трактора относительно задней опоры при работе с устройством. Для этого составим уравнения равновесия относительно задней опоры экспериментального трактора с установленным буксирно-распределяющим устройством (согласно схеме на рисунке 2.14) при отрыве передних колес от поверхности движения и переворачивания трактора:

$$\sum M_{\text{зад}}(F_k) = 0 \quad (2.100)$$

$$\begin{aligned} -R'_{\text{пер}} \cdot B_T + y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_k + G_T \cdot a_T - N_D \cdot b_D &= 0, \\ \text{тогда } R'_{\text{пер}} &= \frac{G_T \cdot a_T + y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_k - N_D \cdot b_D}{B_T} = \\ &= \frac{G_T \cdot a_T}{B_T} + \frac{y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_k - N_D \cdot b_D}{B_T} \end{aligned} \quad (2.101)$$

Так как при опрокидывании $R'_{\text{пер}} = 0$:

$$\frac{G_T \cdot a_T}{B_T} + \frac{y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_k - N_D \cdot b_D}{B_T} = 0, \quad (2.102)$$

$$G_T \cdot a_T + y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_k - N_D \cdot b_D = 0 \quad (2.103)$$

Получаем следующее условие опрокидывания при галопировании экспериментального трактора:

$$G_T \cdot a_T + y_L(B_T - a_K) < x_L \cdot h_k - N_D \cdot b_D \quad (2.104)$$

Согласно ранее полученным формулам (2.100)–(2.103):

$$G_T \cdot a_T + \frac{G_{\Pi}(0,5l - a)}{l - a}(B_T - a_K) < P_T \cdot h_k + \frac{0,5G_{\Pi}}{l - a} \cdot b_D, \quad (2.105)$$

$$\begin{aligned} \text{или } G_T \cdot a_T + \frac{G_{\Pi}(0,5l - a)}{l - a}(B_T - a_K) &< \\ < P_T h_k + \frac{0,5G_{\Pi}}{l - a} \cdot b_D + G_0(B_T - a_K) \end{aligned} \quad (2.106)$$

С учетом взаимодействующих величин при сравнении формул (2.99) и (2.106) получена величина увеличения параметров, уменьшающих вероятность опрокидывания для экспериментального трактора:

$$\Delta = \frac{G_{\Pi}(0,5l - a)}{l - a}(B_T - a_K) - \frac{0,5G_{\Pi}}{l - a} \cdot b_D - G_0(B_T - a_K) \quad (2.107)$$

Таким образом, сформированный математический аппарат подтверждает научную гипотезу о том, что при использовании предлагаемого устройства вероятность опрокидывания трактора при галопировании уменьшается за счет перемещения воздействующей внешней нагрузки в точку, расположенную ближе к передней опоре трактора. Следовательно, применение буксирно-распределяющего устройства предложенной конструкции позволяет добиться не только стабилизации ходовой системы трактора, но и повысить устойчивость колесного энергетического средства против опрокидывания при проявлении эффекта галопирования.

2.7 Применение эмулирования и 3D моделирования предлагаемой конструкции и производственных процессов при теоретических исследованиях

Актуальные научные исследования требуют применения инновационных методов и современных подходов к формированию лабораторно-приборного комплекса. Так, применение программных продуктов для создания как статических, так и динамических моделей методом эмуляции взаимодействия процессов и механизмов представляется значимым и перспективным направлением при теоретических научных исследованиях, учитывая, что развитие современных технологий позволяет проектировать как сложные, так и простые объекты в электронной среде.

При этом некоторые среды для 3D моделирования позволяют не только создать электронную цифровую модель объекта, но и провести эмуляцию работы агрегата, учитывая его конструкцию, технологические характеристики и физические свойства почв в заданных параметрах.

Наиболее оптимальным для проектирования сельскохозяйственных агрегатов является программное обеспечение Blender, позволяющее работать не

только с простыми формами, но и со сложными геометрическими фигурами, а также задавать физические свойства и условия объектам в 3D пространстве.

Применение программного обеспечения, позволяющего исследовать физические свойства для отдельных элементов 3D сцены, также дает возможность проверки эффективности применения внедряемых устройств в производственных условиях до организации их фактического производства, что значительно экономит материальные и финансовые средства.

Исследования проведены для определения геометрических размеров устройства (рис. 2.17–2.20); соотношения параметров движения транспортного агрегата в различных условиях местности с переменной нагруженностью предлагаемого устройства до достижения пределов переворачивания или опрокидывания ТТА (рис. 2.21–2.25), а также технологических и колебательных характеристик агрегата (рис. 2.26, 2.27) при формировании опытного устройства по патенту Российской Федерации № 2753047 «Буксирно-распределяющее устройство».

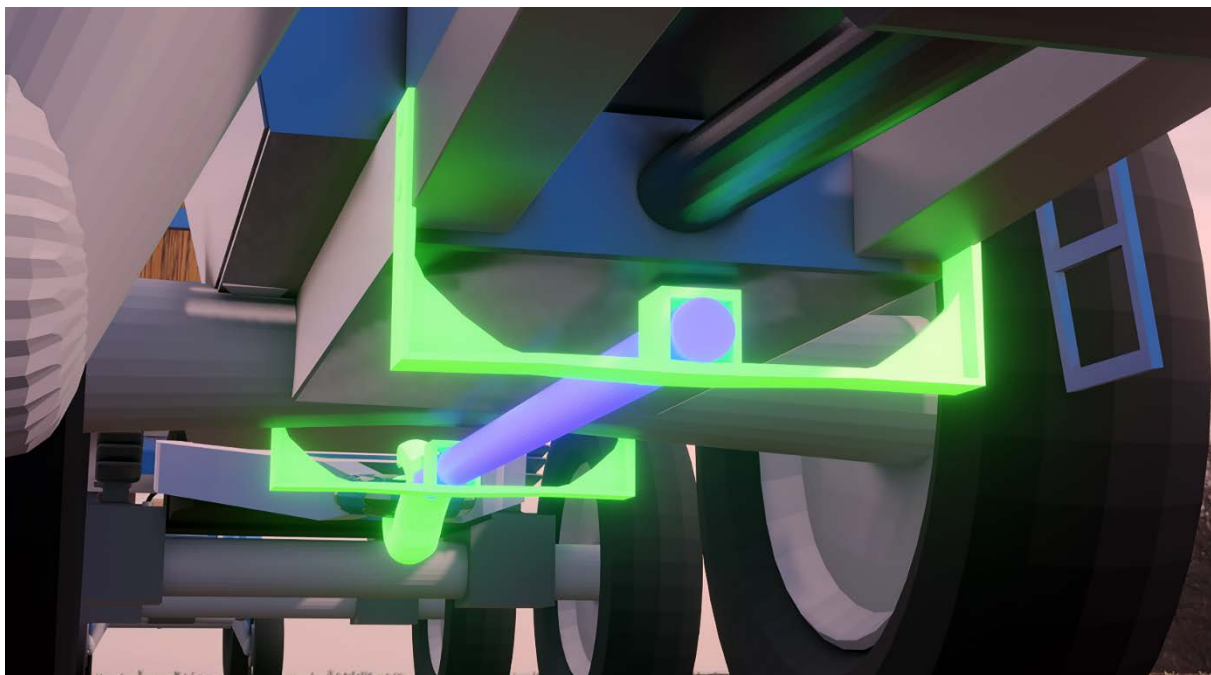


Рисунок 2.17 – Фрагменты эмуляции установочных элементов и крепления передней части устройства на раме трактора

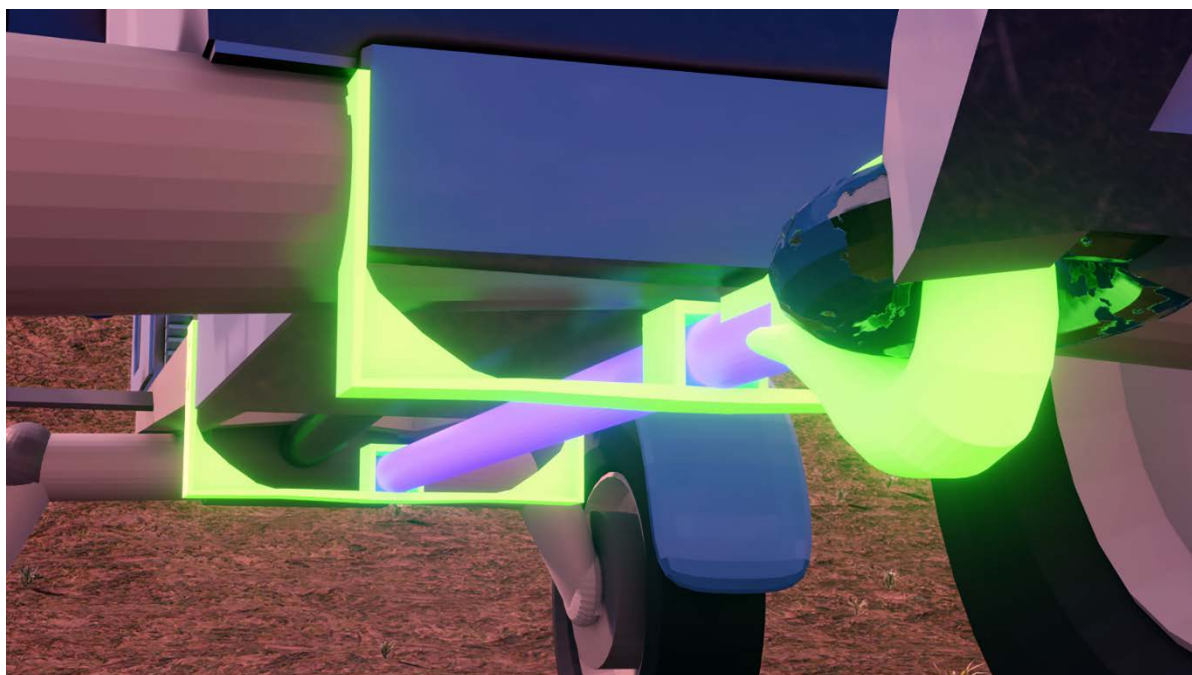


Рисунок 2.18 – Фрагменты эмуляции установочных элементов и крепления тыльной части устройства на раме трактора

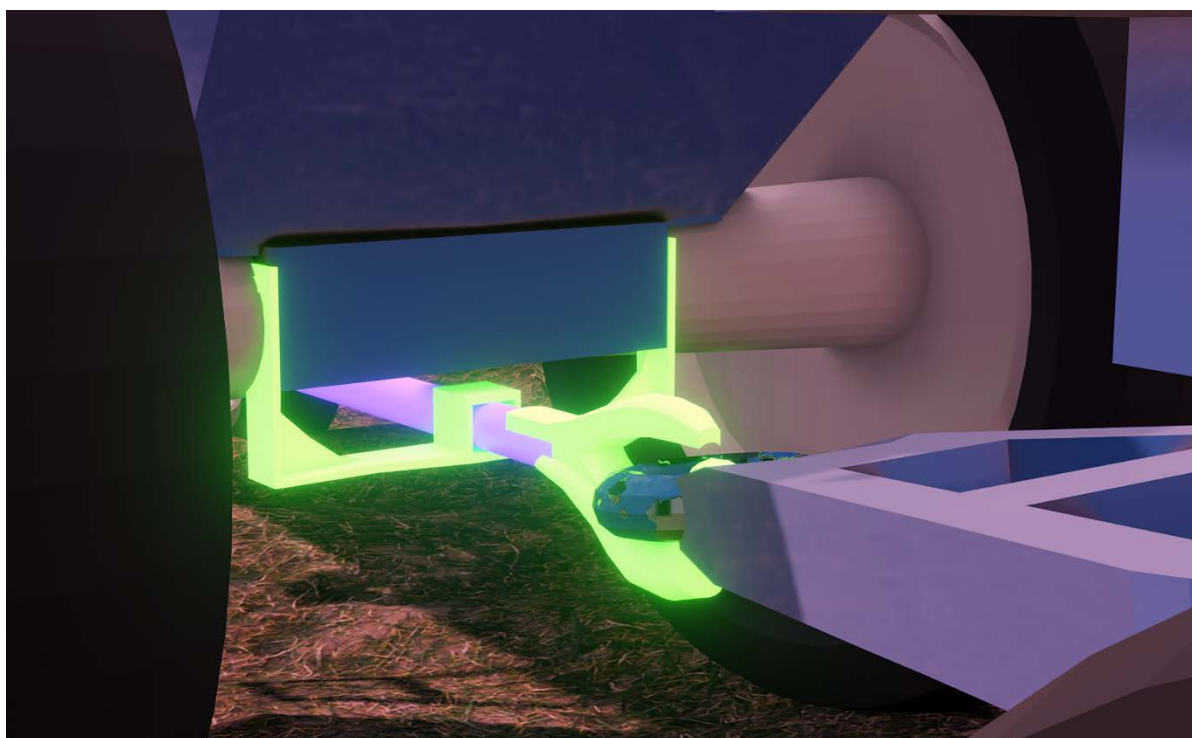


Рисунок 2.19 – Фрагменты эмуляции элементов перспективного буксирно-распределяющего устройства

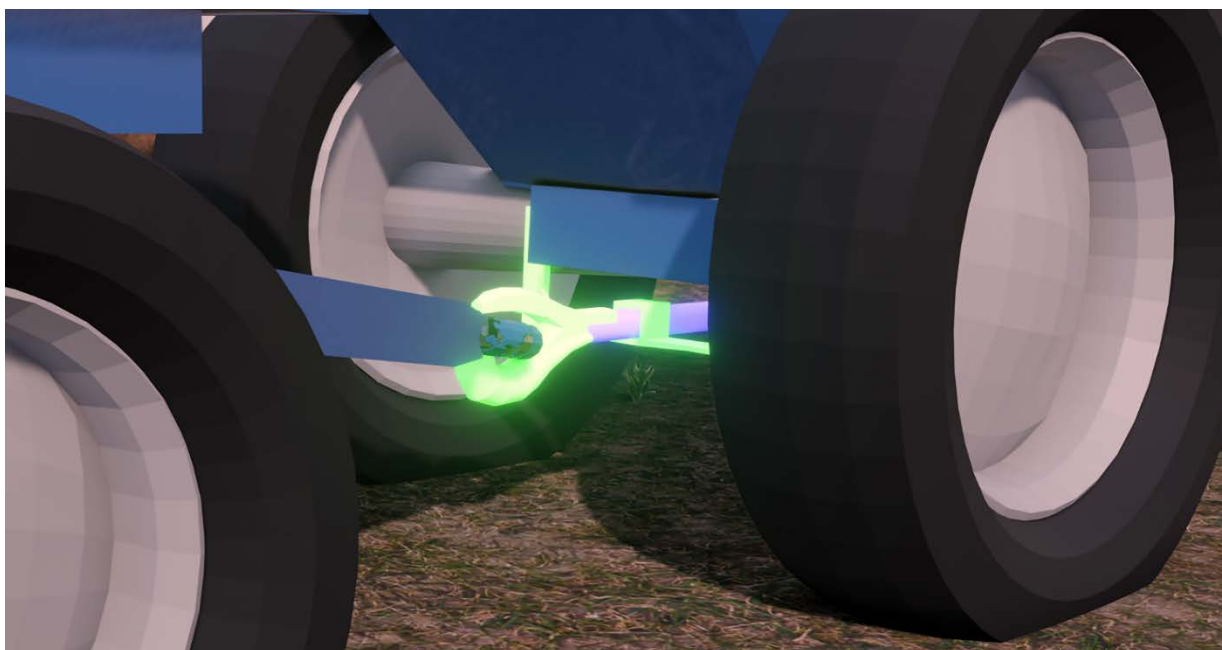


Рисунок 2.20 – Фрагменты эмуляции установочного узла перспективного буксирно-распределяющего устройства



Рисунок 2.21 – Фрагменты эмуляции опрокидывания при движении серийного ТТА на подъем



Рисунок 2.22 – Фрагменты эмуляция движения экспериментального ТТА на подъем



Рисунок 2.23 – Фрагменты эмуляции движения серийного ТТА на спуске

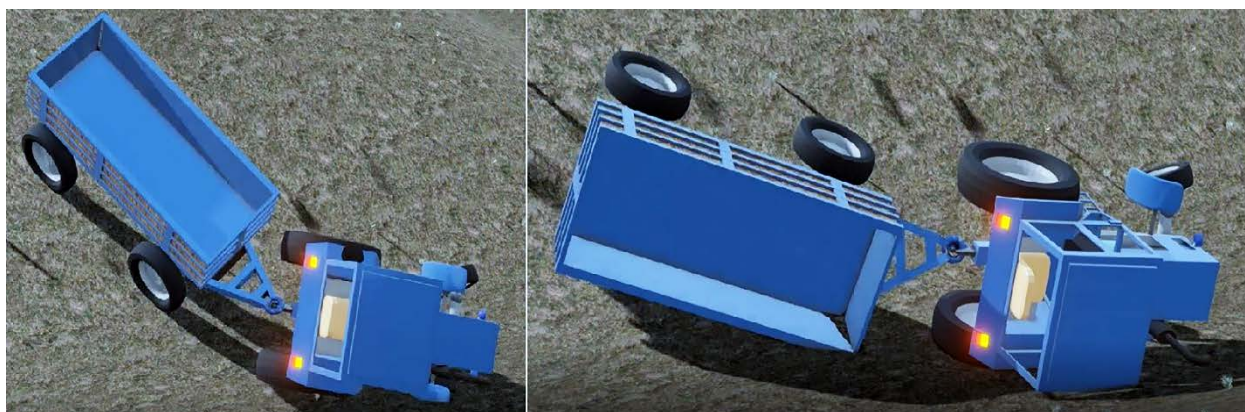


Рисунок 2.24 – Фрагменты эмуляции опрокидывания при движении серийного ТТА на спуске



Рисунок 2.25 – Фрагменты эмуляции движения экспериментального ТТА на спуске



Рисунок 2.26 – Фрагменты эмуляции движения при определении технологических и колебательных характеристик серийного агрегата



**Рисунок 2.27 – Фрагменты эмуляции движения
при определении технологических и колебательных характеристик
экспериментального агрегата**

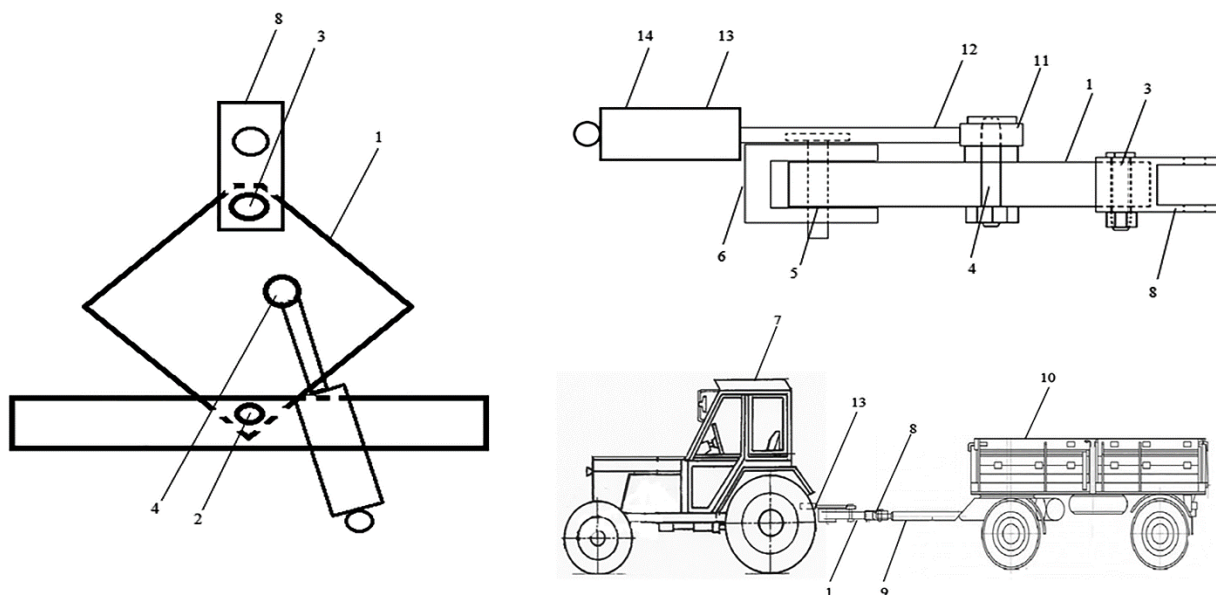
Программное обеспечение и полученные результаты позволили подтвердить научную гипотезу и теоретические исследования в том, что при передвижении ТТА будет происходить перераспределение сцепного веса не только на задние движители, но и на центральную и переднюю часть трактора, что позволит увеличить тягово-сцепные свойства, достичь более высоких агротехнических скоростей, улучшить показатели проходимости и снизить параметры опрокидывания агрегата.

Однако в среде 3D моделирования нужной степени упругости рессорной пружины удалось добиться только придав ей цилиндрическую форму, что немного отходит от проектируемого прототипа внешне. Это решение не повлияло на результат при практическом применении, но позволило сформировать более технологичную конструкцию при дальнейшей модернизации устройства. На последующее техническое решение нами был получен патент Российской Федерации № 2780711 «Буксирно-сцепное устройство с вертикальным регулированием».

2.8 Повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов при перевозке грузов при использования многозвенных поездов

2.8.1 Влияние смещения точки установки буксирно-догружающего устройства трактора на ширину транспортного коридора тракторно-транспортного агрегата

Характерной особенностью при движении тракторно-транспортных агрегатов с тракторами класса 1,4 является то, что при повороте трактора автоматически отключается блокировка колес и это значительно снижает его тягово-сцепные качества. Для устранения данного недостатка предлагается конструкция догружающего устройства машинно-тракторного агрегата, позволяющая перемещать точку прицепа и тем самым догружать колеса, находящееся в условиях низких сцепных качеств (рис. 2.28).



1 – плоская квадратная план-шайба; 2, 3 – сквозные диагональные установочные отверстия; 4 – крепежные отверстия; 5 – шарнир; 6 – поперечина продольных рычагов навески; 7 – нижние продольные рычаги навески; 8 – буксирное устройство; 9 – дышло прицепа; 10 – прицеп; 11 – вилка рабочего штока силового гидроцилиндра; 12 – рабочий шток силового гидроцилиндра; 13 – силовой гидроцилиндр

Рисунок 2.28 – Принципиальная схема догружающего устройства

При движении ТТА с точкой установки ТСУ, расположенной по центру фронтальной части энергетического средства, на ведущие колеса трактора приходится сцепной вес, определяемый по формуле (2.108):

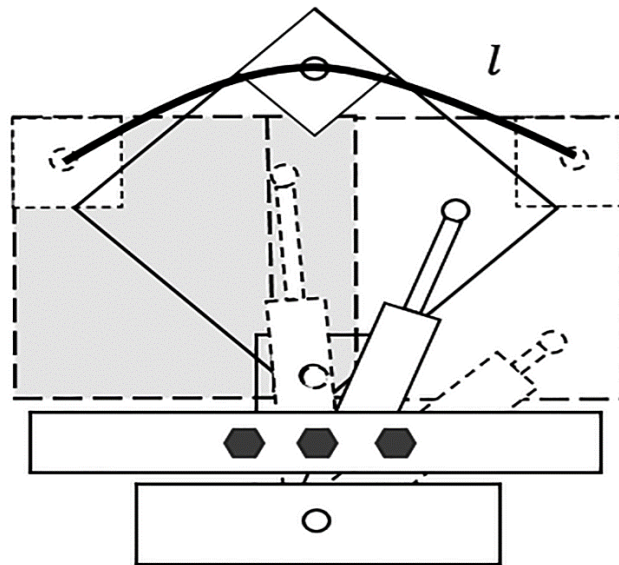
$$G_{\text{сп}} = \frac{2}{3} G_{\text{тр}} + G_{\text{д}} \quad (2.108)$$

где $G_{\text{тр}}$ – вес трактора, Н;

$G_{\text{д}}$ – дополнительный вес, передаваемый от прицепа, Н.

В ранее проведенных исследованиях [20, 27, 33] установлено, что смещение точки прицепа позволяет дополнительно нагружать движитель, в сторону которого произошло смещение точки прицепа, что позволяет повысить тягово-сцепные качества ТТА и дает возможность увеличить тяговое усилие, развиваемое трактором. При этом обеспечивается возможность использовать многозвенные тракторно-транспортные поезда. Основным недостатком в данном случае становится увеличение ширины транспортного коридора такого ТТА.

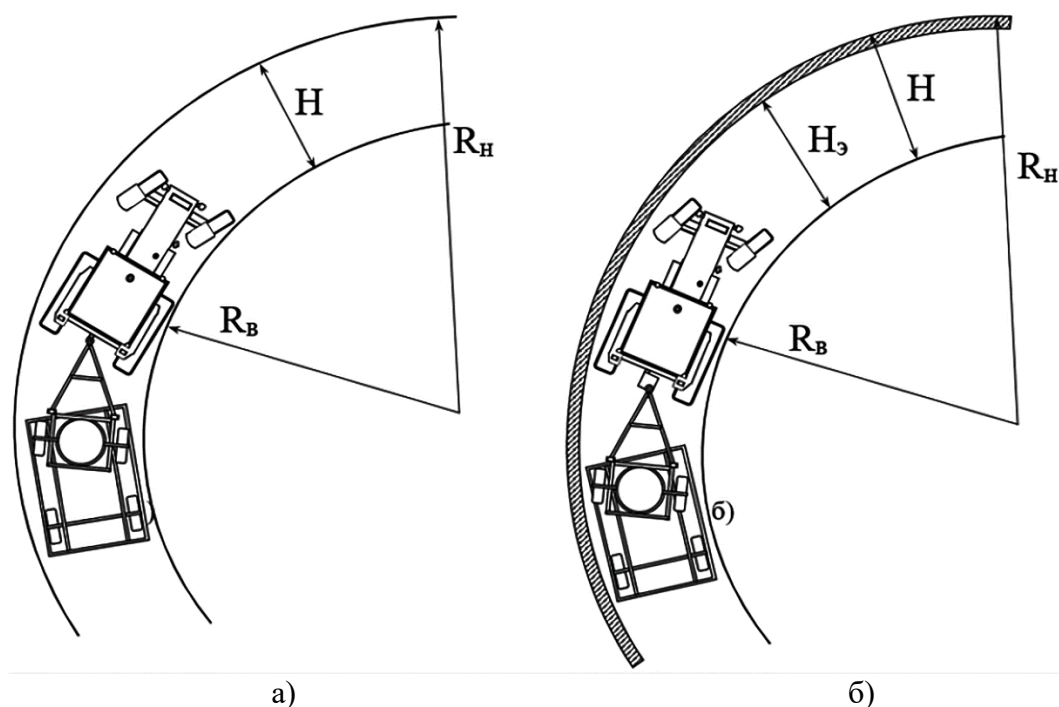
Рассмотрим влияние предлагаемого устройства на ширину транспортного коридора при движении ТТА с одним прицепом, используя схему перемещения ТСУ (рис. 2.29).



l – траектория движения ТСУ при работе устройства, м

Рисунок 2.29 – Принципиальная схема перемещения точки установки ТСУ догружающего устройства

Как видно из схемы на рисунке 2.29, точка установки ТСУ трактора перемещается по дуге l ; следовательно, происходит ее смещение, что изменяет параметры маневренности ТТА в повороте. Более наглядно данный процесс показан на рисунке 2.30.



R_n – наружный радиус поворота трактора, м; R_b – внутренний радиус поворота прицепа, м;
 H – ширина транспортного коридора серийного агрегата, м; H_z – ширина транспортного коридора экспериментального агрегата, м
 а) движение при отключенном работающем устройстве;
 б) движение при работающем устройстве

Рисунок 2.30 – Схема работы буксирно-распределяющего устройства при движении тракторно-транспортного агрегата

В общем случае ширина транспортного коридора, образуемого трактором и прицепом, находится по формуле (2.109):

$$H = R_n - R_b \quad (2.109)$$

Как видно из формулы (2.109), на ширину транспортного коридора большее влияние оказывает внутренний радиус поворота прицепа.

Проведем математическое обоснование работы предложенного устройства, используя методы дифференциального исчисления [116, 123] и схему на рисунке 2.31.

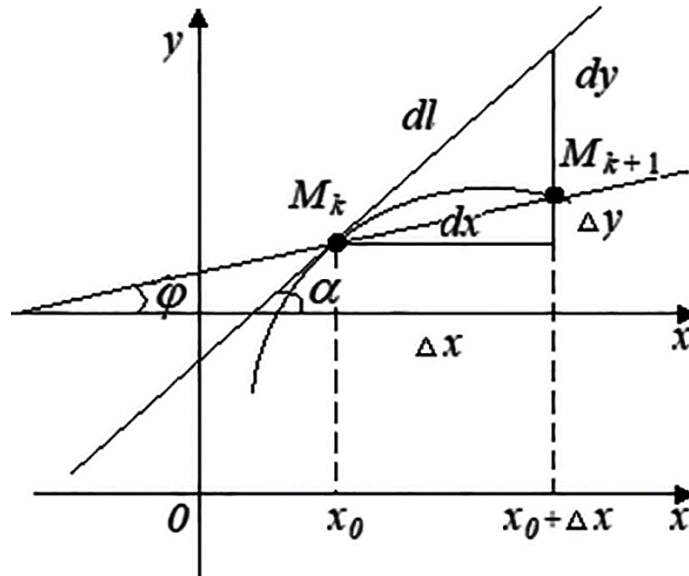


Рисунок 2.31 – Схема геометрического смысла производной

При выдвижении штока гидроцилиндра точка 3 движется по дуге окружности. Выберем в полярной системе координат на непрерывной дуге кривой, обозначающей траекторию движения ТСУ в работе, две точки: M_k и M_{k+1} . Проведем секущую и обозначим через φ угол ее наклона. При этом:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{l(x_0 + \Delta x) - l(x_0)}{\Delta x}$$

При $\Delta x \rightarrow 0$ в силу непрерывности функции, Δy также стремится к нулю; поэтому точка M_{k+1} неограниченно приближается по кривой к точке M_k , а секущая $M_k M_{k+1}$ переходит в касательную:

$$\varphi \rightarrow \alpha \Rightarrow \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \varphi = \alpha \Rightarrow \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \alpha$$

Исходя из определения производной, имеем: $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$.

Зная формулу дифференциала дуги (2.110) и формулы перехода из декартовой системы координат в полярную (2.111), определим длину дуги в полярной системе координат.

$$(dl)^2 = (dx)^2 + (dy)^2, \quad (2.110)$$

$$\begin{cases} x = \rho \cos \varphi \\ y = \rho \sin \varphi \end{cases} \rightarrow \begin{cases} dx = \cos \varphi d\rho - \rho \sin \varphi d\varphi \\ dy = \sin \varphi d\rho + \rho \cos \varphi d\varphi \end{cases} \quad (2.111)$$

Квадраты дифференциалов соответственно равны:

$$(dx)^2 = \cos^2 \varphi (d\rho)^2 - 2\rho \cos \varphi \sin \varphi d\rho d\varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi (d\varphi)^2,$$

$$(dy)^2 = \sin^2 \varphi (d\rho)^2 + 2\rho \cos \varphi \sin \varphi d\rho d\varphi + \rho^2 \cos^2 \varphi (d\varphi)^2$$

Тогда квадрат дифференциала дуги имеет вид:

$$(dl)^2 = \cos^2 \varphi (d\rho)^2 - 2\rho \cos \varphi \sin \varphi d\rho d\varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi (d\varphi)^2 + \\ + \sin^2 \varphi (d\rho)^2 + 2\rho \cos \varphi \sin \varphi d\rho d\varphi + \rho^2 \cos^2 \varphi (d\varphi)^2$$

$$\text{или } (dl)^2 = (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)(d\rho)^2 - 2\rho \cos \varphi \sin \varphi d\rho d\varphi + \\ + 2\rho \cos \varphi \sin \varphi d\rho d\varphi + \rho^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)(d\varphi)^2$$

В результате применения общеизвестных формул тригонометрии и алгебры получим:

$$(dl)^2 = (d\rho)^2 + \rho^2 (d\varphi)^2$$

Следовательно:

$$dl = \sqrt{(d\rho)^2 + \rho^2 (d\varphi)^2}$$

$$\text{или } dl = \sqrt{\rho^2 + \rho'^2} d\varphi$$

Уравнение окружности в полярных координатах принимает вид:

$$\rho = 2R \sin \varphi, \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2,$$

$$\rho' = 2R \cos \varphi$$

Тогда дифференциал дуги равен:

$$dl = \sqrt{4R^2 \sin^2 \varphi + 4R^2 \cos^2 \varphi} d\varphi,$$

$$dl = \sqrt{4R^2 (\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi)} d\varphi,$$

$$dl = 2R d\varphi$$

Таким образом, длина дуги в полярной системе координат находится по следующей формуле:

$$l = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} 2R d\varphi = 2R(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (2.112)$$

Исходя из схемы на рисунке 2.31, определим точку перемещения прицепа относительно трактора при $dx = dl \cos \alpha$, и, решив данное выражение, получаем длину дуги (2.113):

$$l = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} 2R d\varphi = 2R(\varphi_2 - \varphi_1) \cos \alpha \quad (2.113)$$

Более наглядно влияние радиуса поворота устройства на длину перемещения точки соединения прицепа с трактором (ТСУ) показано в виде графика на рисунке 2.32.

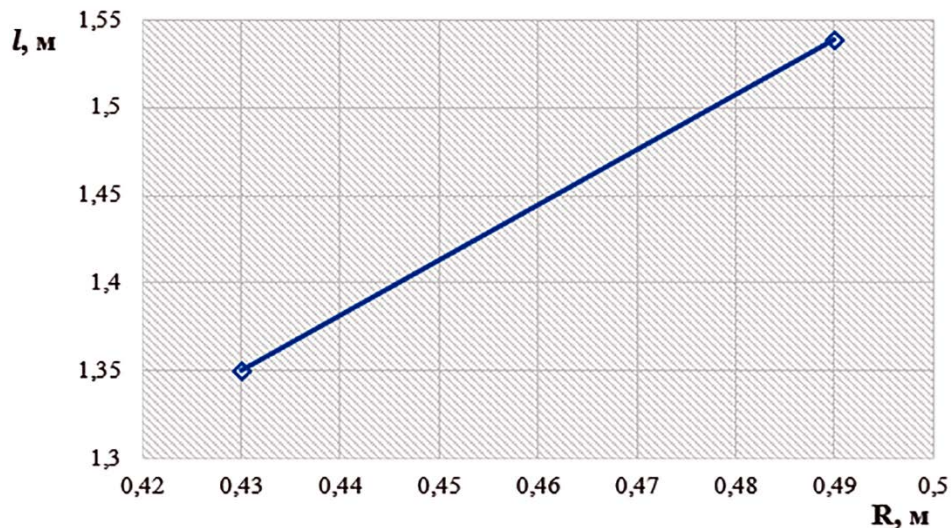


**Рисунок 2.32 – Зависимость длины перемещения ТСУ
с трактором от радиуса поворота устройства**

Анализируя полученные данные, можно отметить, что с увеличением радиуса поворота увеличивается и длина перемещения точки соединения прицепа с трактором (рис. 2.32).

Решая совместно уравнения (2.109) и (2.113), определим изменение ширины транспортного коридора:

$$H = R_H - (R_B + L_1) = R_H - (R_B + 2R(\varphi_2 - \varphi_1) \cos \alpha) \quad (2.114)$$

Полученная формула (2.114) показывает, что при работе устройства предложенной конструкции ширина коридора ТТА в повороте уменьшается, что можно наблюдать на рисунке 2.30.

2.8.2 Определение влияния буксирно-распределяющего устройства на ширину транспортного коридора многозвенного тракторно-транспортного агрегата

Как отмечалось ранее, эффективность использования тракторно-транспортных средств может быть достигнута за счет увеличения величины производительности. Таким образом, повысить производительность, а, следовательно, эффективность использования возможно за счет применения ТТА на транспортных работах в составе многозвенных тракторно-транспортных поездов (МТП), состоящих из агрегатируемого трактора и нескольких прицепных звеньев-прицепов. Основной проблемой в этом случае является соблюдение оптимальной ширины транспортных коридоров, в частности при выполнении поворотов и технологических разворотов.

Задачей проведенных исследований являлось снижение величины буксования и увеличение тягового усилия трактора в повороте, а также достижение возможности регулирования траектории движения и корректирования ширины транспортного коридора третьего звена (прицепа) при движении МТП при применении следящих буксирно-распределяющих устройств.

На основании работ [20, 27, 33], техническим решением поставленной задачи стала разработка и установка в тыльной части рамы третьего звена (прицепа) МТП буксирно-распределяющего устройства, которое способно регулировать положение тягово-сцепного (буксирного) устройства второго звена МТП (прицепа) в горизонтальной плоскости с одновременным перераспре-

делением сцепного веса между ходовыми системами трактора и агрегатируемых прицепов, а также корректирования ширины транспортного коридора второго прицепа. Принципиальная схема предлагаемого устройства и схема его работы представлены на рисунках 2.33 и 2.34.

Предлагаемое буксирно-распределяющее устройство состоит из следующих конструктивных элементов: 1 – разъемное тягово-сцепное устройство; 2 – крюковой фиксатор; 3 – подвижный ролик; 4 – гаечное соединение; 5 – паз; 6 – швеллерная балка; 7 – направляющие шкивы; 8 – натяжные блоки с пружинами; 9 – рама прицепа; 10 – установочный кронштейн; 11, 12 – силовая тросовая связь. При передвижении транспортного агрегата, состоящего из буксирующего колесного трактора и двух агрегатируемых звеньев (прицепов), по дорогам и грунтам, при повороте рулевого колеса оператором трактора, дышло первого прицепа начинает сдвигаться в сторону поворота дороги. При этом происходит перемещение поворотного круга и натяжение тросовой силовой связи 11 или 12 (в зависимости от осуществления стороны поворота).

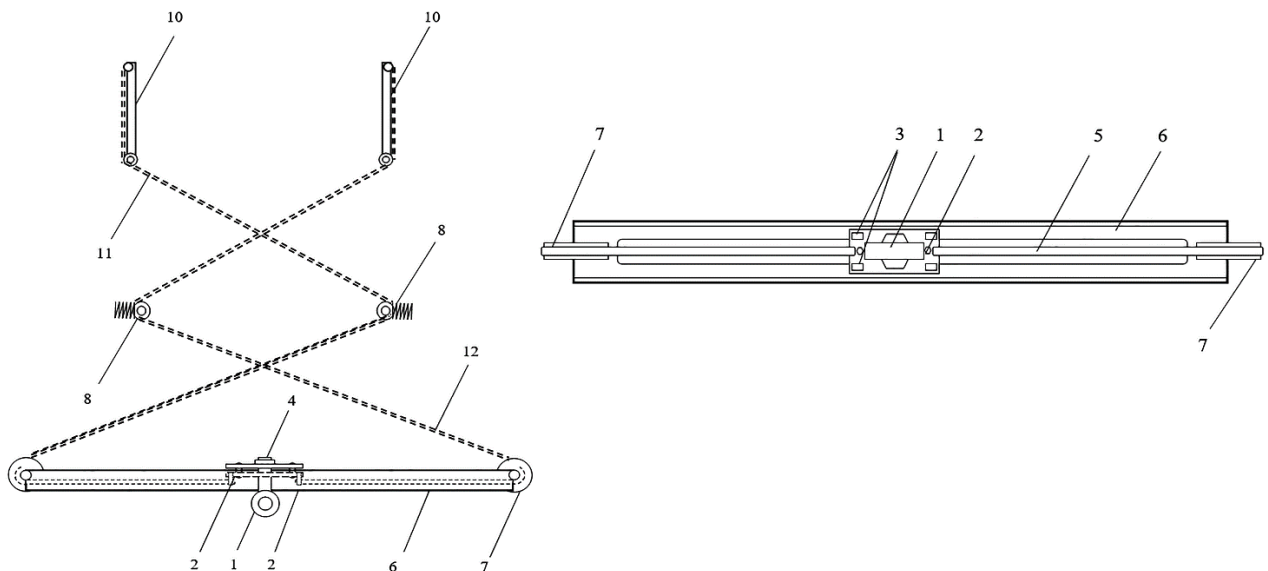


**Рисунок 2.33 – Принципиальная схема
буксирно-распределяющего устройства**

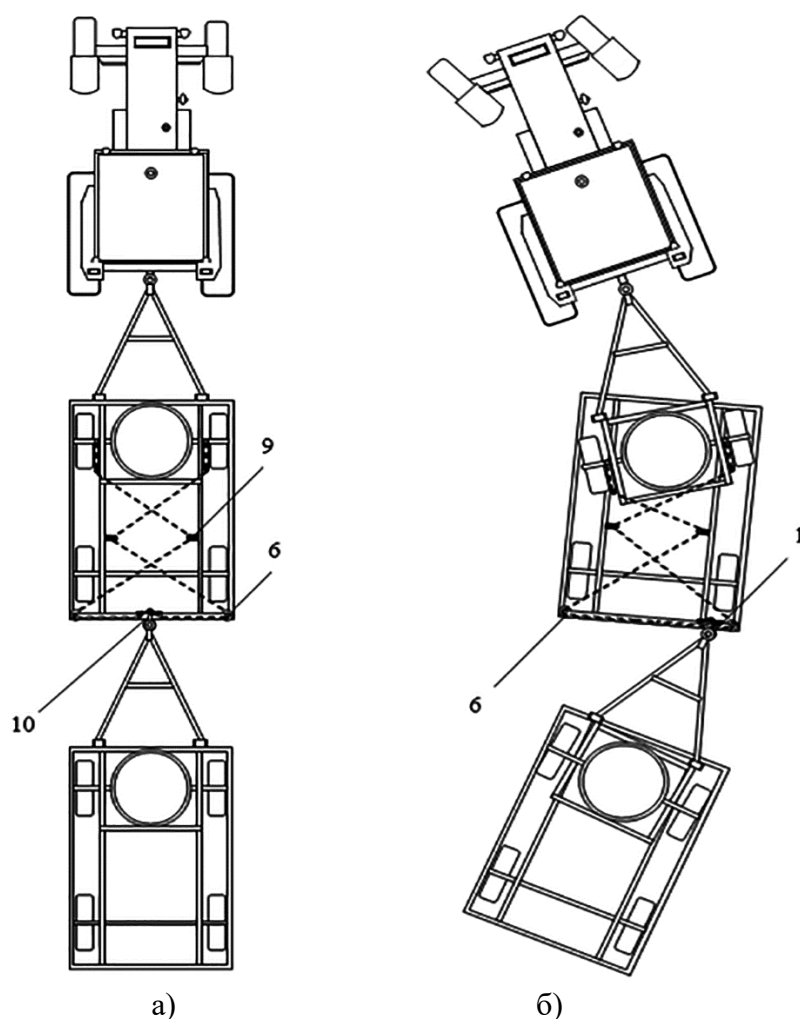


Рисунок 2.34 – Схема работы устройства при движении многозвенного тракторно-транспортного агрегата

Далее смещение троса производит силовое воздействие на крюковый фиксатор 2, натяжение и сдвигание тягово-сцепного устройства 1 в центральном продольном сквозном пазе 5 швеллерной балки 6 в сторону, противоположную повороту, на величину, равную углу поворота первого звена МТПП (прицепа).

Таким образом, за счет изменения точки соединения звеньев в повороте происходит стабилизация движения и корректирование ширины транспортного коридора второго звена (прицепа) при движении МТПП, перераспределение сцепного веса в ходовой системе и догрузка звеньев (трактора, прицепов),

что снижает буксование агрегируемого трактора за счет догрузки движителей и увеличивает его тяговое усилие.

Как видно из представленной схемы (рис. 2.33), величина перемещения тягово-сцепного устройства 1 напрямую зависит от перемещения установочных кронштейнов 10.

Проведем математическое обоснование работы устройства при условии, что: $L_{10} = L_1$, где L_{10} – длина перемещения кронштейна 10, м; L_1 – длина перемещения тягово-сцепного устройства 1, м.

Рассмотрим поворот тракторно-транспортного агрегата на примере поворота МТПП в правую сторону (рис. 2.35). При этом ТСУ первого прицепа сдвинется влево на соответствующее расстояние.

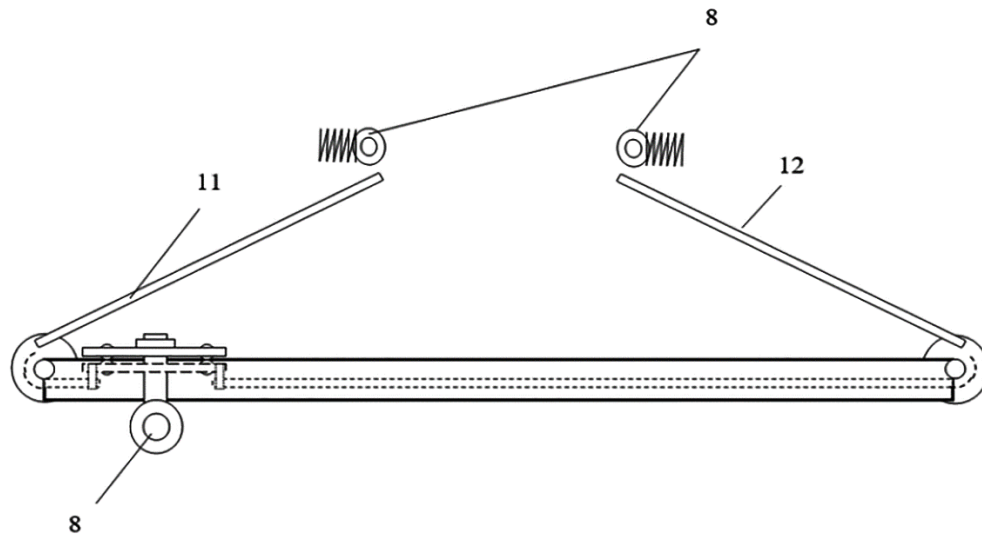


**Рисунок 2.35 – Схема поворота
тракторно-транспортного агрегата вправо**

Представим фрагмент перемещения кронштейна устройства с ТСУ в повороте, как проходящий по дуге окружности, используя схему на рисунке 2.36 и методы дифференциального исчисления [57, 116, 123].

Для вычисления дифференциала дуги воспользуемся уравнением кривой в параметрическом виде:

$$l(t) = \begin{cases} x = \varphi(t) \\ y = \psi(t), \end{cases} \quad a \leq t \leq b$$

При этом учтем, что:

- 1) функция $l(t)$ имеет на отрезке $[a; b]$ непрерывные производные;
- 2) длина дуги кривой ограничена точками $M(a)$ и $M(b)$.

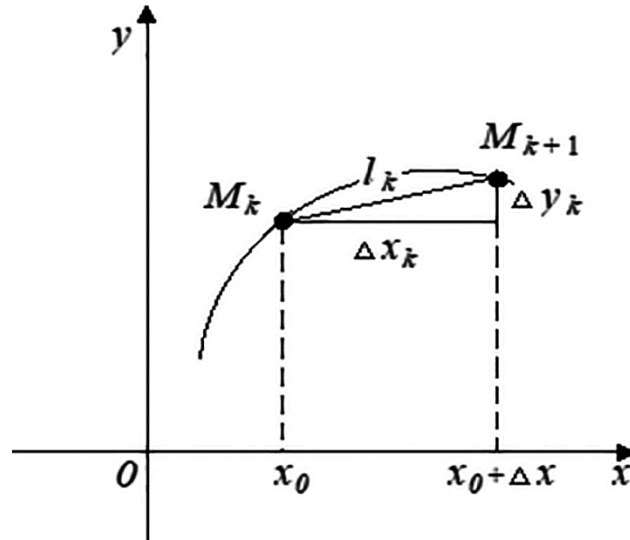


Рисунок 2.36 – Схема для определения длины перемещения ТСУ

Разобьем отрезок $[a; b]$ на части точками $a = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n = b$ и впишем в дугу ломанную. Рассмотрим звено ломанной $M_k M_{k+1}$; причем $M_k(\varphi(t_k); \psi(t_k))$, $M_{k+1}(\varphi(t_{k+1}); \psi(t_{k+1}))$ и длины частичных отрезков Δx_k и Δy_k соответственно равны (согласно схемы на рисунке 2.36):

$$\Delta x_k = \varphi(t_{k+1}) - \varphi(t_k), \quad (2.115)$$

$$\Delta y_k = \psi(t_{k+1}) - \psi(t_k) \quad (2.116)$$

Длина рассматриваемого звена $M_k M_{k+1}$ может быть найдена при использовании теоремы Пифагора (2.117):

$$l_k = |M_k M_{k+1}| = \sqrt{\Delta x_k^2 + \Delta y_k^2} \quad (2.117)$$

Решив совместно уравнения (2.115)–(2.117), получим:

$$l_k = \sqrt{(\varphi(t_{k+1}) - \varphi(t_k))^2 + (\psi(t_{k+1}) - \psi(t_k))^2} \quad (2.118)$$

По теореме Лагранжа находим ξ_k и ξ_k^* :

$$\varphi(t_{k+1}) - \varphi(t_k) = \varphi'(\xi_k)(t_{k+1} - t_k) = \varphi'(\xi_k)\Delta t_k, \quad (2.119)$$

$$\psi(t_{k+1}) - \psi(t_k) = \psi'(\xi_k^*)(t_{k+1} - t_k) = \psi'(\xi_k^*)\Delta t_k \quad (2.120)$$

Подставив найденные приращения в формулу (2.118), получим:

$$l_k = \sqrt{(\varphi'(\xi_k))^2 + (\psi'(\xi_k^*))^2} \Delta t_k \quad (2.121)$$

Тогда длина все ломанной выражается суммой Римана:

$$l_{\text{лом}} = \sum_{k=0}^{n-1} \sqrt{(\varphi'(\xi_k))^2 + (\psi'(\xi_k^*))^2} \Delta t_k \quad (2.122)$$

Так как по условию $l(t)$ имеет на отрезке $[a; b]$ непрерывные производные, то для $|\varphi'(t)|$ и $|\psi'(t)|$ существуют наибольшие и наименьшие значения:

$$\max_{a \leq t \leq b} |\varphi'(t)| = N; \quad \max_{a \leq t \leq b} |\psi'(t)| = P, \quad (2.123)$$

$$\min_{a \leq t \leq b} |\varphi'(t)| = \mu; \quad \min_{a \leq t \leq b} |\psi'(t)| = \tau, \quad (2.124)$$

$$\text{следовательно, } |\varphi'(\xi_k)| \leq N; \quad |\psi'(\xi_k^*)| \leq P, \quad (2.125)$$

$$|\varphi'(\xi_k)| \geq \mu; \quad |\psi'(\xi_k^*)| \geq \tau \quad (2.126)$$

Таким образом, в силу предыдущего равенства (2.122) с учетом наибольших и наименьших значений имеем выражения для длины всей ломанной:

$$l_{\text{лом}} \leq \sum_{k=0}^{n-1} \sqrt{N^2 + P^2} \Delta t_k = \sqrt{N^2 + P^2} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta t_k, \quad (2.127)$$

$$l_{\text{лом}} \geq \sum_{k=0}^{n-1} \sqrt{\mu^2 + \tau^2} \Delta t_k = \sqrt{\mu^2 + \tau^2} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta t_k \quad (2.128)$$

Поскольку $\sum_{k=0}^{n-1} \Delta t_k = b - a$ и $l_{\text{дуги}} \geq l_{\text{лом}}$, то неравенства (2.127), (2.128) можно записать в следующем виде:

$$l_{\text{лом}} \leq \sqrt{N^2 + P^2} \cdot (b - a), \quad (2.129)$$

$$l_{\text{лом}} \geq \sqrt{\mu^2 + \tau^2} \cdot (b - a) \quad (2.130)$$

Возьмем произвольное $t \in [a; b]$ и дадим t приращение Δt , полагая, что Δt сколь угодно малое положительное число, то есть $\Delta t > 0$. Соответственно, функция также получает приращение $\Delta l = l(t + \Delta t) - l(t)$, равное длине дуги кривой, ограниченной точками $M(t)$ и $M(t + \Delta t)$.

В силу неравенств (2.129), (2.130), имеем:

$$\sqrt{\mu^2 + \tau^2} \Delta t \leq \Delta l \leq \sqrt{N^2 + P^2} \Delta t \quad (2.131)$$

Разделив обе части неравенства (2.131) на Δt получим:

$$\sqrt{\mu^2 + \tau^2} \leq \frac{\Delta l}{\Delta t} \leq \sqrt{N^2 + P^2} \quad (2.132)$$

Перейдем к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$. В силу непрерывности функций $\varphi'(t)$ и $\psi'(t)$ в точке t имеем:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \mu = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} N = \varphi'(t), \quad (2.133)$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} P = \psi'(t) \quad (2.134)$$

Используя определения производной и дифференциала функции, получим выражения (2.135) и (2.136):

$$l'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t} = \sqrt{(\varphi'(t))^2 + (\psi'(t))^2}, \quad (2.135)$$

$$dl = l'(t)dt = \sqrt{(\varphi'(t))^2 + (\psi'(t))^2} dt \quad (2.136)$$

Учитывая способ задания функции $l(t) = \begin{cases} x = \varphi(t) \\ y = \psi(t), \end{cases}$ соответственно

$\begin{cases} dx = \varphi'(t)dt \\ dy = \psi'(t)dt, \end{cases}$ формулу (2.136) можно переписать в следующем виде:

$$dl = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \quad (2.137)$$

где dl – дифференциал дуги кривой.

Исходя из геометрического смысла дифференциала дуги кривой, показанного на рисунке 2.37, и формул (2.135), (2.137), можно утверждать:

$$l_{\text{дуги}} = l(b) - l(a) = \int_a^b \sqrt{(\varphi'(t))^2 + (\psi'(t))^2} dt \quad (2.138)$$

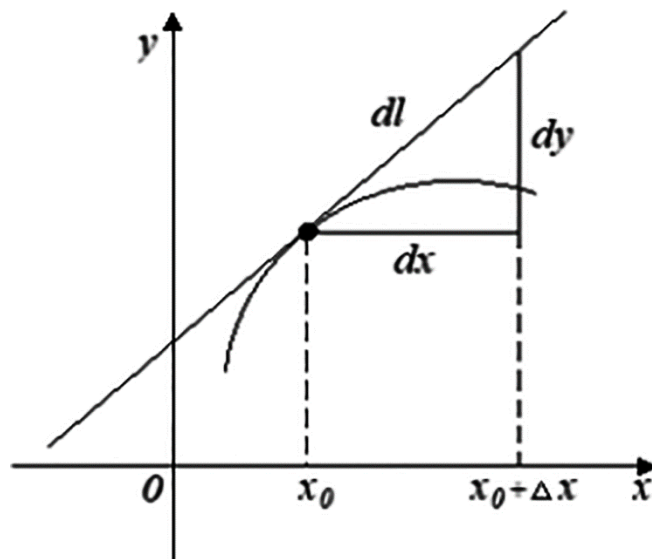


Рисунок 2.37 – Схема к определению дифференциала дуги

Для нахождения длины дуги перемещения, согласно формуле (2.138), воспользуемся параметрическими уравнениями окружности:

$$\begin{cases} x = R \cos t \\ y = R \sin t, \end{cases} \quad a \leq t \leq b \quad (2.139)$$

Пределы интегрирования определим с учетом уравнения (2.139):

$$\begin{array}{l} a = R \cos t \\ \cos t = \frac{a}{R} \\ t_1 = \arccos \frac{a}{R} \end{array} \quad / \quad \begin{array}{l} b = R \cos t \\ \cos t = \frac{b}{R} \\ t_2 = \arccos \frac{b}{R} \end{array}$$

Следовательно, при $a \leq t \leq b$:

$$\arccos \frac{a}{R} \leq t \leq \arccos \frac{b}{R} \quad (2.140)$$

Дифференцируя уравнение (2.139) и применяя формулу (2.138), а также с учетом изменения t (2.140), получим:

$$l = \int_{\arccos \frac{a}{R}}^{\arccos \frac{b}{R}} (-R)^2 \cos^2 t + R^2 \sin^2 t \, dt \quad (2.141)$$

В формуле (2.141) проведем преобразования подынтегральной функции (вынесем общий множитель под знаком корня), а затем применим основное тригонометрическое тождество и определение арифметического корня:

$$l = \int_{\arccos \frac{b}{R}}^{\arccos \frac{b}{R}} R \, dt = R t \Big|_{\arccos \frac{b}{R}}^{\arccos \frac{b}{R}} \quad (2.142)$$

Вычисляя определенный интеграл с применением формулы Ньютона-Лейбница, формулу (2.142) записываем в следующем виде:

$$l = R \left(\arccos \frac{b}{R} - \arccos \frac{a}{R} \right) \quad (2.143)$$

Согласно разности обратно тригонометрических функций, получим:

$$l = R \arccos \left[\frac{ab}{R^2} + \sqrt{\left(1 - \left(\frac{b}{R}\right)^2\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2\right)} \right] \quad (2.144)$$

Проведя алгебраические преобразования аргумента обратно тригонометрической функции, получим итоговую формулу для определения длины перемещения кронштейна ТСУ:

$$l = R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2} \quad (2.145)$$

С учетом ранее приведенного уравнения (2.115), получим:

$$L_{10} = L_1 = R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2} \quad (2.146)$$

Зависимость длины перемещения точки соединения второго прицепа с первым представлена на рисунке 2.38.

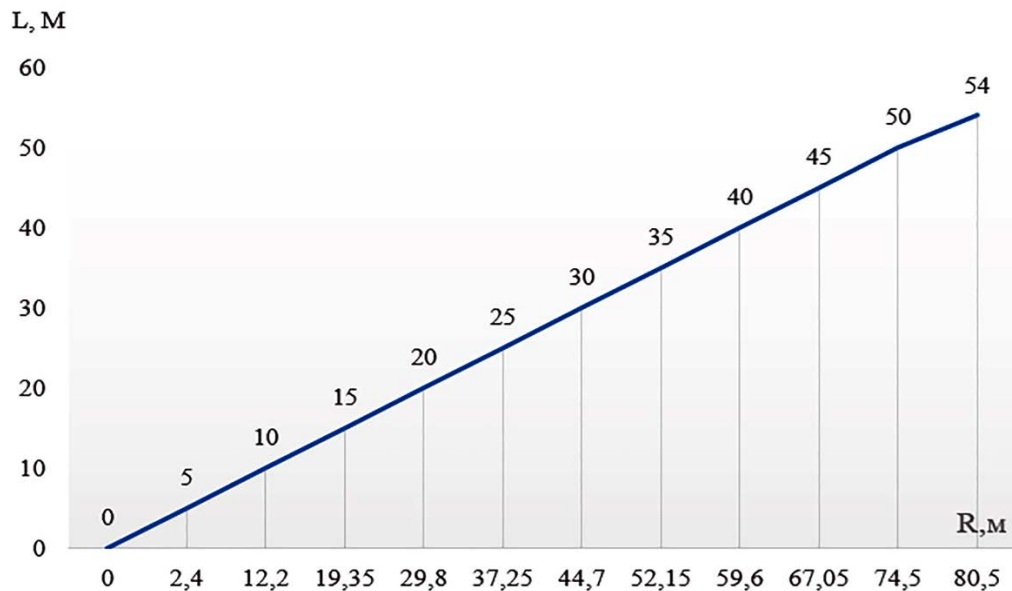


**Рисунок 2.38 – Зависимость длины перемещения ТСУ
от радиуса поворота дышла первого прицепа**

Приведенный график показывает, что между длиной перемещения тягово-сцепного устройства и радиусом поворота прицепа существует прямо пропорциональная зависимость.

В целях комплексного исследования технологических характеристик буксирно-распределяющего устройства рассмотрим параметры маневренности МТПП, приблизительная траектория движения которого может быть представлена схемой на рисунке 2.39. Данная схема показывает, что ширина транспортного коридора, образуемая вторым прицепом, составит:

$$H = R_{\text{н}} - R_{\text{в}} \quad (2.147)$$

где $R_{\text{н}}$ – наружный радиус поворота МТПП, м;

$R_{\text{в}}$ – внутренний радиус поворота МТПП, м.

Анализ формулы (2.147) и рисунка 2.39 показывает, что снизить ширину транспортного коридора возможно за счет увеличения внутреннего радиуса поворота смещением точки прицепа.

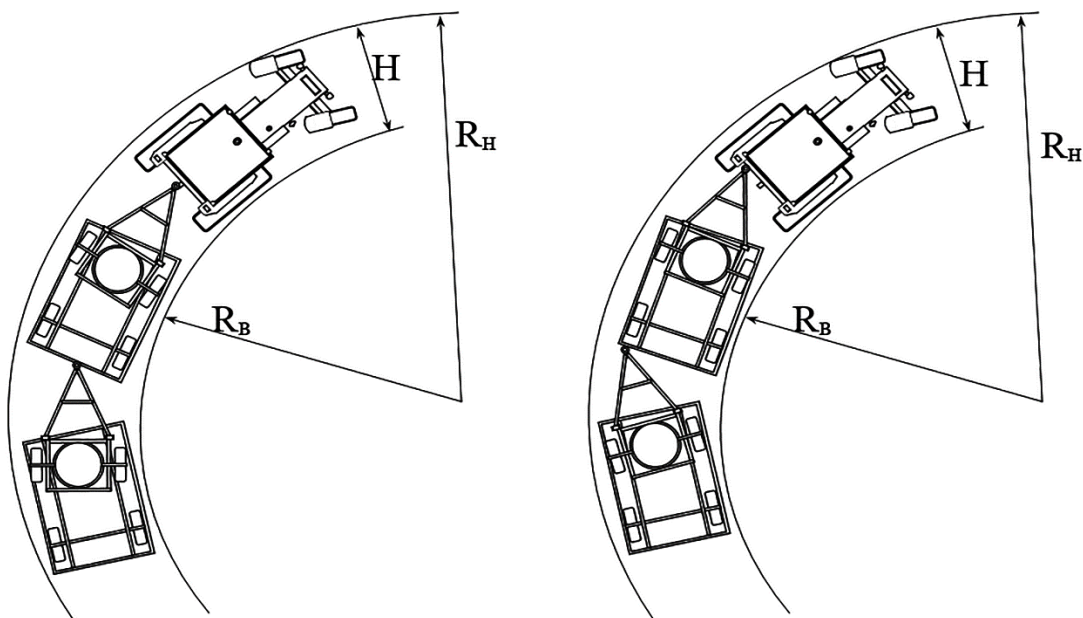


Рисунок 2.39 – Схема поворота МТПП, состоящего из двух прицепов

Таким образом, правомочно утверждать, что ширина транспортного коридора на основании формул (2.146) и (2.147) будет равна:

$$\begin{aligned}
 H &= R_H - (R_B + L_1) = \\
 &= R_H - (R_B + R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2})
 \end{aligned}
 \quad (2.148)$$

Вышеизложенное теоретическое обоснование позволяет заключить, что использование буксирно-распределяющего устройства многозвенного тракторно-транспортного агрегата, выполненного по патенту Российской Федерации № 2739635, позволяет оптимизировать ширину транспортного коридора.

2.9 Исследования производительности тракторно-транспортного агрегата с корректирующими устройствами

2.9.1 Производительность тракторно-транспортного агрегата с догружающе-корректирующим устройством

Для определения производительности воспользуемся формулой (2.149), которая справедлива при использовании ТТА с одним прицепом [20, 27, 33]:

$$W = \left(\frac{\mu \cdot j}{L - V_T(1 - \delta)\mu t} \right) m_{\text{прс}} V_p \quad (2.149)$$

где μ – коэффициент использования пробега;

j – коэффициент использования грузоподъемности;

L – длина ездки, км;

δ – коэффициент буксования;

t – время простоя тракторного поезда при проведении погрузочно-разгрузочных операций, ч;

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

V_p – рабочая скорость движения, км/ч.

Проанализируем траекторию движения тракторно-транспортного агрегата при выполнении транспортных работ. В общем случае длина пути L (км), проходимого за одну ездку ТТА, складывается из следующих показателей:

- 1) длина пути, пройденная по прямой траектории движения (L_1);
- 2) длина пути, пройденная на поворотах (L_2);
- 3) длина пути, пройденная при проведении вспомогательных операций, связанных с выполнением транспортной задачи (L_3).

Таким образом, получаем:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (2.150)$$

В формуле (2.150) при проведении транспортных работ на длину ездки оказывает влияние длина пути, пройденная на поворотах (L_2).

Как известно, основным фактором, влияющим на траекторию движения в поворотах, является ширина транспортного коридора. Для ее выполнения с целью обеспечения безопасности движения ТТА приходится увеличивать радиус поворота, чтобы прицеп закончил процесс поворота и не выехал за пределы ширины проезжей части. Траектория движения ТТА, состоящего из энергетического средства и прицепа, представлена на рисунке 2.30. Таким образом, ТТА приходится двигаться не оптимальному радиусу поворота, а по радиусу, обеспечивающему безопасность движения агрегата:

$$R = R_{min} + H_k \quad (2.151)$$

где R_{min} – внутренний радиус поворота прицепа, м;

H_k – ширина транспортного коридора, м.

Анализируя формулу (2.151), необходимо отметить, что для снижения радиуса поворота, по которому движется энергетическое средство, следует уменьшать ширину транспортного коридора. Достичь поставленной задачи возможно за счет использования устройств, позволяющих регулировать ширину транспортного коридора путем смещения точки соединения энергетического средства и прицепа. В результате ранее проведенных исследований была получена зависимость, позволяющая определить ширину транспортного коридора при использовании устройства, корректирующего точку соединения энергетического средства и прицепа (тягово-цепное устройство):

$$R = R_{min} + (H_k - 2R(\varphi_2 - \varphi_1)\cos\alpha) \quad (2.152)$$

Формула (2.152) показывает, что с уменьшением ширины транспортного коридора радиус поворота также уменьшается. Вместе с тем анализом формулы (2.149) установлено, что на производительность ТТА большое влияние оказывает длина ездки (L), в частности длина пути, затраченная на преодоление поворотов (L_2).

Таким образом, длина пути, затраченная на преодоление поворотов, рассчитывается для серийного ТТА по формуле (2.153), для экспериментального ТТА с догружающе-корректирующим устройством – по формуле (2.154):

$$L_2 = 2\pi(R_{min} + H_k), \quad (2.153)$$

$$L_2 = 2\pi(H_k - 2R(\varphi_2 - \varphi_1)\cos\alpha) \quad (2.154)$$

В формуле (2.150) величину L_3 можно не учитывать, так как она будет одинакова как для серийного, так и для экспериментального ТТА. Таким образом, общая длина пути, проходимая ТТА на поворотах, для серийного ТТА определяется по формуле (2.155), для экспериментального ТТА с устройством – по формуле (2.156):

$$L = L_1 + L_2 = L_1 + 2\pi(R_{min} + H_k), \quad (2.155)$$

$$L = L_1 + L_2 = L_1 + 2\pi(H_k - 2R(\varphi_2 - \varphi_1)\cos\alpha) \quad (2.156)$$

Анализируя формулы (2.155) и (2.156), можно отметить, что за счет использования предлагаемого устройства общая длина пути, проходимая ТТА при выполнении транспортных работ, будет меньше.

С учетом изложенного, величина производительности составит:

1) для серийного ТТА:

$$W = \left(\frac{\mu \cdot j}{L_1 + 2\pi(R_{min} + H_k) - V_T(1 - \delta)\mu t} \right) m_{прс} V_p \quad (2.157)$$

2) для экспериментального ТТА с догружающе-корректирующим устройством:

$$W_3 = \left(\frac{\mu \cdot j}{2\pi(H_k - 2R(\varphi_2 - \varphi_1)\cos\alpha) - V_T(1 - \delta)\mu t} \right) m_{прс} V_p \quad (2.158)$$

Таким образом, сравнивая между собой полученные уравнения производительности серийного ТТА (2.157) и экспериментального ТТА с догружающе-корректирующим устройством (2.158), можно отметить, что установка

устройства для корректировки ширины транспортного коридора позволяет повысить производительность ТТА за счет снижения длины пути, затраченного на повороты.

2.9.2 Производительность тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством для многозвенного транспортного агрегата

В целях проведения теоретического расчета показателей производительности рассмотрим траекторию движения многозвенного МТП, состоящего из энергетического средства и двух прицепов, для чего изучим составляющие радиуса поворота. Величина радиуса поворота определяется формулой (2.151), где R_{min} – внутренний радиус поворота второго прицепа.

Формула (2.151) показывает, что для снижения радиуса поворота, по которому движется энергетическое средство, необходимо уменьшать ширину транспортного коридора, образуемого вторым прицепом. Решить поставленную задачу возможно за счет использования устройства, позволяющего регулировать ширину транспортного коридора на основе смещения точки соединения первого и второго прицепов (ТСУ). В результате проведенных исследований, нами получена зависимость, позволяющая определить ширину транспортного коридора при использовании буксирно-распределяющего устройства для многозвенного транспортного агрегата, установленного между первым и вторым прицепом:

$$\begin{aligned} H &= R_H - (R_B + L_1) = \\ &= R_H - \left(R_B + R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2} \right) \end{aligned} \quad (2.159)$$

Анализ формулы (2.159) показывает, что с уменьшением ширины транспортного коридора радиус поворота также уменьшается.

Решая совместно уравнения (2.151) и (2.159), определим длину пути на преодоление поворотов, которая для серийного ТТА рассчитывается по формуле (2.160), для экспериментального ТТА с буксирно-распределяющим устройством – по формуле (2.161):

$$L_2 = 2\pi(R_{min} + H_k), \quad (2.160)$$

$$L_2 = 2\pi \left(R_{min} - \left(R_b + R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2} \right) \right) \quad (2.161)$$

Таким образом, общая длина пути, проходимая ТТА на поворотах, устанавливается для серийного ТТА по формуле (2.162), для экспериментального ТТА – по формуле (2.163):

$$L = L_1 + L_2 = L_1 + 2\pi(R_{min} + H_k), \quad (2.162)$$

$$\begin{aligned} L &= L_1 + L_2 = \\ &= L_1 + 2\pi \left(R_{min} - \left(R_b + R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2} \right) \right) \end{aligned} \quad (2.163)$$

Анализируя формулы (2.162) и (2.163), можно отметить, что за счет использования предлагаемого устройства общая длина пути, проходимая ТТА при выполнении транспортных работ, будет меньше.

Таким образом, величина производительности будет равна:

1) для серийного ТТА:

$$W = \left(\frac{\mu \cdot j}{L_1 + 2\pi(R_{min} + H_k) - V_T(1 - \delta)\mu t} \right) m_{прс} V_p \quad (2.164)$$

2) для экспериментального ТТА с буксирно-распределяющим устройством:

$$W_э = \left(\frac{\mu \cdot j}{L_1 + 2\pi(R_{min} - R_b + V_T(1 - \delta)\mu t)} \right) m_{прс} V_p \quad (2.165)$$

Сравнивая между собой производительность серийного ТТА (2.164) и производительность экспериментального ТТА с буксирно-распределяющим

устройством (2.165), можно отметить, что установка устройства для корректировки ширины транспортного коридора позволяет повысить производительность ТТА за счет снижения длины пути, затраченного на повороты агрегата в процессе выполнения транспортной задачи.

2.9.3 Теоретические исследования по расчету показателей производительности экспериментального агрегата с буксирно-распределяющим устройством

Как известно, производительность любого транспортного средства преимущественно зависит от трех основных показателей:

- 1) количество перевозимого груза;
- 2) пройденный путь;
- 3) время работы агрегата.

При этом необходимо отметить, что данные показатели зависят от ряда факторов, которые сложно соблюсти в производственной деятельности и добиться их постоянных величин. Так, на количество перевозимого груза напрямую влияет коэффициент использования грузоподъемности; на пройденный путь – коэффициент использования пробега, а на время работы – коэффициент использования времени смены.

В нашем случае при сравнении работы ТТА первые два показателя условно должны быть одинаковыми, так как иначе мы не получим адекватных условий эксплуатации. В этой связи проанализируем более подробно последний показатель, а именно время нахождения в пути, которое предлагается определить по формуле (2.166):

$$t_{\text{обс}} = \frac{L_{rc}}{\varphi \cdot V_{\text{срт}}} + t_{\text{пр}} \quad (2.166)$$

где L_{rc} – путь, пройденный транспортным средством с грузом, км;

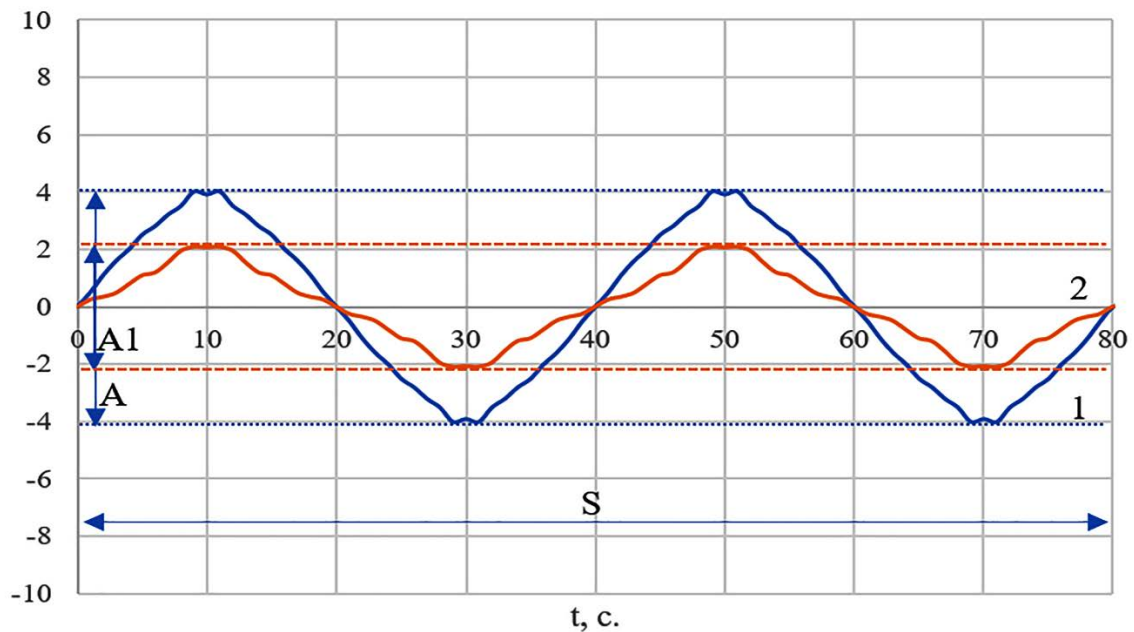
φ – коэффициент использования пробега;

$V_{\text{срт}}$ – средняя техническая скорость транспортного средства, км/ч;

$t_{\text{пр}}$ – время простоя транспортного средства под загрузкой и разгрузкой, ч.

Анализируя более подробно формулу (2.166), можно отметить, что основным показателем, который влияет на время нахождения в пути при прочих равных условиях, является пройденный путь.

Для лучшего анализа эффективности работы ТТА воспользуемся ранее полученными формулами. С учетом того, что при работе ТТА характер движения носит волнообразный характер (рис. 2.40), проанализируем полученные показатели с точки зрения численного значения через коэффициент улучшения стабилизации движения по формуле (2.167).



1 – Серийный ТТА

2 – Экспериментальный ТТА

A – Отклонение серийного ТТА

A1 – Отклонение экспериментального ТТА

Рисунок 2.40 – Условная траектория пути ТТА

$$K_{\text{у.с.}} = \frac{K_{\text{обс}}}{K_{\text{обэ}}} = \frac{L_{\text{тсс}}}{L_{\text{тсэ}}} = \frac{t_{\text{обс}}}{t_{\text{обэ}}} \quad (2.167)$$

где $L_{\text{тсс}}$, $L_{\text{тсэ}}$ – соответственно пройденный путь серийным и экспериментальным ТТА;

$t_{обс}$, $t_{обэ}$ – соответственно время нахождения в пути серийного и экспериментального ТТА.

Рисунок 2.40 показывает, что в нашем случае пройденный путь серийного и экспериментального ТТА будет различный, а, следовательно, и время выполнения работы будет разное.

Иными словами, выполняются условия (2.168) и (2.169):

$$L_{тсс} > L_{тсэ}, \quad (2.168)$$

$$t_{обс} > t_{обэ} \quad (2.169)$$

Анализируя выражение (2.169), необходимо отметить, что в данной связи время на выполнение работы экспериментальным ТТА будет меньше при одном и том же объеме перевозимого груза. Следовательно, будет иметь место следующее условие (2.170):

$$W_э > W_c \quad (2.170)$$

где $W_э$, W_c – соответственно производительность экспериментального и серийного ТТА.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование предлагаемого технического решения позволит повысить эффективность работы ТТА за счет стабилизации движения при выполнении транспортных работ. Для подтверждения приводимых неравенств необходимо проведение экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации.

Выводы

Проведенные в данном разделе теоретические исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Использование догружающих устройств предлагаемой конструкции обеспечивает возможности для повышения тягово-сцепных свойств трактора.

2. Изменение положения ТСУ трактора при помощи буксирно-догружающего устройства предлагаемой конструкции способствует корректированию ширины транспортного коридора первого прицепа.

3. Использование буксирно-распределяющего устройства способствует изменению горизонтального положения ТСУ первого прицепа и оптимизации ширины транспортного коридора второго прицепа в движении.

4. Применение предлагаемого буксирно-распределяющего устройства (патент РФ № 2753047) стабилизирует продольную, курсовую и траекторную устойчивость ТТА; улучшает свойства колесного энергетического средства против опрокидывания при проявлении эффекта галопирования.

5. Внедрение разработанных устройств позволяет повысить производительность тракторно-транспортного агрегата при выполнении операций по обеспечению перевозок в агропромышленном комплексе.

6. Учитывая промышленную значимость определяемых параметров, необходим подбор высокоэффективных приборно-лабораторных средств исследования эксплуатационно-технологических характеристик конструкции устройства согласно предложенного математического аппарата.

7. В целях подтверждения полученных зависимостей требуется изготовление экспериментальных устройств, их производственное внедрение в технологию сельскохозяйственных перевозок и опытная проверка получаемых данных при проведении эксплуатационных испытаний.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ АПК

3.1 Результаты экспериментальных исследований по определению устойчивости звеньев агрегата при передвижении ТТА по сельскохозяйственным дорогам и дорогам общего пользования

Одной из особенностей при передвижении транспортных агрегатов по дорогам, имеющим значительные показатели крутизны продольного уклона поверхности движения, в частности при движении на спуск, является воздействие прицепа на прямолинейность движения трактора. Особенно это воздействие усиливается при движении по поверхности, имеющей недостаточную несущую способность, при наличии снежного покрова или гололеда. В этом случае при движении на спуск наблюдается неустановившееся воздействие прицепа на прицепное устройство и ходовую систему трактора.

Причем прицеп, вследствие влияния неровностей поверхности движения, что особенно значительно наблюдается на грунтовых дорогах, совершает хаотичное движение относительно точки соединения его с трактором. В результате такого воздействия, при наличии недостаточного сцепления с почвой возникает дополнительный силовой момент, который стремится развернуть энергетическое средство или вокруг задних, или вокруг передних управляемых колес в зависимости от того, какие из колес находятся в худшем состоянии по сцеплению с поверхностью. Для устранения описанного воздействия водителю приходится устранять так называемый занос путем немедленного реагирования за счет снижения скорости и плавного доворота передних направляющих колес в ту или иную сторону.

В условиях постоянного использования ТТА в рассматриваемых условиях возникает проблема безопасности движения, которую, как показали проведенные ранее исследования, возможно решить на основе автоматического устранения обозначенного выше эффекта путем стабилизации прямолинейного движения, что достижимо при установке буксирно-распределяющего устройства (патент РФ № 2753047), реализующего способ автоматической корректировки прямолинейного движения.

При проведении исследований с целью определения параметров стабилизации прямолинейного движения были проведены замеры. Для фиксации параметров амплитудных отклонений использовался заранее откалиброванный электронный цифровой инклинометр BWT901CL.

Прибором (обозначен красным кругом) проводились считывания параметров по отклонению от прямолинейного движения переднего моста, заднего моста трактора и самого прицепа согласно показаниям изменения положения дышла (рис. 3.1, 3.2, 3.3) на серийном и экспериментальном образце тракторов и их сличение в общем графическом поле.



серийный трактор

экспериментальный трактор

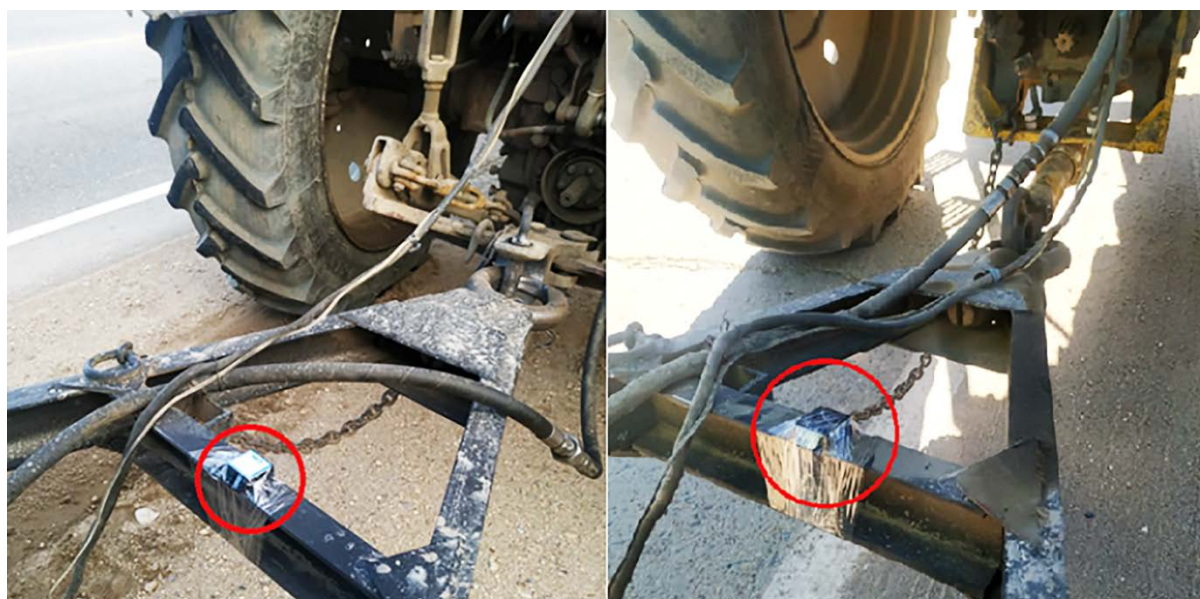
**Рисунок 3.1 – Фрагмент проведения исследований по отклонению
от прямолинейного движения переднего моста трактора**



серийный трактор

экспериментальный трактор

Рисунок 3.2 – Фрагмент проведения исследований по отклонению от прямолинейного движения заднего моста трактора



серийный трактор

экспериментальный трактор

Рисунок 3.3 – Фрагмент проведения исследований по отклонению от прямолинейного движения узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа»

Экспериментальные исследования проведены на базе тракторно-транспортного агрегата, состоящего из трактора класса 1,4 с прицепом 2ПТС-4. При

этом замеры проводились в состояниях: серийный ТТА с незагруженным прицепом; экспериментальный ТТА с незагруженным прицепом; серийный ТТА с загруженным прицепом (семена сои массой 3,8 т); экспериментальный ТТА с загруженным прицепом (семена сои массой 3,8 т).

Исследования выполнялись в реальных условиях эксплуатации как на грунтовых дорогах, так и на дорогах с улучшенным покрытием, с повторностью снятия показателей на экспериментальном маршруте не менее 5 раз.

Матрица данных эксперимента для визуализации показателей ТТА в условиях передвижения по дороге с усовершенствованным покрытием в режиме равномерного прямолинейного движения показана в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Матрица данных эксперимента ТТА

Без устройства, без груза								
передняя ось			задняя ось			ТСУ		
x	y	z	x	y	z	x	y	z
0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1,4462	1,6554	-1,0678	0,8188	0,099	-1,8782	1,10	0,309	0,6174
-1,4762	0,6554	0,5422	0,9988	-0,111	-0,9582	2,37	3,389	5,0374
-0,9162	-0,6946	1,2322	0,7488	-0,081	0,2218	3,86	1,779	3,4474
-1,5062	-0,4946	0,4722	0,5488	-0,591	0,6918	1,22	3,029	3,3374
-2,4562	1,1854	-0,5078	0,8788	-0,461	0,6118	0,57	0,539	0,2974
-1,3362	1,3254	-0,5178	0,6288	-0,501	-0,3282	1,08	-1,271	-1,2526
-0,9062	0,8254	-0,9878	0,9588	-0,521	-0,2282	1,37	-2,071	-2,0526
-0,1562	1,2954	-1,2078	1,2988	-0,491	0,0318	0,69	-2,781	-2,5226
0,9838	1,5954	-0,6878	1,2788	-0,721	0,3218	0,29	-2,781	-2,8626
1,3138	0,6754	0,2522	1,1188	-1,111	-0,1282	-1,55	-0,171	-0,7726
0,4538	1,0954	0,6422	0,4188	-0,981	-0,4582	-0,73	4,649	5,4374
0,0138	-0,2146	0,2422	0,7388	-0,661	-0,0982	-0,21	7,519	9,0574
0,3238	-0,7046	0,6222	0,8788	-1,281	0,2818	0,63	5,659	6,9074
0,4738	-0,6846	0,7122	0,9588	-0,861	-0,1182	0,93	0,449	1,0774
0,1938	-0,2946	0,5322	0,4688	-0,011	-1,0982	0,75	-2,221	-1,4226
-0,0062	-0,2346	0,4122	0,5688	-0,001	-1,0582	-0,20	-1,131	-0,6326
-0,2362	1,0054	0,1422	0,4688	-0,431	-0,4082	0,45	-0,561	-0,1226
-1,0162	2,0154	-0,9678	0,0588	-0,101	-0,7682	-1,38	5,299	5,2774
-1,5862	2,4254	-2,2478	-0,8912	0,859	-1,1282	-0,35	2,119	1,7774

В результате проведенных исследований по определению отклонения от прямолинейного движения тракторно-транспортного агрегата получены результаты, представленные в виде сравнительных графиков.

3.1.1 Результаты экспериментальных исследований

по определению колебаний переднего управляемого моста при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием

Как известно, передний управляемый мост является наиболее ответственным звеном трактора, отвечающим как за маневренные показатели, так и за безопасность движения агрегата. В этой связи эксперименты были проведены в основных условиях движения: при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием в целях фиксации показателей стабилизации колебаний переднего управляемого моста.

Для переднего моста ТТА при движении по дороге с усовершенствованным покрытием получены показатели, представленные на рисунках 3.4–3.6.

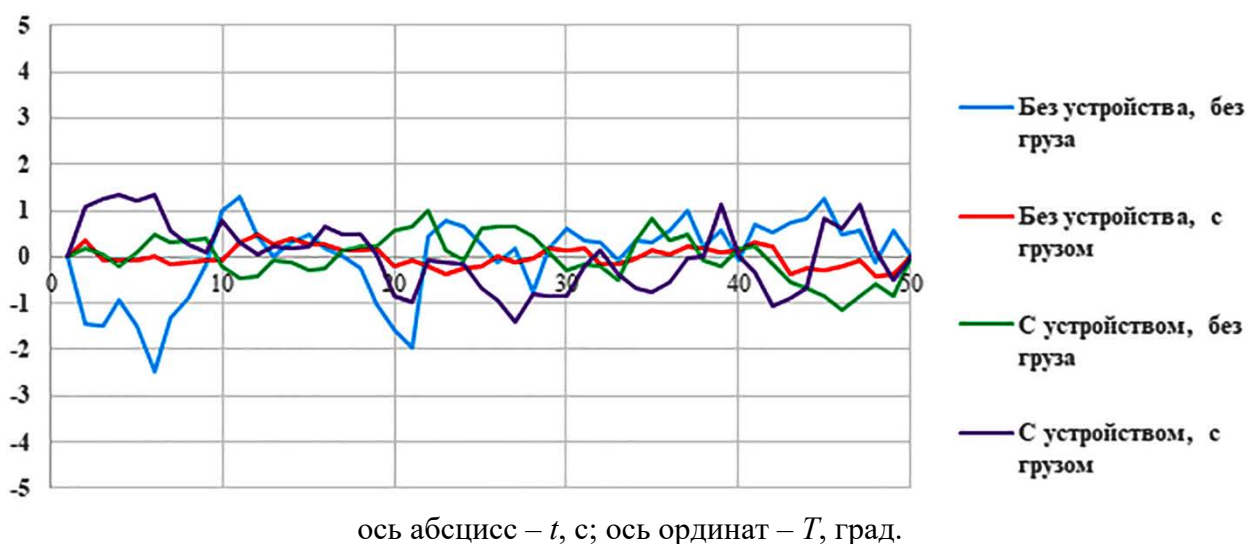


Рисунок 3.4 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси X в режиме установившегося движения

Полученные зависимости (рис. 3.4) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0011x^2 + 0,0467x - 0,198 \quad (3.1)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

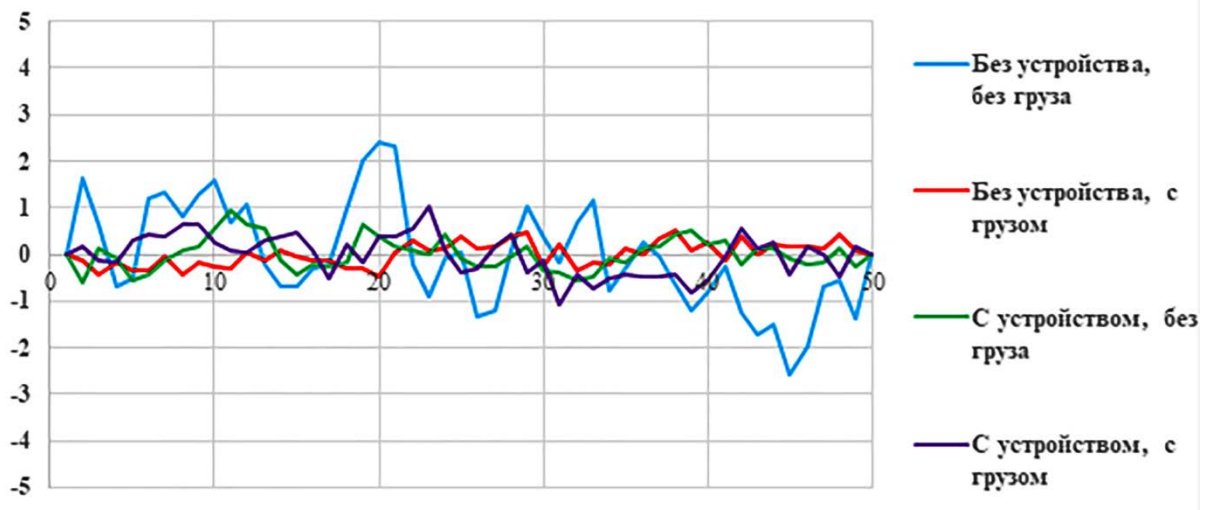
$$y = -0,0008x^2 + 0,0702x - 1,1275 \quad (3.2)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0002x^2 + 0,0074x + 0,0141 \quad (3.3)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,002x^2 + 0,1197x + 1,3823 \quad (3.4)$$



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.

**Рисунок 3.5 – Экспериментальные показатели отклонения
переднего управляемого моста трактора
по оси Y в режиме установившегося движения**

Полученные зависимости (рис. 3.5) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0002x^2 + 0,0094x - 0,0659 \quad (3.5)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

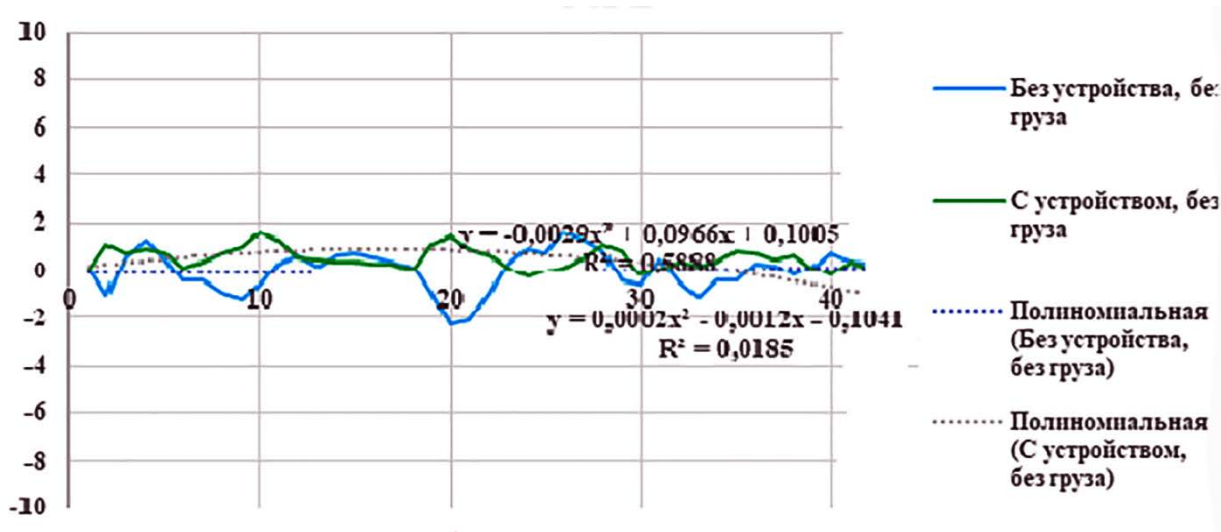
$$y = -0,0011x^2 + 0,0119x - 0,5854 \quad (3.6)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0002x^2 + 0,018x - 0,3144 \quad (3.7)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0003x^2 - 0,0258x + 0,41 \quad (3.8)$$



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.

Рисунок 3.6 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Z в режиме установившегося движения

Полученные зависимости (рис. 3.6) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0029x^2 + 0,0966x + 0,1005 \quad (3.9)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = 0,0002x^2 - 0,0012x - 0,1041 \quad (3.10)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = 0,0004x^2 - 0,0372x + 0,6008 \quad (3.11)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0019x^2 - 0,4204x + 9,0906 \quad (3.12)$$

Показатели отклонения переднего моста ТТА при движении по грунтовой дороге представлены в виде графиков на рисунках 3.7–3.9.

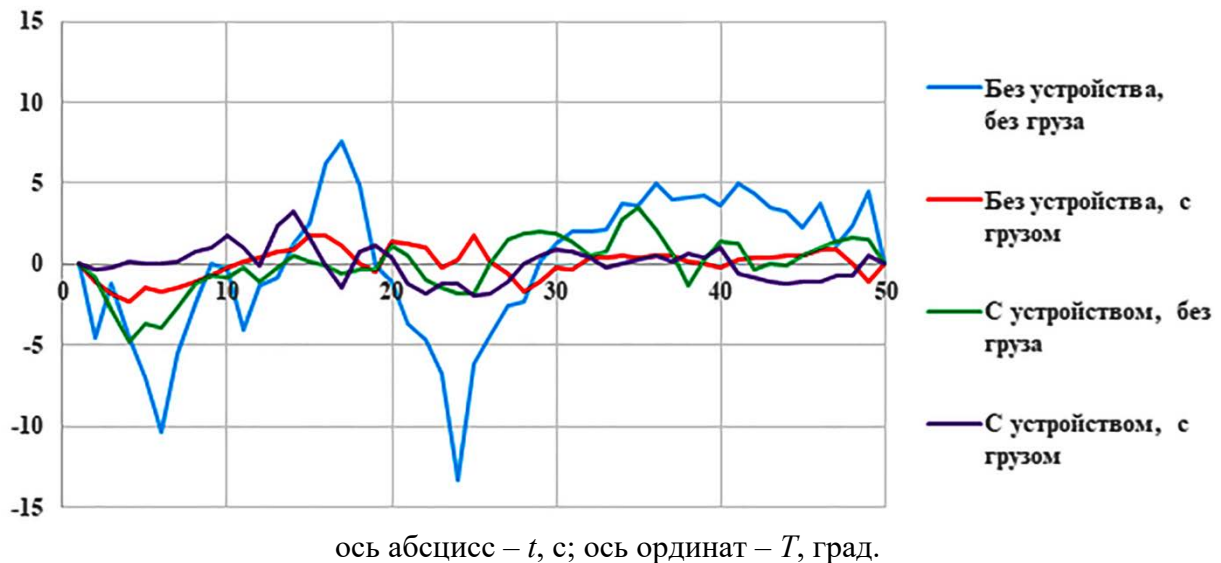


Рисунок 3.7 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси X в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.7) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0025x^2 + 0,2005x - 2,964 \quad (3.13)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

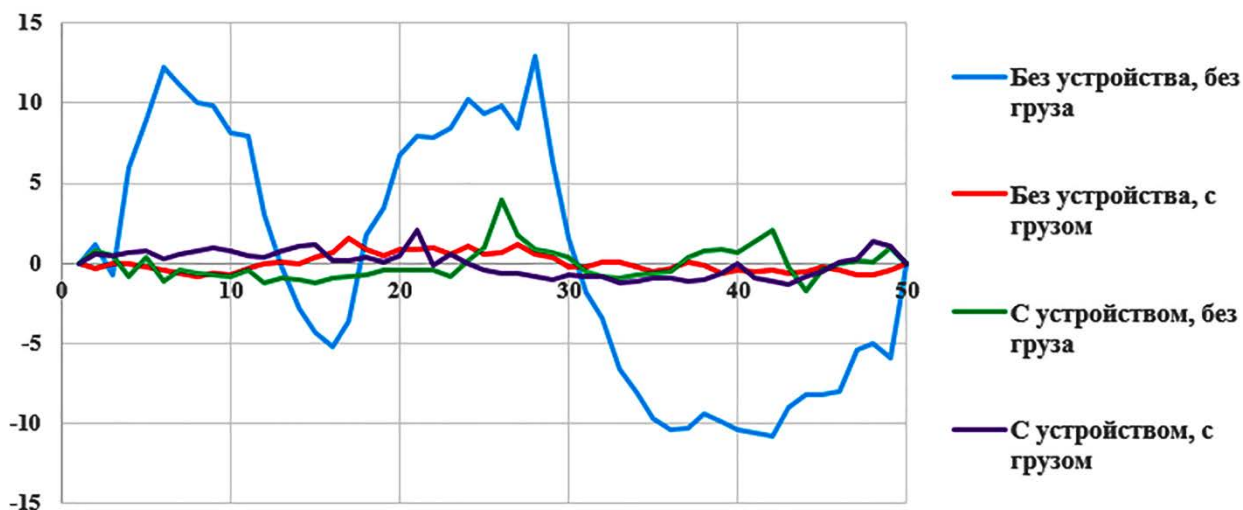
$$y = 0,0004x^2 + 0,1372x - 3,7991 \quad (3.14)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0019x^2 + 0,1199x - 1,3476 \quad (3.15)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,018x + 0,5168 \quad (3.16)$$



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.

Рисунок 3.8 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Y в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.8) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -2 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0191x - 0,5299 \quad (3.17)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

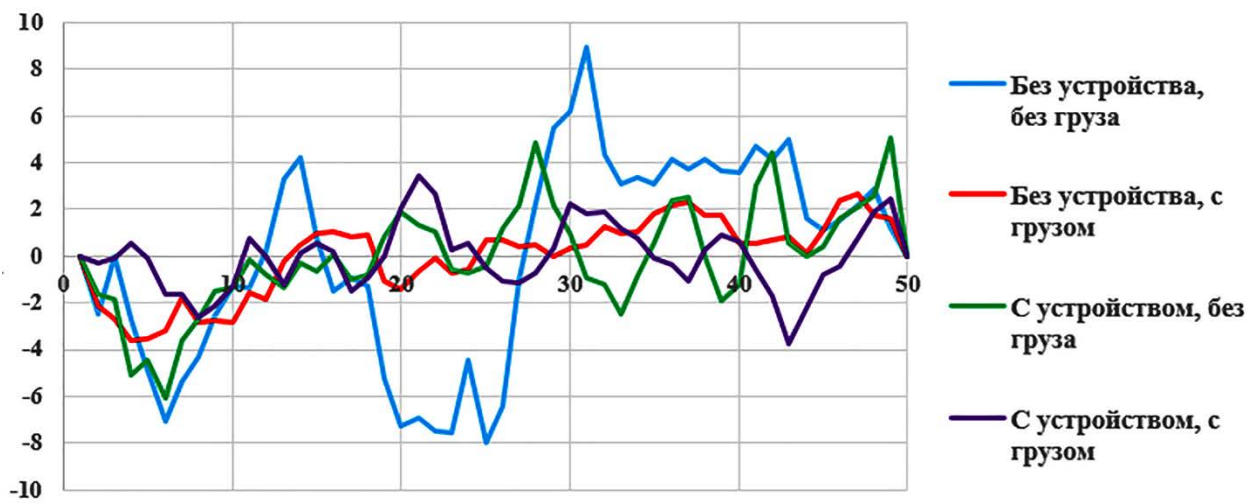
$$y = -0,0071x^2 + 0,0242x + 5,6216 \quad (3.18)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = 0,0013x^2 - 0,0937x + 1,2522 \quad (3.19)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -0,0018x^2 + 0,0855x - 0,5851 \quad (3.20)$$



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.

Рисунок 3.9 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Z в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.9) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,002x^2 + 0,1947x - 3,3185 \quad (3.21)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = 0,0009x^2 + 0,1088x - 3,5533 \quad (3.22)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,002x^2 + 0,1883x - 3,1274 \quad (3.23)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -0,0014x^2 + 0,0832x - 0,9748 \quad (3.24)$$

Сравнение полученных показателей и полиномиальных уравнений позволяет сделать вывод, что постановка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации переднего

управляемого моста трактора в движении.

Установлено, что при движении по дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием:

1. Максимальная амплитуда колебаний по оси X (рис. 3.4) экспериментального трактора без груза (от минус 1 до 1 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 2,5 до 2,5 град.) на 60 %. Также установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение переднего управляемого моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 0,5 до 0,5 град.) тоже отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,3 до 1,3 град.) на 38,4 %.

2. Максимальная амплитуда колебаний по оси Y (рис. 3.5) экспериментального трактора без груза (от минус 1 до 1 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 2,5 до 2,5 град.) на 60 %. Также установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение переднего управляемого моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 0,3 до 0,3 град.) тоже отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,0 до 1,0 град.) на 30,0 %.

3. Максимальная амплитуда колебаний по оси Z -параметр горизонтального раскачивания (рис. 3.6) экспериментального трактора без груза, составившая от минус 1,6 до 1,6 град., меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 2,0 до 2,0 град.) на 20 %.

При движении по сельскохозяйственным грунтовым дорогам получены следующие результаты:

1. Максимальная амплитуда колебаний по оси X (рис. 3.7) экспериментального трактора без груза (от минус 3 до 3 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 12,1 до 12,1 град.) на 25 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение переднего управляемого моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от

минус 1,9 до 1,9 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 2,1 до 2,1 град.) на 9,4 %.

2. Максимальная амплитуда колебаний по оси Y (рис. 3.8) экспериментального трактора без груза (от минус 4 до 4 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 14,0 до 14,0 град.) на 28,6 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение переднего управляемого моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 1,9 до 1,9 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 2,2 до 2,2 град.) на 8,6 %.

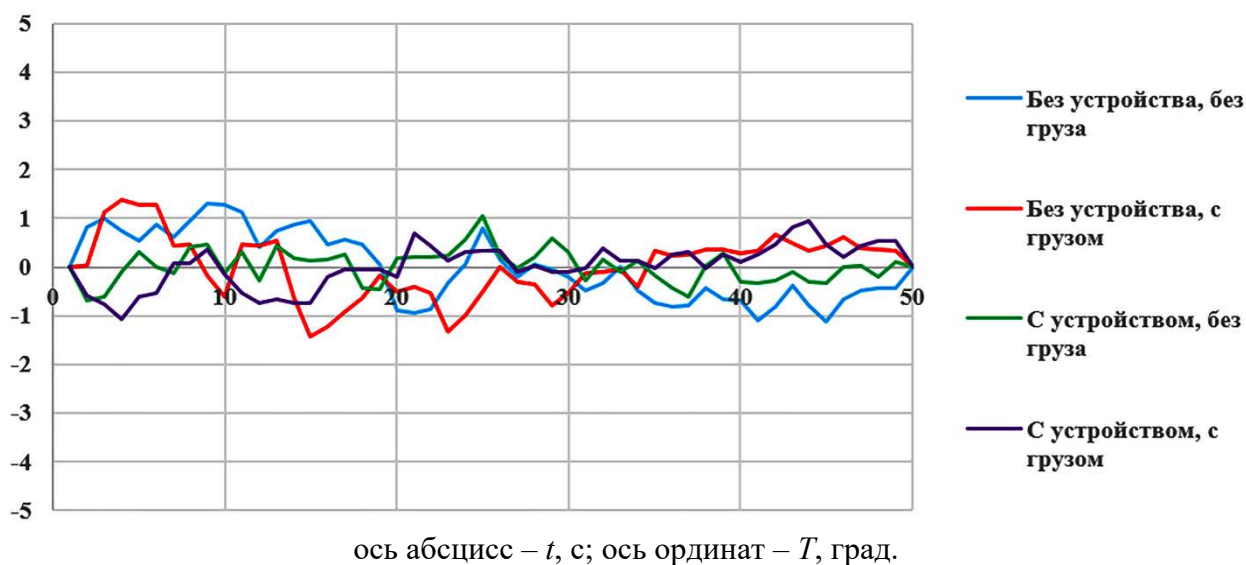
3. Максимальная амплитуда колебаний по Z -параметр горизонтального раскачивания (рис. 3.9) экспериментального трактора без груза, составившая от минус 1 до 1 град., меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 2,5 до 2,5 град.) на 60 %. Наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение переднего управляемого моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 0,3 до 0,3 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,0 до 1,0 град.) на 30,0 %.

3.1.2 Результаты экспериментальных исследований по определению колебаний заднего ведущего моста при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием

Задний мост, помимо функции основного тягового звена, за счет конструктивно распределенной массы трактора, осуществляет прием основной нагрузки сцепного веса, передаваемого от прицепа или агрегатированного сельскохозяйственного орудия в различных условиях использования. Таким образом, фиксация величин отклонения и колебаний ведущего моста трактора и, следовательно, всей кормовой части его остова от вектора прямолинейного

3 Экспериментальное подтверждение и результаты опытных испытаний энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении АПК

движения послужит показателем уровня стабилизации энергетического средства. Результаты экспериментальных исследований по фиксации колебаний и отклонению заднего моста трактора при передвижении ТТА по дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием представлены в виде графиков на рисунках 3.10–3.12. Полученные зависимости могут быть описаны соответствующими уравнениями.



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.
Рисунок 3.10 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси X в режиме установившегося движения при передвижении по дороге с усовершенствованным покрытием

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0006x^2 + 0,0284x - 0,1762 \quad (3.25)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

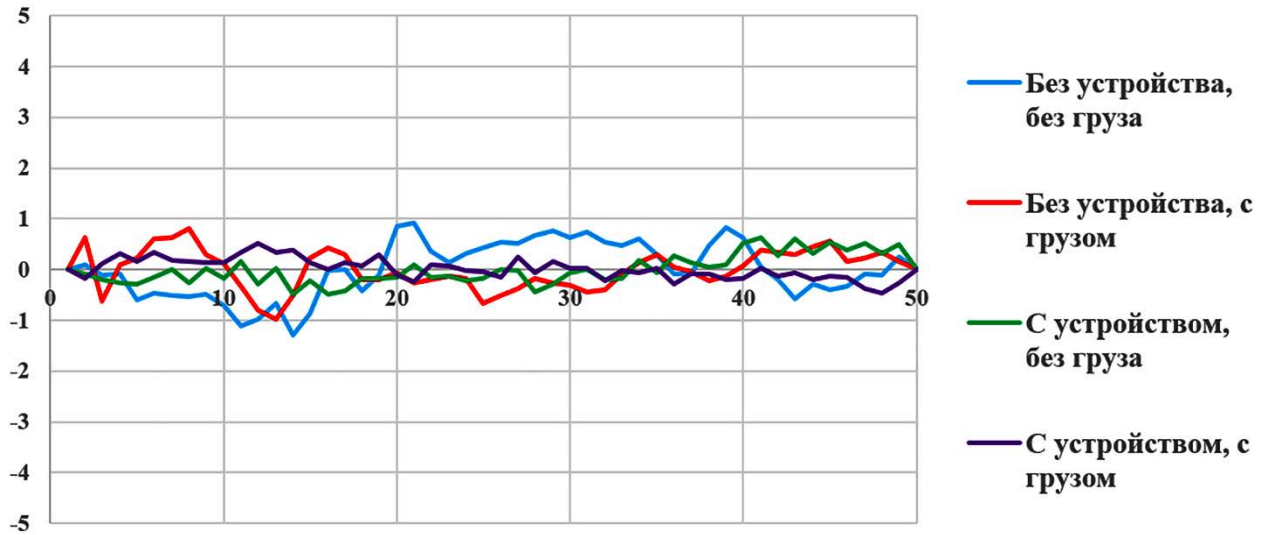
$$y = 0,0005x^2 - 0,0624x + 1,1581 \quad (3.26)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,002x^2 + 0,1883x - 3,1274 \quad (3.27)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -0,0014x^2 + 0,0832x - 0,9748 \quad (3.28)$$



ось абсцисс – t, с; ось ординат – T, град.

Рисунок 3.11 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси Y в режиме установившегося движения при передвижении по дороге с усовершенствованным покрытием

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = 0,0006x^2 - 0,0157x - 0,0886 \quad (3.29)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = -0,0011x^2 + 0,0696x - 0,8219 \quad (3.30)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0002x^2 - 0,0008x + 0,1805 \quad (3.31)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,001x^2 - 0,0467x + 0,3578 \quad (3.32)$$

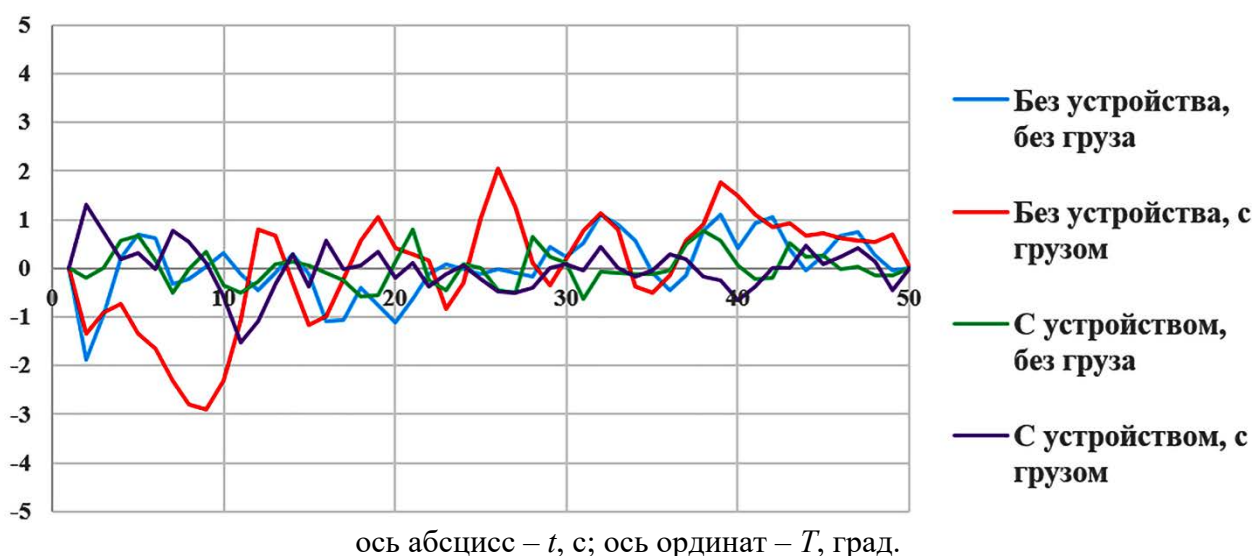


Рисунок 3.12 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси Z в режиме установившегося движения при передвижении по дороге с усовершенствованным покрытием

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = 0,0003x^2 - 0,0109x + 0,0553 \quad (3.33)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = 9 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0153x - 1,4288 \quad (3.34)$$

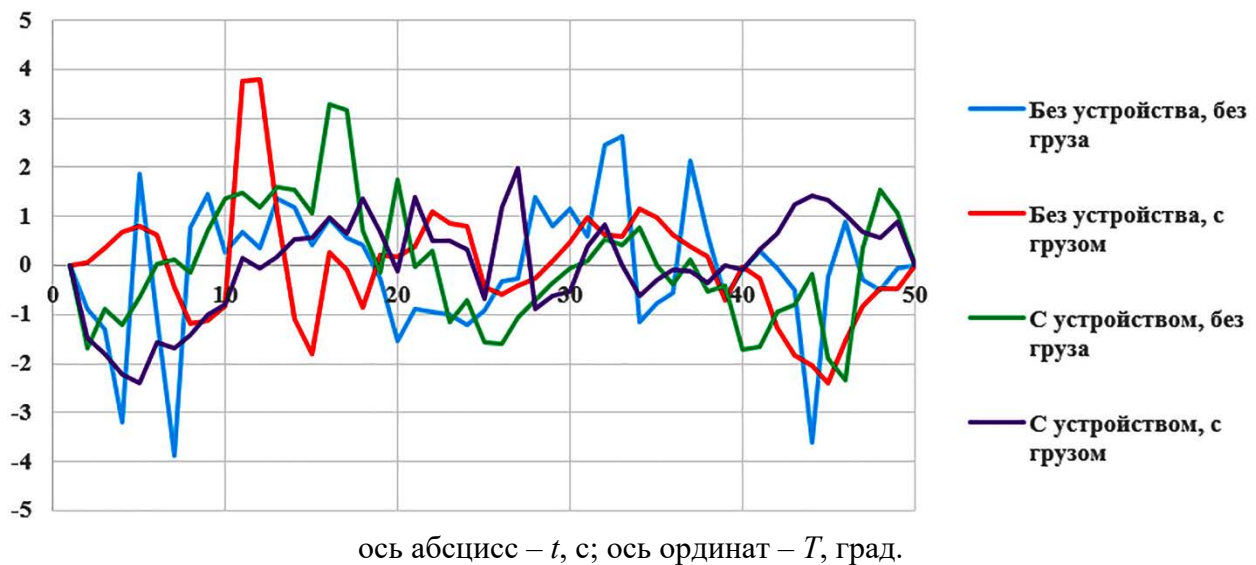
3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = 0,0008x^2 - 0,0423x + 0,4181 \quad (3.35)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -0,0015x^2 + 0,125x - 1,9149 \quad (3.36)$$

Показатели отклонения заднего ведущего моста трактора серийного и экспериментального ТТА при движении по грунтовой дороге показаны в виде графиков на рисунках 3.13–3.15. Полученные зависимости могут быть описаны соответствующими уравнениями.



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.
**Рисунок 3.13 – Экспериментальные показатели отклонения
заднего ведущего моста трактора по оси X в режиме
установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге**

Полученные зависимости (рис. 3.13) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,001x^2 + 0,0296x + 0,0723 \quad (3.37)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = -0,0016x^2 + 0,0854x - 0,8912 \quad (3.38)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0016x^2 + 0,1159x - 1,595 \quad (3.39)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -0,0014x^2 + 0,0469x + 0,0195 \quad (3.40)$$

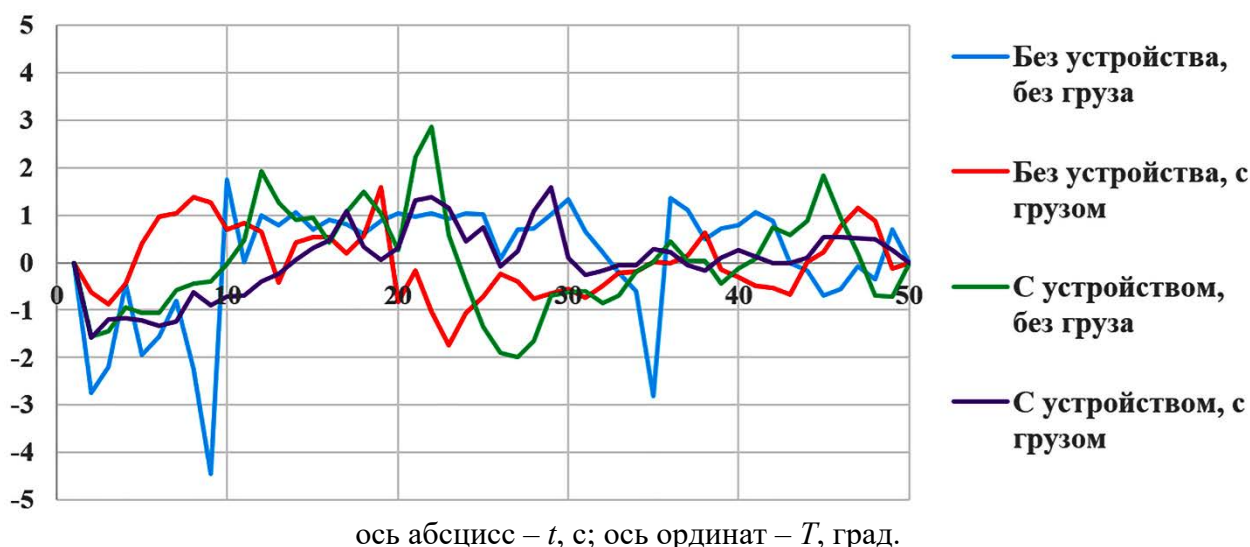


Рисунок 3.14 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси Y в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.14) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,00002x^2 + 0,0191x - 0,5299 \quad (3.41)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = -0,0071x^2 + 0,0242x + 5,6216 \quad (3.42)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0018x^2 + 0,0855x - 0,5851 \quad (3.43)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0013x^2 - 0,0937x + 1,2522 \quad (3.44)$$

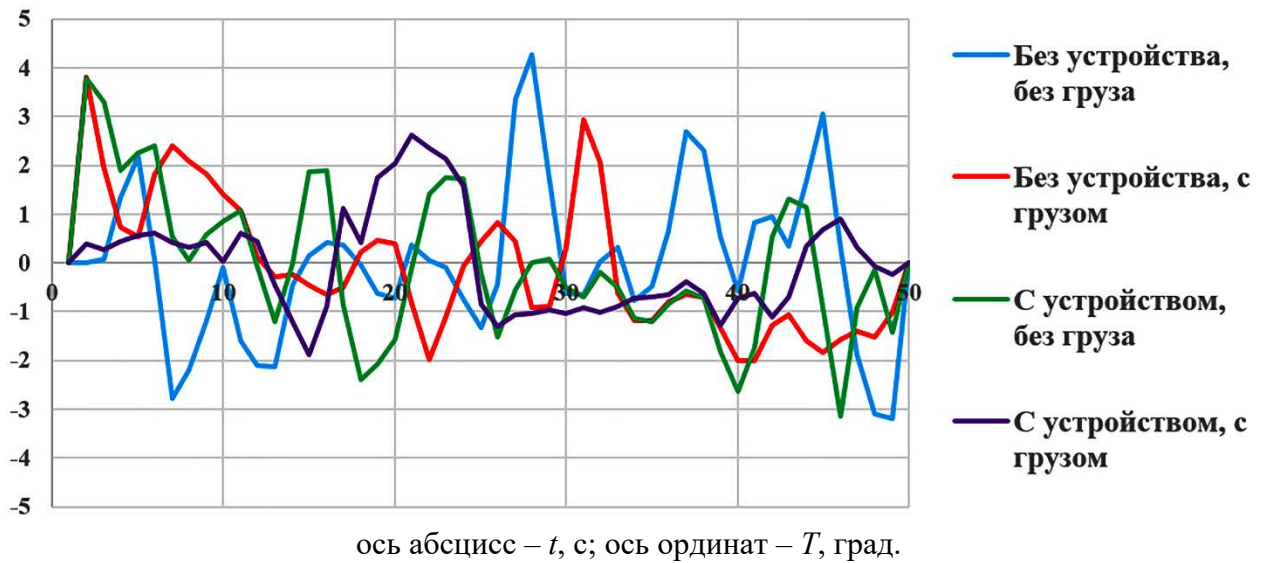


Рисунок 3.15 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси Z в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.15) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = 0,0021x^2 - 0,1594x + 2,2671 \quad (3.45)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = -0,0015x^2 + 0,0879x - 0,979 \quad (3.46)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = 0,0008x^2 - 0,1036x + 1,8643 \quad (3.47)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0004x^2 - 0,0394x + 0,6367 \quad (3.48)$$

Сравнение полученных показателей и полиномиальных уравнений позволяет сделать вывод, что постановка буксирно-распределяющего устройства

предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации заднего ведущего моста трактора в движении.

Нами обосновано, что при движении по дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием:

1. Максимальная амплитуда колебаний по оси X (рис. 3.10) экспериментального трактора без груза (от минус 0,6 до 0,6 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 1,0 до 1,0 град.) на 44,2 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение заднего ведущего моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 1,0 до 1,0 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,4 до 1,4 град.) на 29,1 %.

2. Максимальная амплитуда колебаний по оси Y (рис. 3.11) экспериментального трактора без груза (от минус 0,4 до 0,4 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 1,3 до 1,3 град.) на 31,5 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение заднего ведущего моста; при этом показатели экспериментального ТТА с грузом, составившие от минус 0,4 до 0,4 град. также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,0 до 1,0 град.) на 40,0 %.

3. Максимальная амплитуда колебаний по оси Z -параметр горизонтального раскачивания (рис. 3.12) экспериментального трактора без груза (от минус 0,9 до 0,9 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 2,0 до 2,0 град.) на 54,8 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение заднего ведущего моста; показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 1,3 до 1,3 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 2,8 до 2,8 град.) на 54,0 %.

При движении по сельскохозяйственным грунтовым дорогам получены следующие результаты:

1. Максимальная амплитуда колебаний по оси X (рис. 3.13) экспериментального трактора без груза (от минус 3,3 до 3,3 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 4,1 до 4,1 град.) на 18 %. Наличие груза в прицепе в совокупности с воздействием исследуемого устройства стабилизирует положение заднего ведущего моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 2,3 до 2,3 град.) также оказались отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 3,8 до 3,8 град.) на 38,6 %.

2. Максимальная амплитуда колебаний по оси Y (рис. 3.14) экспериментального трактора без груза (от минус 3 до 3 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 4,5 до 4,5 град.) на 32,8 %. Наличие груза в прицепе стабилизирует положение заднего ведущего моста; показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 1,6 до 1,6 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,8 до 1,8 град.) на 11,2 %.

3. Максимальная амплитуда колебаний по оси Z -параметр горизонтального раскачивания (рис. 3.15) экспериментального трактора без груза (от минус 3,7 до 3,7 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 4,3 до 4,3 град.) на 14,5 %. Наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение заднего ведущего моста, хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 2,7 до 2,7 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 3,7 до 3,7 град.) на 24,3 %.

3.1.3 Результаты экспериментальных исследований колебаний узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» при передвижении ТТА по сельскохозяйственным грунтовым дорогам и дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием

Тягово-сцепное устройство (ТСУ) трактора, являясь связывающим звеном между дышлом, ходовой системой агрегатируемого прицепа и ходовой

системой трактора, непосредственно воспринимает передаваемую нагрузку между звеньями ТТА. Таким образом, узел «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» может являться ответственной точкой, в совокупности остальных замеряемых параметров (передним управляемым мостом и задним ведущим мостом трактора), характеризующей возникающие колебательные реакции в контуре «прицеп – трактор», фиксация которых позволит наиболее качественно охарактеризовать воздействие исследуемого устройства на общие колебания агрегата.

Результаты экспериментальных исследований по фиксации колебаний и отклонению узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» при передвижении ТТА по дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием представлены в виде графиков на рисунках 3.16–3.18.

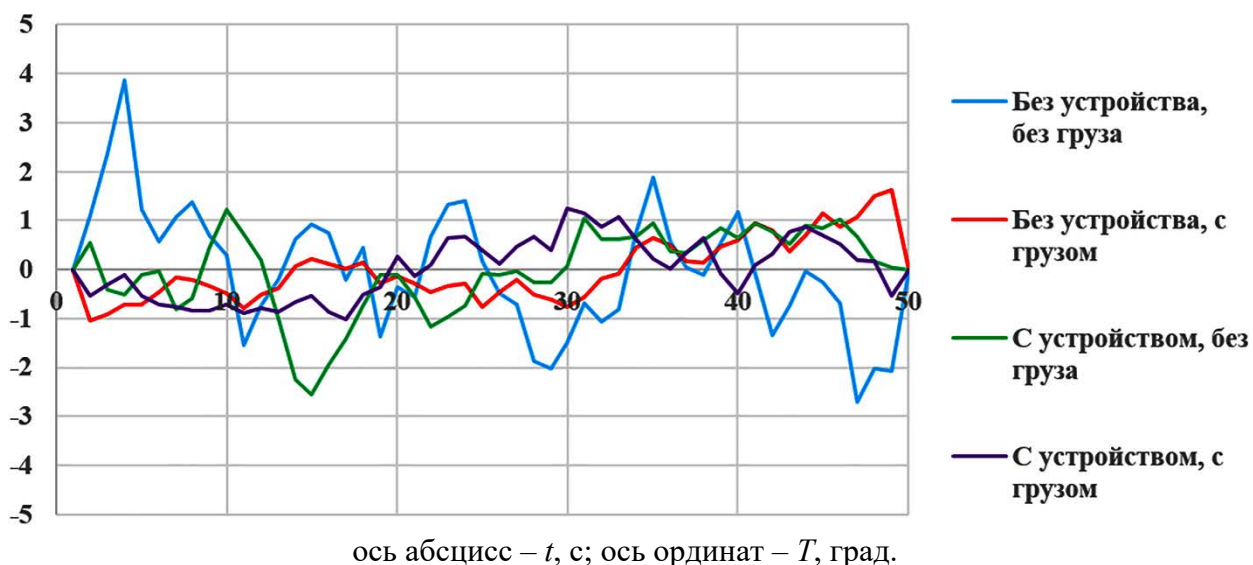


Рисунок 3.16 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси X в режиме установившегося движения при передвижении по дороге с усовершенствованным покрытием

Полученные зависимости (рис. 3.16) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = 0,0011x^2 - 0,0265x - 0,2477 \quad (3.49)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = 0,0007x^2 - 0,076x + 1,3547 \quad (3.50)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = 0,0009x^2 - 0,0163x - 0,4009 \quad (3.51)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -0,0009x^2 + 0,0711x - 1,0342 \quad (3.52)$$

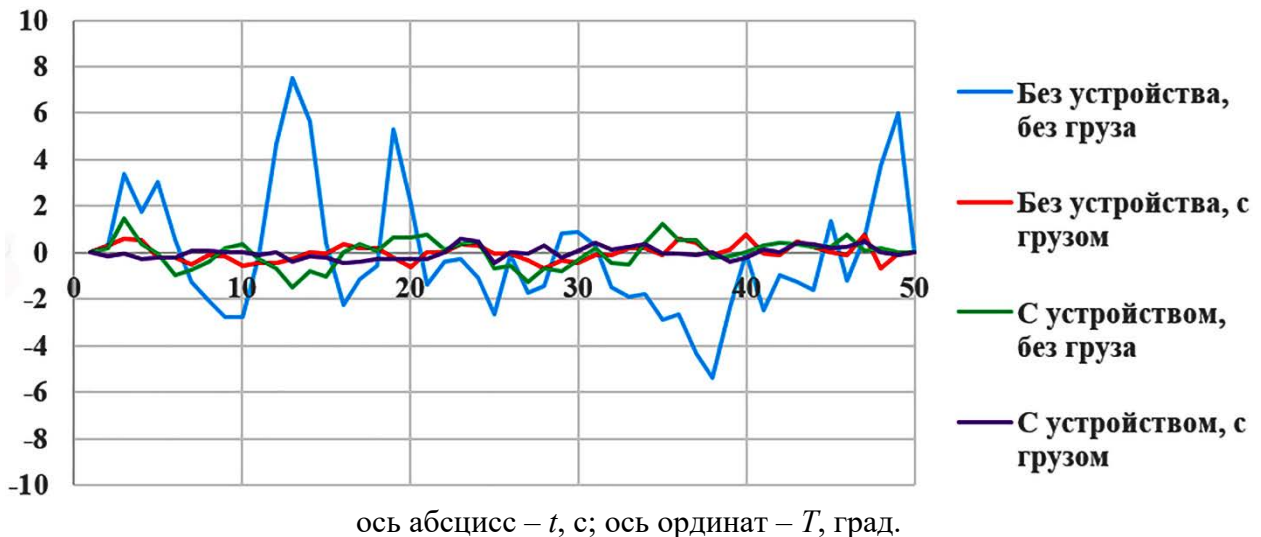


Рисунок 3.17 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-цепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси Y в режиме установившегося движения при передвижении по дороге с усовершенствованным покрытием

Полученные зависимости (рис. 3.17) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = 0,0006x^2 - 0,0231x + 0,0678 \quad (3.53)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = 0,0036x^2 - 0,2213x + 2,448 \quad (3.54)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = 7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0028x - 0,1399 \quad (3.55)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0003x^2 - 0,0095x + 0,0039 \quad (3.56)$$

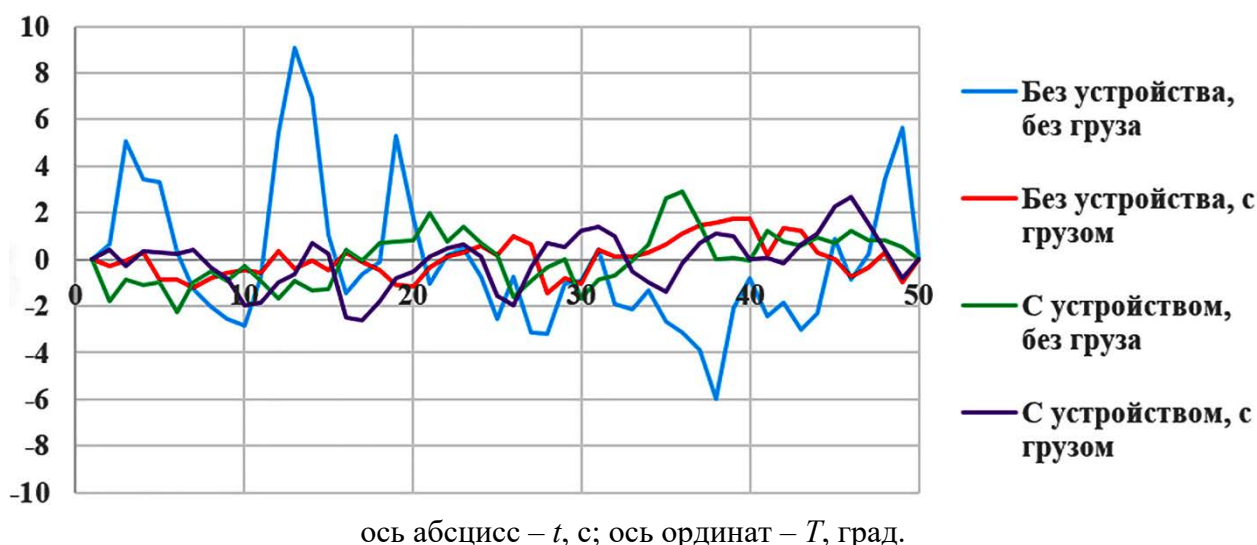


Рисунок 3.18 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-цепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси Z в режиме установившегося движения при передвижении по дороге с усовершенствованным покрытием

Полученные зависимости (рис. 3.18) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = 0,0042x^2 - 0,2778x + 3,3286 \quad (3.57)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = -0,0008x^2 + 0,0837x - 1,4219 \quad (3.58)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0005x^2 + 0,0464x - 0,7549 \quad (3.59)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0015x^2 - 0,0468x - 1,1361 \quad (3.60)$$

Показатели отклонения узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» серийного и экспериментального ТТА при движении по грунтовой дороге показаны в виде графиков на рисунках 3.19–3.21.

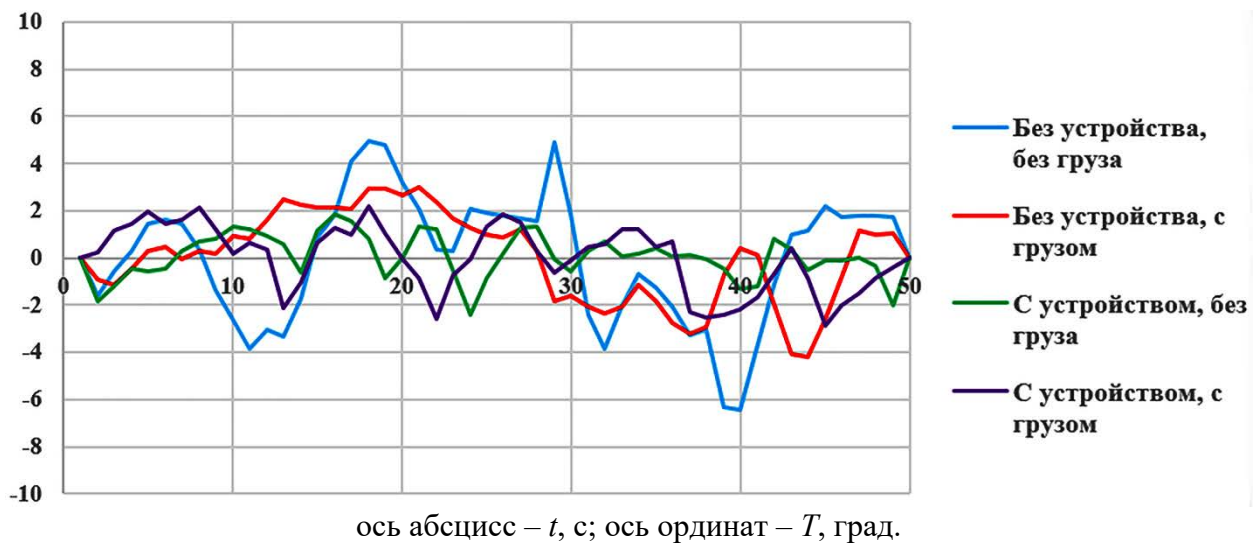


Рисунок 3.19 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси X в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.19) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0017x^2 + 0,0748x - 0,4175 \quad (3.61)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

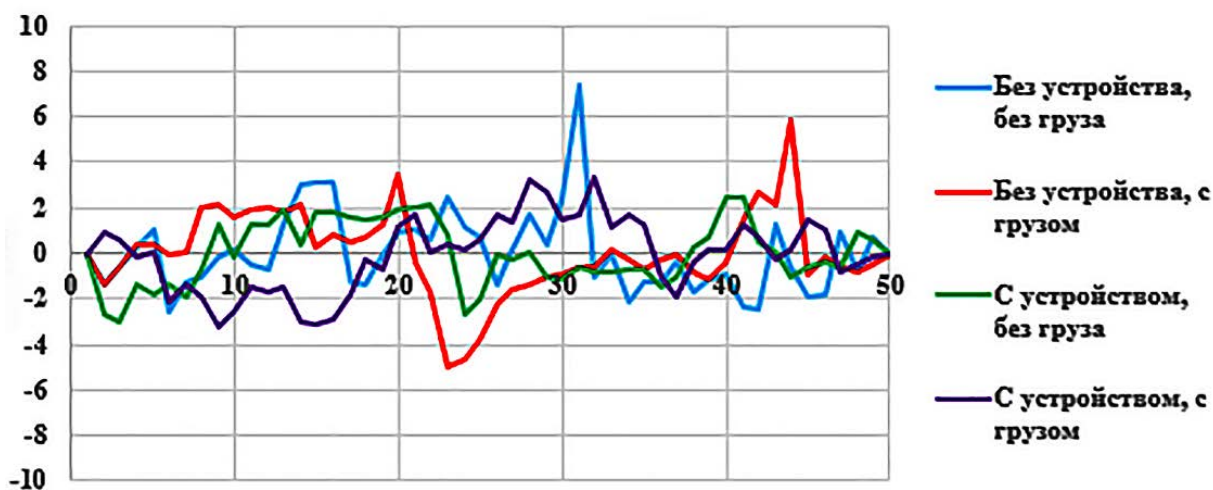
$$y = -0,0009x^2 + 0,0302x - 0,0249 \quad (3.62)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0019x^2 + 0,0432x + 0,5746 \quad (3.63)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = -0,0005x^2 - 0,0235x + 1,0438 \quad (3.64)$$



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.

Рисунок 3.20 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси Y в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.20) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0019x^2 + 0,1078x - 1,1047 \quad (3.65)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = -0,0027x^2 + 0,1239x - 0,7793 \quad (3.66)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = -0,0017x^2 + 0,1309x - 1,8896 \quad (3.67)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0023x^2 - 0,1247x + 1,2686 \quad (3.68)$$



Рисунок 3.21 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси Z в режиме установившегося движения при передвижении по грунтовой дороге

Полученные зависимости (рис. 3.21) могут быть описаны уравнениями:

1. Для серийного ТТА без стабилизирующего устройства и без груза:

$$y = -0,0031x^2 + 0,2229x - 2,9693 \quad (3.69)$$

2. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и без груза:

$$y = 0,0012x^2 - 0,06x + 0,5965 \quad (3.70)$$

3. Для серийного ТТА с грузом:

$$y = 0,0017x^2 - 0,0926x + 0,9003 \quad (3.71)$$

4. Для экспериментального тракторно-транспортного агрегата со стабилизирующим устройством и с грузом:

$$y = 0,0028x^2 + 0,0048x - 2,693 \quad (3.72)$$

Сравнение полученных показателей и полиномиальных уравнений позволяет сделать вывод, что постановка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации узла «тягово-

сцепное устройство трактора – дышло прицепа» в движении.

Установлено, что при движении по дорогам общего пользования с усовершенствованным покрытием:

1. Максимальная амплитуда колебаний по оси X (рис. 3.16) экспериментального трактора без груза (от минус 2,5 до 2,5 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 3,9 до 3,9 град.) на 35,9 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа», хотя показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 1,3 до 1,3 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,9 до 1,9 град.) на 41,6 %.

2. Максимальная амплитуда колебаний по оси Y (рис. 3.17) экспериментального трактора без груза (от минус 1,8 до 1,8 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 7,6 до 7,6 град.) на 76,4 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа»; показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 0,8 до 0,8 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,1 до 1,1 град.) на 27,3 %.

3. Максимальная амплитуда колебаний по оси Z -параметр горизонтального раскачивания (рис. 3.18) экспериментального трактора без груза (от минус 2,9 до 2,9 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 9,2 до 9,2 град.) на 68,4 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа»; в то же время показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 1,8 до 1,8 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 1,9 до 1,9 град.) на 5,3 %.

При движении по сельскохозяйственным грунтовым дорогам получены следующие результаты:

1. Максимальная амплитуда колебаний по оси X (рис. 3.19) экспериментального трактора без груза (от минус 2,2 до 2,2 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 6,2 до 6,2 град.) на 64,6 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в совокупности с воздействием исследуемого устройства стабилизирует положение узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа»; при этом показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 2,6 до 2,6 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 4,1 до 4,1 град.) на 46,5 %.

2. Максимальная амплитуда колебаний по оси Y (рис. 3.20) экспериментального трактора без груза (от минус 2,2 до 2,2 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 7,5 до 7,5 град.) на 70,3 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа», в то же время показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 3,4 до 3,4 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 6,1 до 6,1 град.) на 43,8 %.

3. Максимальная амплитуда колебаний по оси Z -параметр горизонтального раскачивания (рис. 3.21) экспериментального трактора без груза (от минус 4,2 до 4,2 град.) меньше амплитуды колебаний серийного трактора (от минус 6,3 до 6,3 град.) на 41,8 %. Установлено, что наличие груза в прицепе в целом стабилизирует положение узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа»; вместе с тем показатели экспериментального ТТА с грузом (от минус 7,2 до 7,2 град.) также отличны от показателей загруженного серийного ТТА (от минус 7,6 до 7,6 град.) на 5,3 %.

Полученные в исследованиях результаты позволяют обоснованно полагать, что исследуемое устройство является высокоэффективной конструкцией, предназначенной для качественной стабилизации колебаний звеньев ТТА и улучшения его эксплуатационных характеристик.

3.2 Результаты экспериментальных исследований по определению продольной устойчивости звеньев агрегата при передвижении ТТА по сельскохозяйственным дорогам в условиях склоновых земель

3.2.1 Результаты экспериментальных исследований по определению продольной устойчивости звеньев агрегата при движении тракторно-транспортного агрегата на подъем

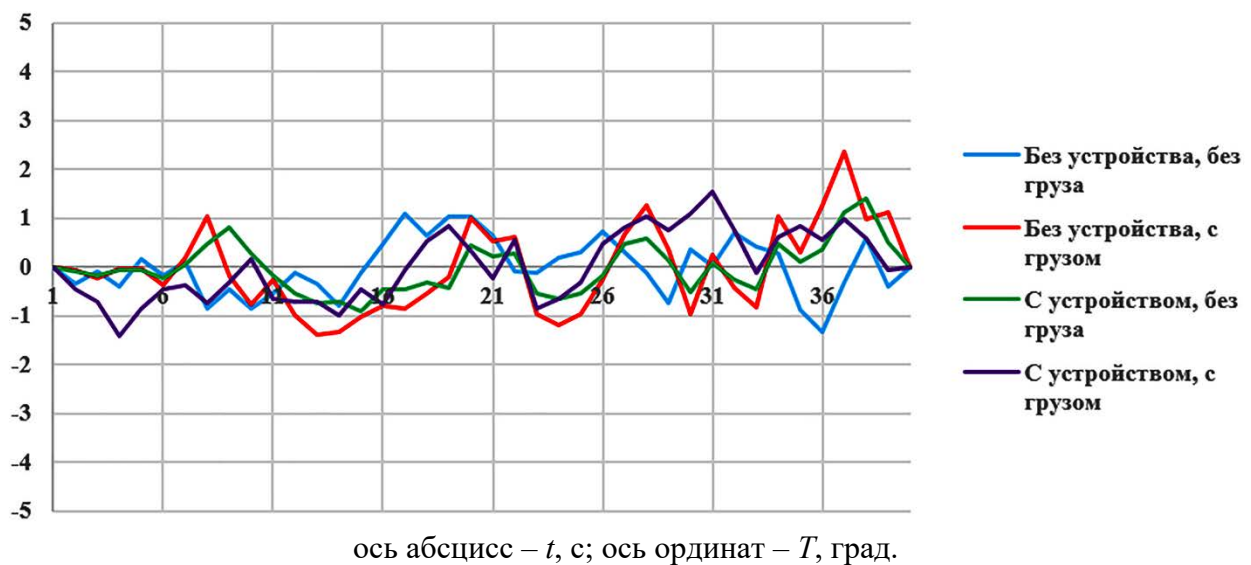
Ранее проведенными исследованиями установлено, что для нормальной управляемости любого колесного энергетического средства на передний ведущий мост должно приходиться не менее 22–26 % от всего сцепного веса энергетического средства. Также отмечено, что при движении тракторно-транспортного агрегата на подъем (в зависимости от угла подъема), за счет возникающего переворачивающего момента относительно задних колес, эта величина значительно ниже, что затрудняет управляемость, увеличивая опасность переворота энергетического средства.

Вместе с тем, установка предлагаемого устройства, как показали результаты экспериментов в равнинных условиях, значительно повышает стабилизацию звеньев агрегата. В этой связи для подтверждения теоретических исследований проведены экспериментальные испытания в реальных условиях эксплуатации ТТА при движении на подъем. Исследования проводились с замером параметров для переднего управляемого моста, заднего ведущего моста и узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа».

Полученные результаты для переднего управляемого моста представлены в виде графиков на рисунках 3.22–3.24.

Сравнительный анализ данных по оси X показывает, что наибольшей амплитудой колебаний обладает серийный ТТА без устройства без груза (от минус 1,4 до 1,4 град.) и серийный ТТА без устройства с грузом (от минус 2,4 до

2,4 град.). При этом экспериментальный ТТА с устройством без груза обладает наименьшей амплитудой колебаний переднего управляемого моста, которая составляет от минус 1,2 до 1,2 град. Амплитуда же колебаний экспериментального ТТА с устройством и грузом (от минус 1,5 до 1,5 град.) приближена по параметрам к экспериментальному ТТА без устройства и без груза, где она составляет от минус 1,4 до 1,4 град.



ось абсцисс – t , с; ось ординат – T , град.
**Рисунок 3.22 – Экспериментальные показатели отклонения
переднего управляемого моста трактора по оси X
при движении на подъем по грунтовой дороге**

Сравнительный анализ данных по оси Y показывает, что наибольшей амплитудой колебаний обладает серийный ТТА без устройства без груза (от минус 4,2 до 4,2 град.) и серийный ТТА без устройства с грузом (от минус 3,8 до 3,8 град.). При этом ТТА с устройством без груза обладает наименьшей амплитудой колебаний переднего управляемого моста (от минус 1,6 до 1,6 град.). В то же время амплитуда колебаний ТТА с устройством и грузом, составляющая от минус 2,7 до 2,7 град., при движении на подъем на 27 % стабильнее зафиксированной амплитуды колебаний серийного агрегата.

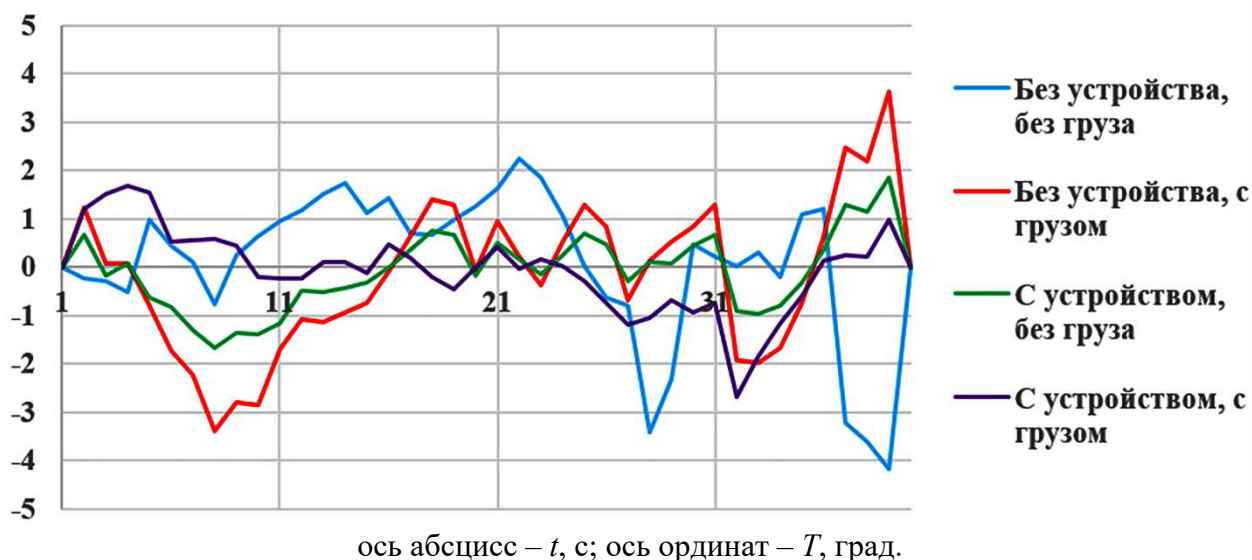


Рисунок 3.23 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Y при движении на подъем по грунтовой дороге

Анализ данных на рисунке 3.24 показывает, что наиболее стабильной амплитудной траекторией обладает ТТА с устройством без груза и ТТА с устройством и с грузом, тогда как ТТА без устройства с грузом наименее стабилен при подъеме, что при дальнейшем увеличении угла подъема может привести к отрыву переднего управляемого моста от поверхности движения.

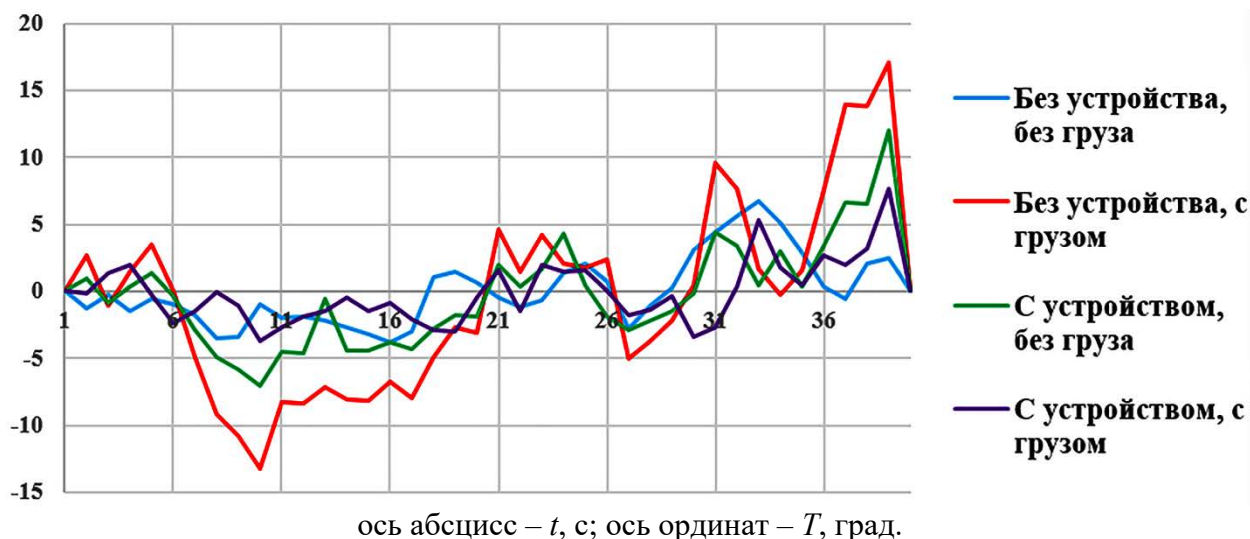


Рисунок 3.24 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Z при движении на подъем по грунтовой дороге

Полученные результаты для заднего ведущего моста представлены в виде графиков на рисунках 3.25–3.27.

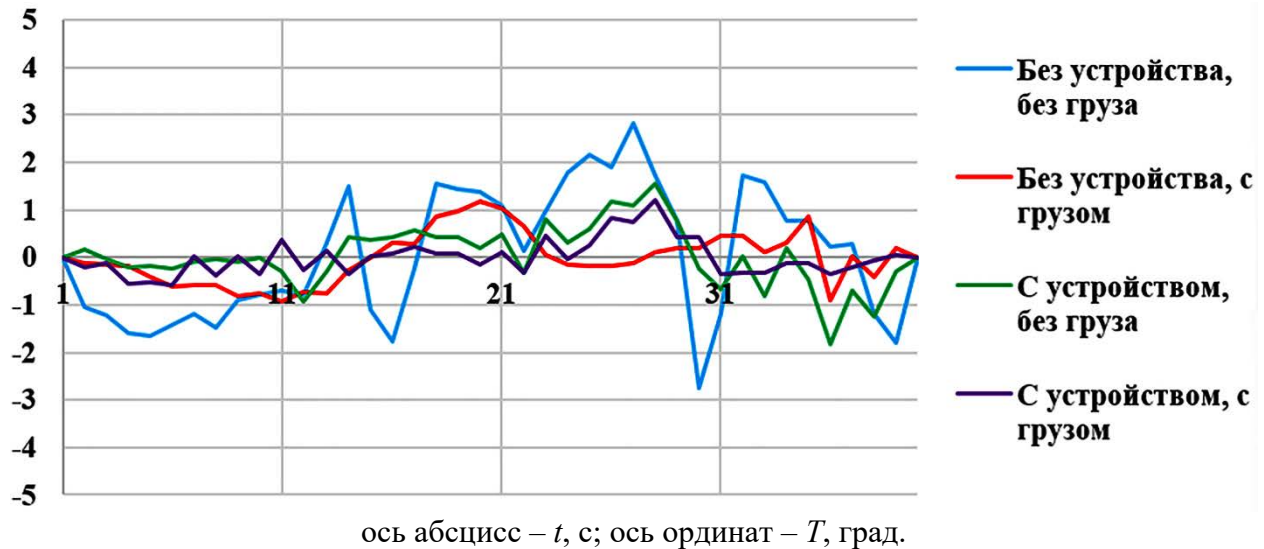


Рисунок 3.25 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси X при движении на подъем по грунтовой дороге

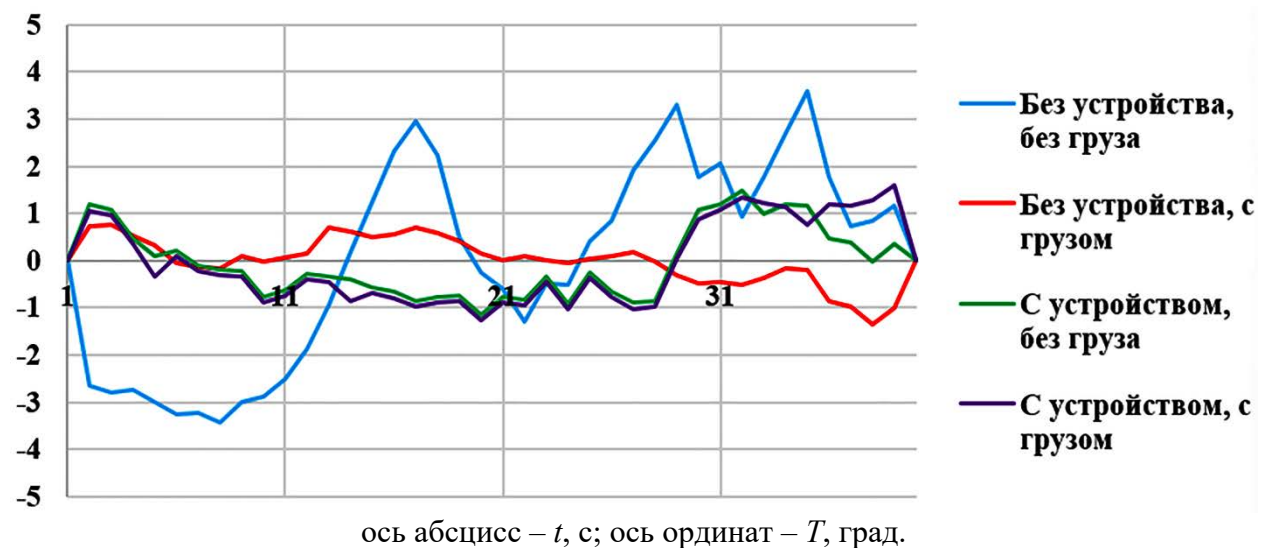


Рисунок 3.26 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси Y при движении на подъем по грунтовой дороге

Приведенные результаты также показывают, что наибольшими колебаниями в движении на подъем обладают ТТА без устройства без груза и ТТА без устройства с грузом.

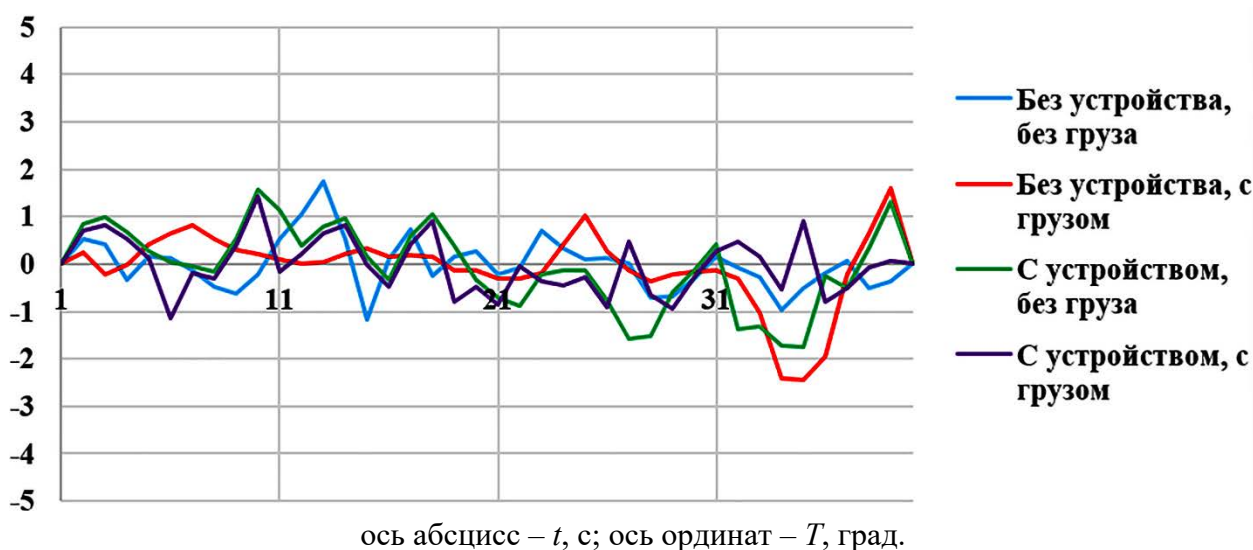


Рисунок 3.27 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси Z при движении на подъем по грунтовой дороге

Полученные результаты для узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» представлены в виде графиков на рисунках 3.28–3.30.

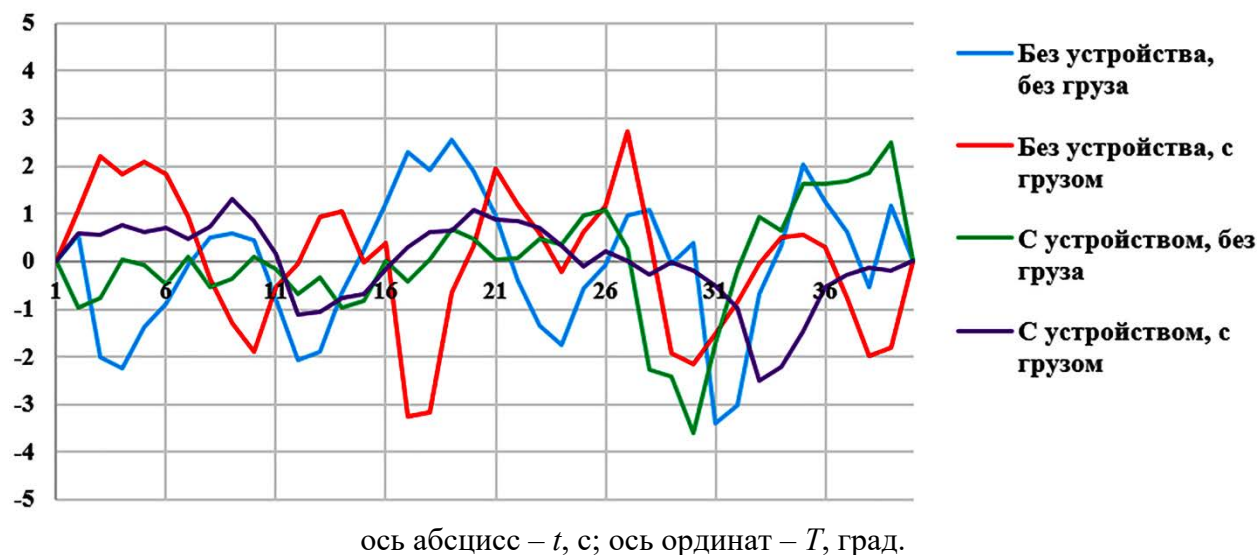


Рисунок 3.28 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси X при движении на подъем по грунтовой дороге

Представленные данные подтверждают, что наименьшими колебаниями и более стабильной траекторией движения обладает ТТА с устройством без груза и ТТА с устройством и с грузом. При этом совокупность исследуемых

показателей позволяет обосновать как углы безопасного использования ТТА, так и предложить рекомендации производству по использованию ТТА в условиях склоновых земель.

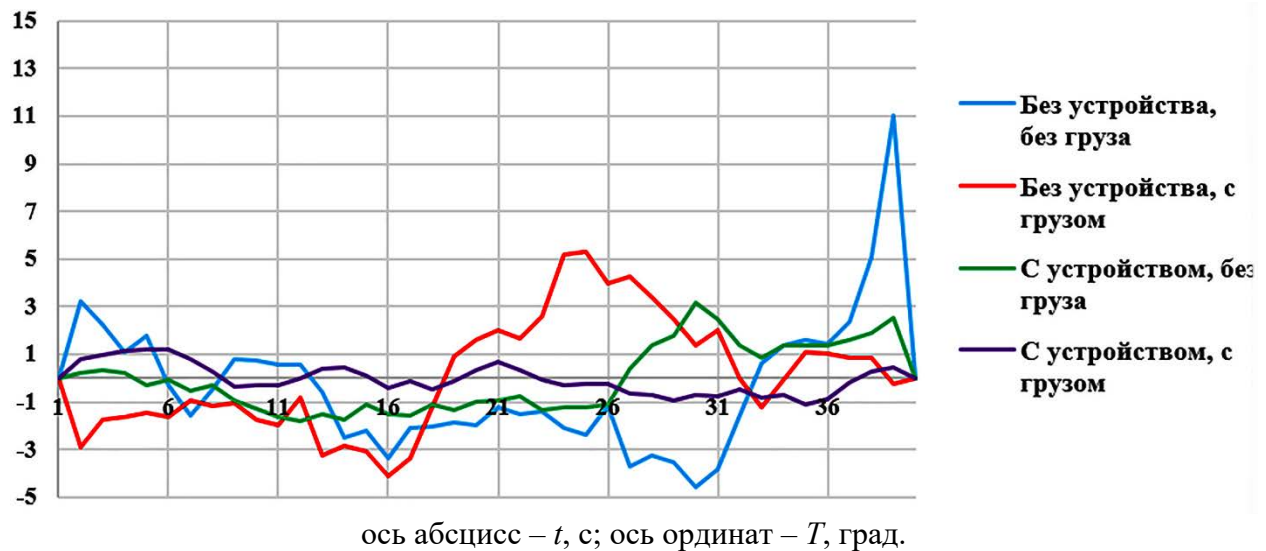


Рисунок 3.29 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-цепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси Y при движении на подъем по грунтовой дороге

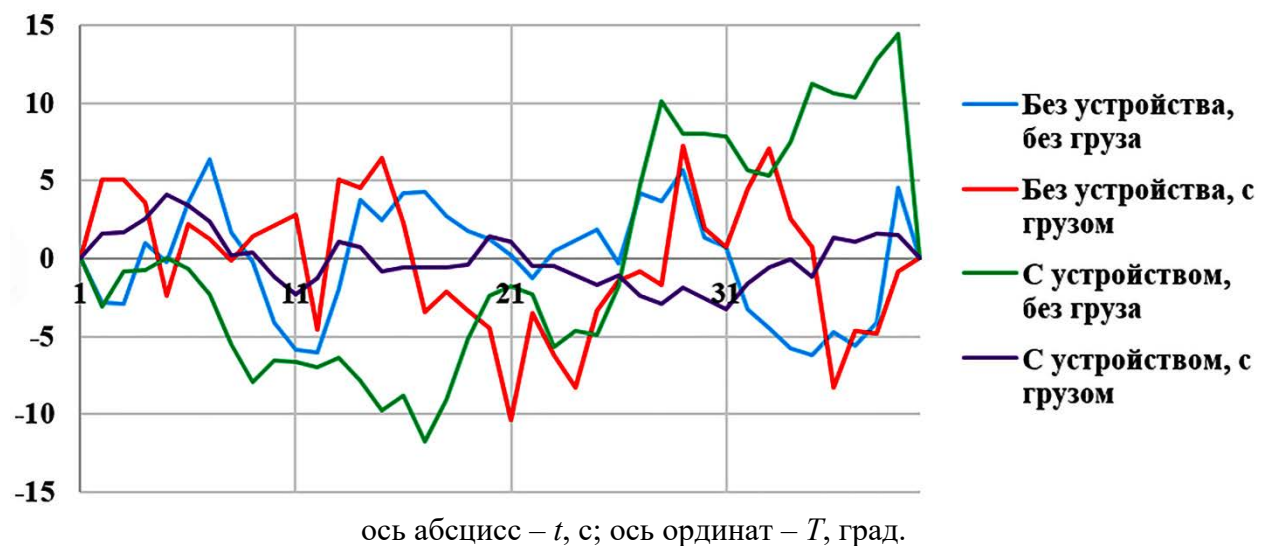


Рисунок 3.30 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-цепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси Z при движении на подъем по грунтовой дороге

3.2.2 Результаты экспериментальных исследований по определению продольной устойчивости звеньев агрегата при движении тракторно-транспортного агрегата на спуск

Учитывая необходимость рассмотрения колебаний звеньев агрегата, значительно влияющих на технологические характеристики серийного и экспериментального ТТА в условиях, наиболее приближенных к производственным, были проведены опытные исследования при движении ТТА на спуск. Результаты данных исследований для переднего управляемого моста приведены в виде графиков на рисунках 3.31–3.33.

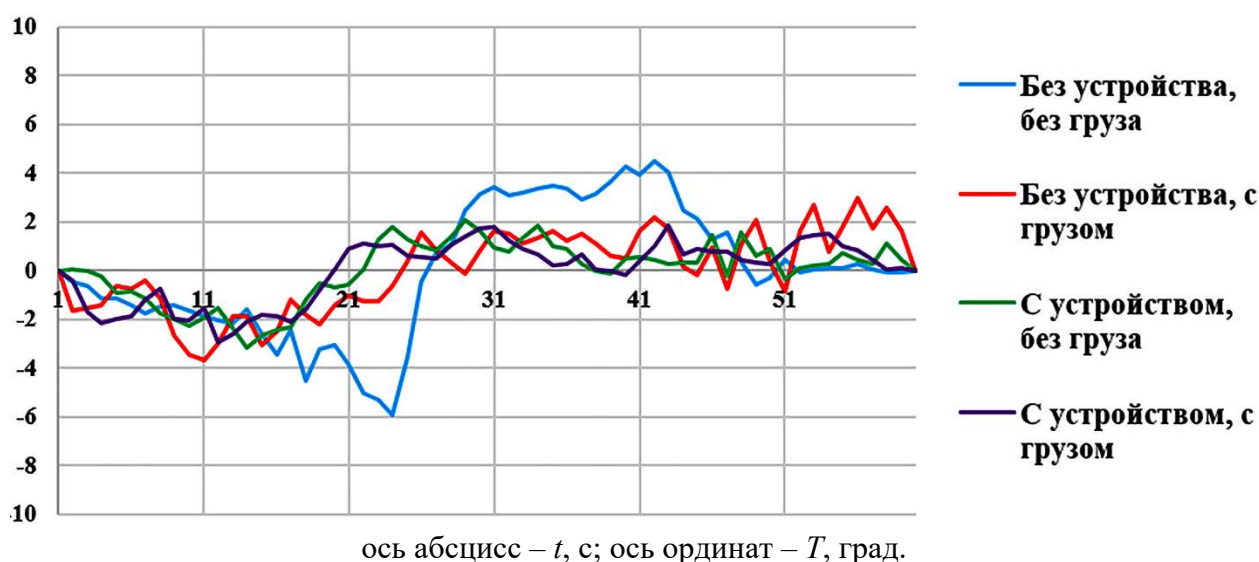


**Рисунок 3.31 – Экспериментальные показатели отклонения
переднего управляемого моста трактора по оси X
при движении на спуск по грунтовой дороге**

Они показывают, что в наиболее нестабильных условиях (ось X и ось Y) при движении на спуск оказывается передний управляемый мост ТТА без устройства без груза, тогда как показатели экспериментального ТТА по всем исследуемым осям имеют стабильные и малозначительные колебания.

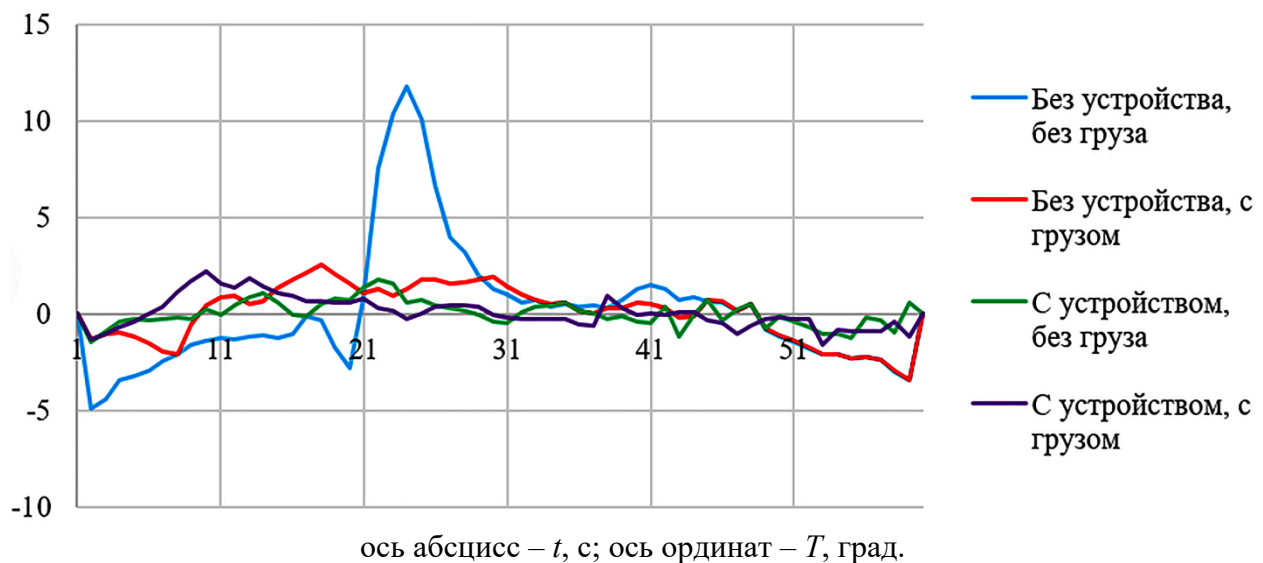


Рисунок 3.32 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Y при движении на спуск по грунтовой дороге

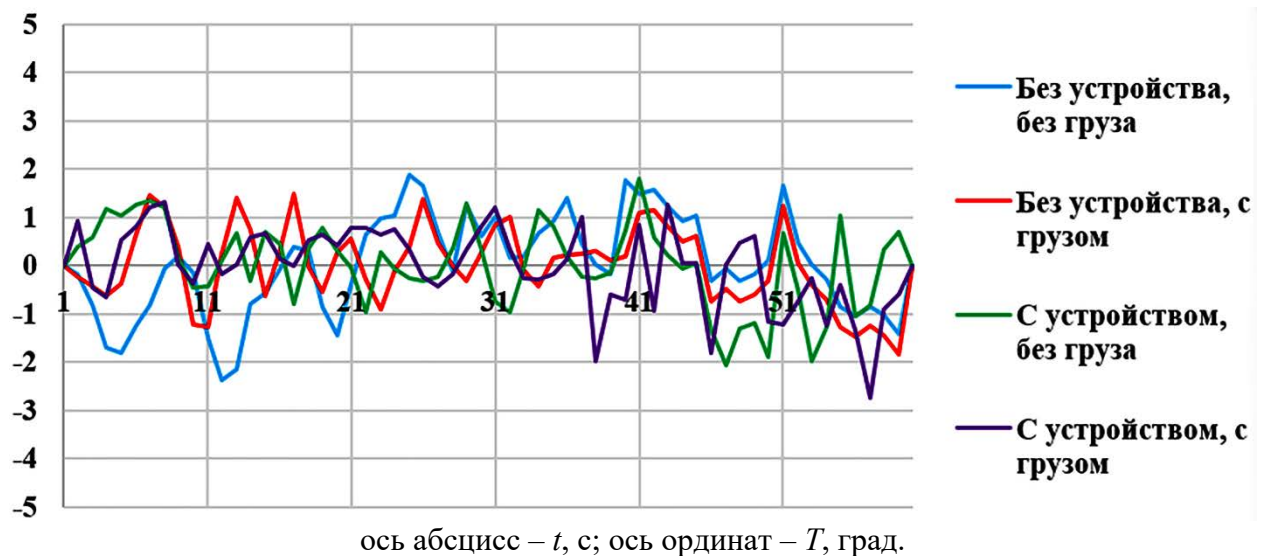


Рисунок 3.33 – Экспериментальные показатели отклонения переднего управляемого моста трактора по оси Z при движении на спуск по грунтовой дороге

Полученные результаты для заднего ведущего моста трактора представлены в виде графиков на рисунках 3.34–3.35. Они показывают, что в достаточно нестабильных условиях (ось X и ось Y) при движении на спуск оказывается задний ведущий мост ТТА без устройства без груза, так как именно на него передается нагрузка прицепа. В то же время показатели экспериментального ТТА по всем исследуемым осям имеют стабильные и малозначительные

3 Экспериментальное подтверждение и результаты опытных испытаний энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении АПК

колебания, что подтверждает оптимальное перераспределение передаваемого сцепного веса на оси трактора.

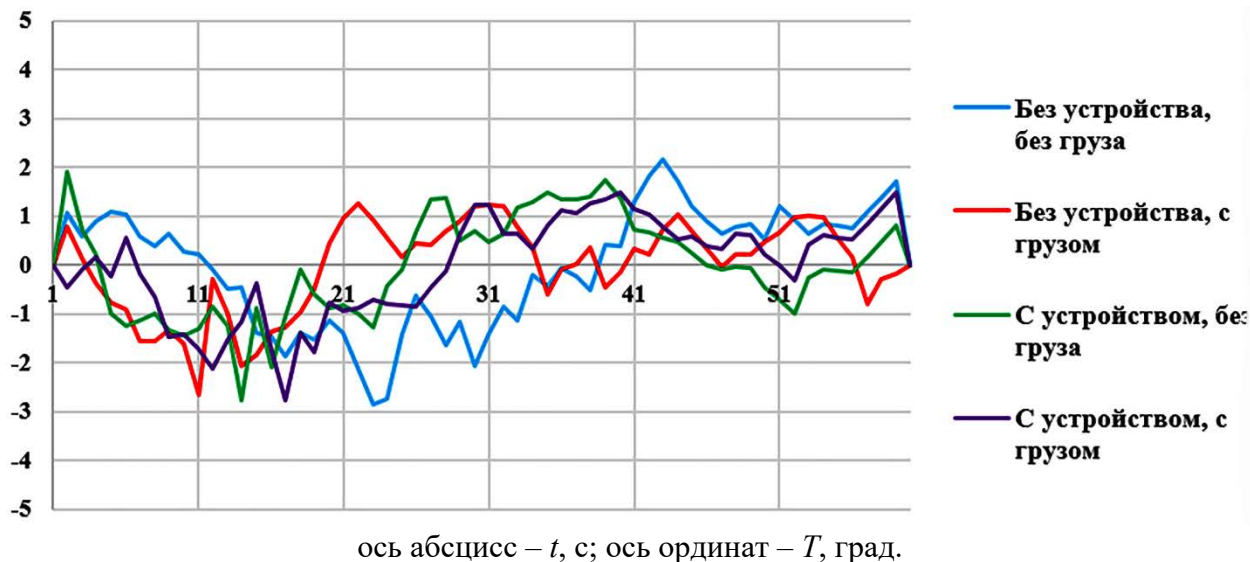


Рисунок 3.34 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси X при движении на спуск по грунтовой дороге

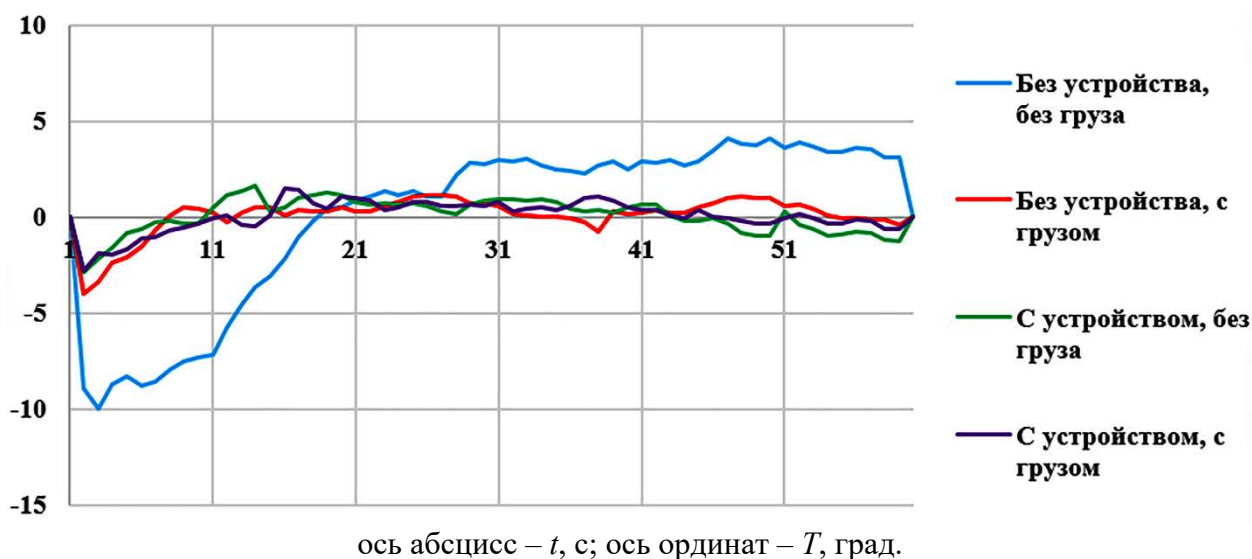


Рисунок 3.35 – Экспериментальные показатели отклонения заднего ведущего моста трактора по оси Y при движении на спуск по грунтовой дороге

Полученные результаты для узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» при движении на спуск представлены в виде графиков на рисунках 3.36–3.37.

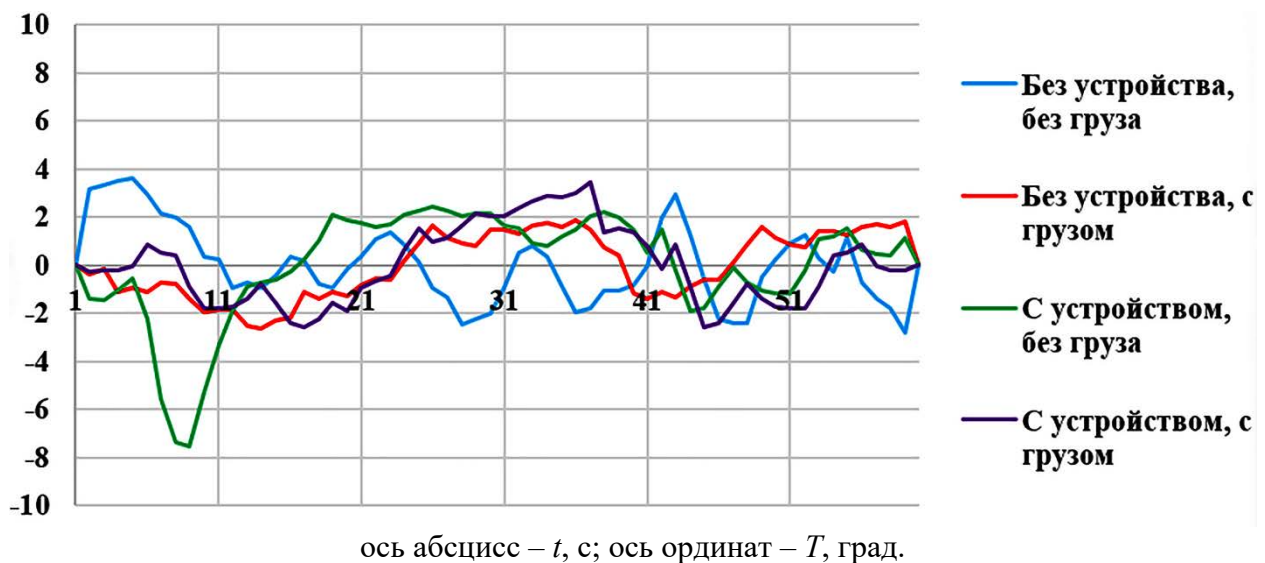


Рисунок 3.36 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-цепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси X при движении на спуск по грунтовой дороге

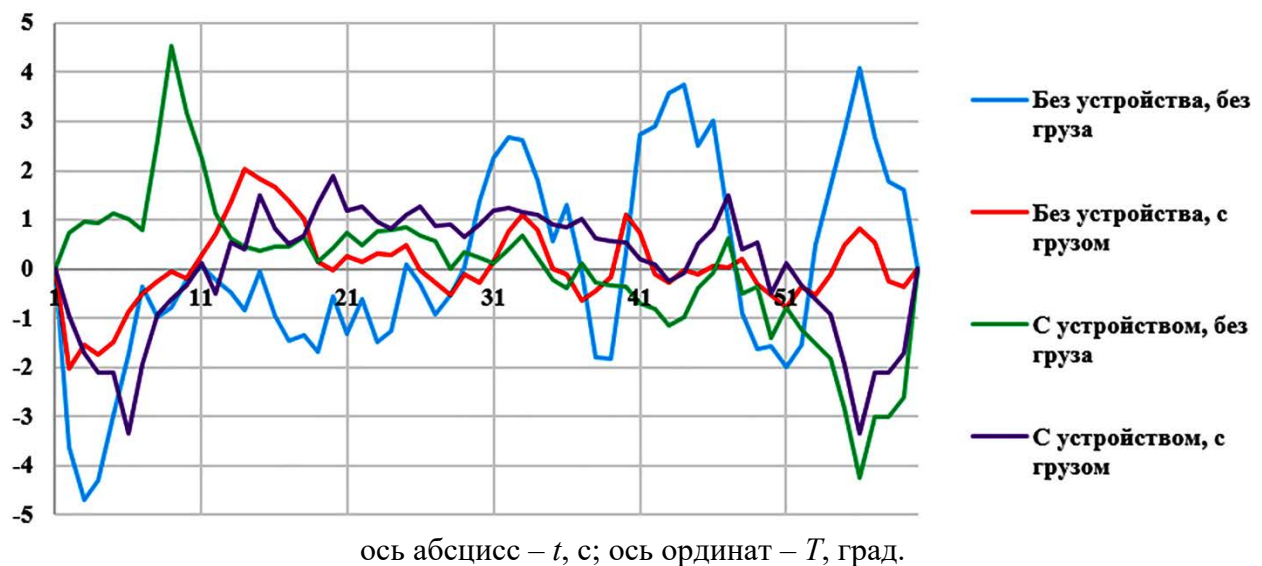


Рисунок 3.37 – Экспериментальные показатели отклонения узла «тягово-цепное устройство трактора – дышло прицепа» по оси Y при движении на спуск по грунтовой дороге

Результаты графиков показывают, что ТТА без устройства и без груза обладает менее гармоничными и более амплитудными колебаниями во всех измеряемых параметрах. При этом показатели экспериментального ТТА с грузом наиболее оптимальны при движении ТТА на спуск.

3.3 Сравнение полученных результатов и значений эксплуатационных коэффициентов

Как показали проведенные экспериментальные исследования, отклонение от прямолинейного движения на спуске наблюдалось как у серийного тракторно-транспортного агрегата, так и у экспериментального с установленным опытным устройством. При этом зафиксированное отклонение от прямолинейного движения, соответствующее полученным результатам, серийного тракторно-транспортного агрегата составило от 0,152 до 0,158 м; экспериментального тракторно-транспортного агрегата с установленным устройством – от 0,132 до 0,136 м. Более наглядно эти данные представлены на рисунке 3.38.

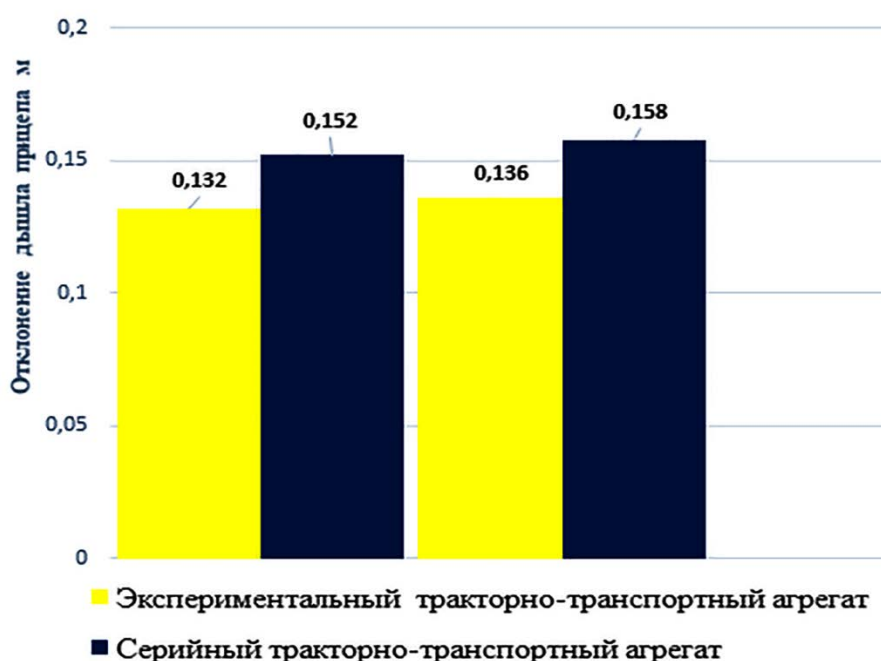


Рисунок 3.38 – Результаты экспериментальных исследований по определению отклонения от прямолинейного движения серийного и экспериментального тракторно-транспортного агрегата

На основании данных, полученных в результате экспериментальных исследований, доказано, что установка буксирно-распределяющего устройства позволяет повысить продольную устойчивость тракторно-транспортного агрегата по сравнению с серийным. Снижение колебаний переднего управляемого

моста составило в пределах 0,028 м, что несомненно дает возможность увеличить как скоростные характеристики агрегата, так и его технологические возможности при транспортировании сельскохозяйственных грузов.

Как показывают полученные результаты, вертикальные колебания у серийного ТТА составляют от 0,17 до 0,23 м, а у экспериментального тракторно-транспортного агрегата с установленным устройством – от 0,04 до 0,065 м при отклонениях от центральной оси трактора в одинаковых условиях движения на выбранном участке дороги. Более наглядно полученные данные приведены на рисунке 3.39.

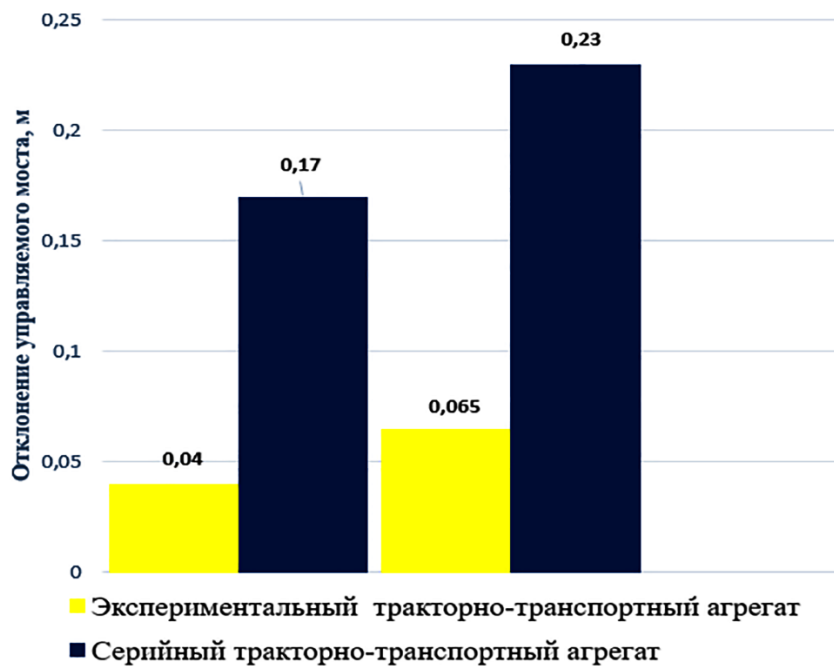


Рисунок 3.39 – Результаты экспериментальных исследований по определению колебаний переднего моста трактора

При выполнении транспортных работ тракторно-транспортными агрегатами наблюдается эффект «рысканья агрегата» по дороге, возникающий от влияния различных побочных воздействий. Это прежде всего вызвано большой степенью свободы основных составляющих самого транспортного агрегата, а также воздействием на него поверхности, по которой движется тракторно-транспортный агрегат:

- 1) продольный уклон;
- 2) поперечный уклон;
- 3) несущая способность поверхности движения;
- 4) коэффициент сцепления движителя с основанием, по которому он движется.

При этом необходимо отметить, что чередование указанных воздействий носит хаотичный характер и заранее предусмотреть конечный вариант от их влияния не представляется возможным. В этих условиях водителю тракторно-транспортного агрегата необходимо постоянно находиться в напряжении для поддержания стабилизации движения, что вызывает быструю утомляемость и снижает безопасность движения.

В этой связи возникает вопрос об оценке стабилизационной устойчивости тракторно-транспортных агрегатов с целью выявления необходимости доработки их конструктивной части за счет новых новаторских конструктивных решений.

Во втором разделе нами было предложено для оценки влияния данных факторов использовать дополнительный коэффициент, оценивающий стабилизацию движения тракторно-транспортного агрегата. При этом необходимо учесть тот момент, что для его определения необходимо выявить основные возмущающие факторы, влияющие на стабилизацию движения и в целом на предлагаемый коэффициент. Оценку необходимо проводить в сравнении с серийным вариантом, используемым на перевозке грузов.

В результате проведенных исследований тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) установлено влияние на стабилизацию движения следующих факторов: поперечный уклон поверхности, по которой движется ТТА; продольный уклон поверхности, по которой движется ТТА; состояние поверхности, по которой движется ТТА.

Математическая обработка проведенных экспериментальных исследований, результаты которых представлены в подразделах 3.1–3.2, позволила предложить значения коэффициентов, влияющих на технологические характеристики ТТА и параметры движения: коэффициент поперечной устойчивости; коэффициент продольной устойчивости на подъеме; коэффициент продольной устойчивости на спуске (рис. 3.40–3.41).

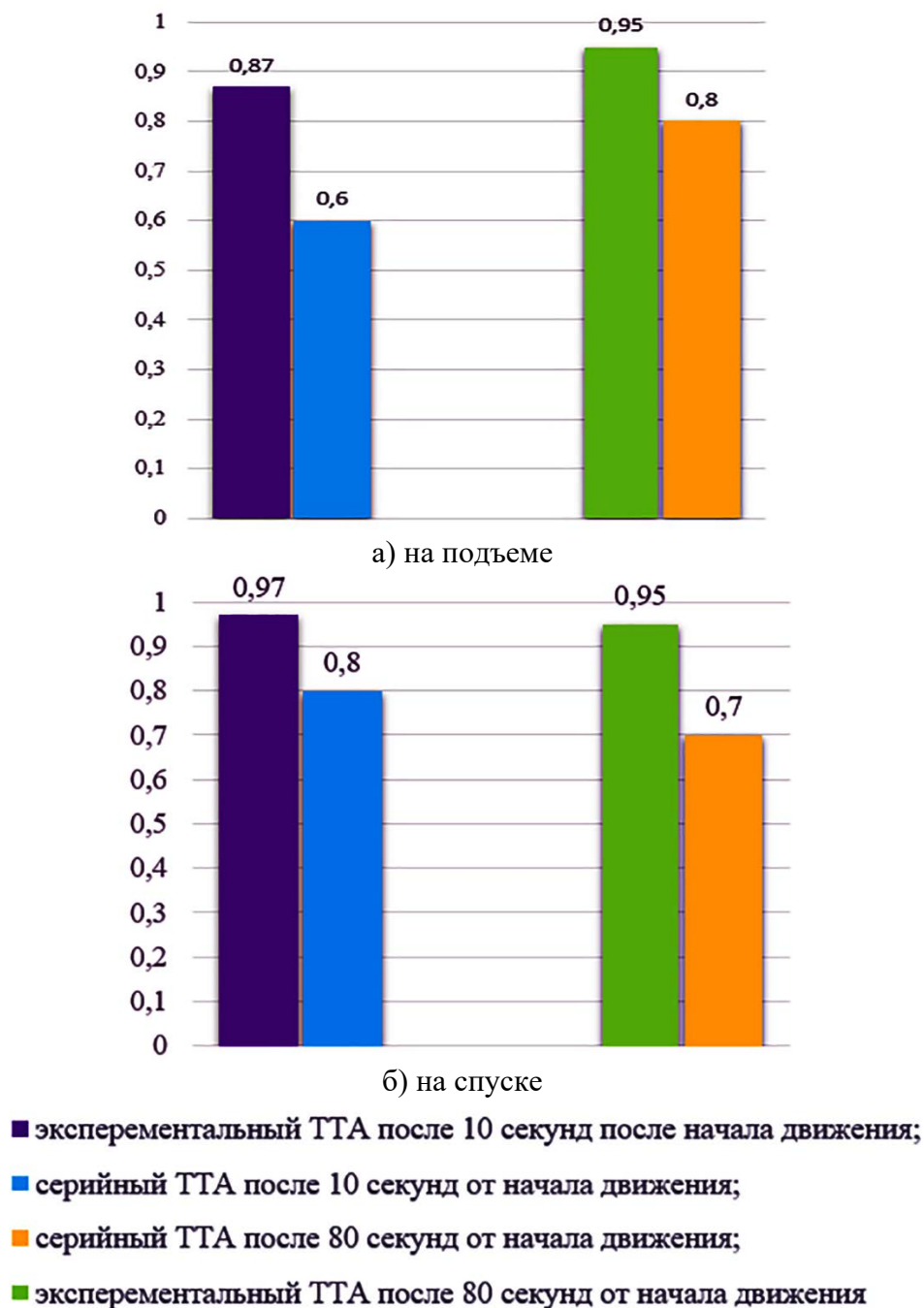


Рисунок 3.40 – Коэффициенты продольной устойчивости

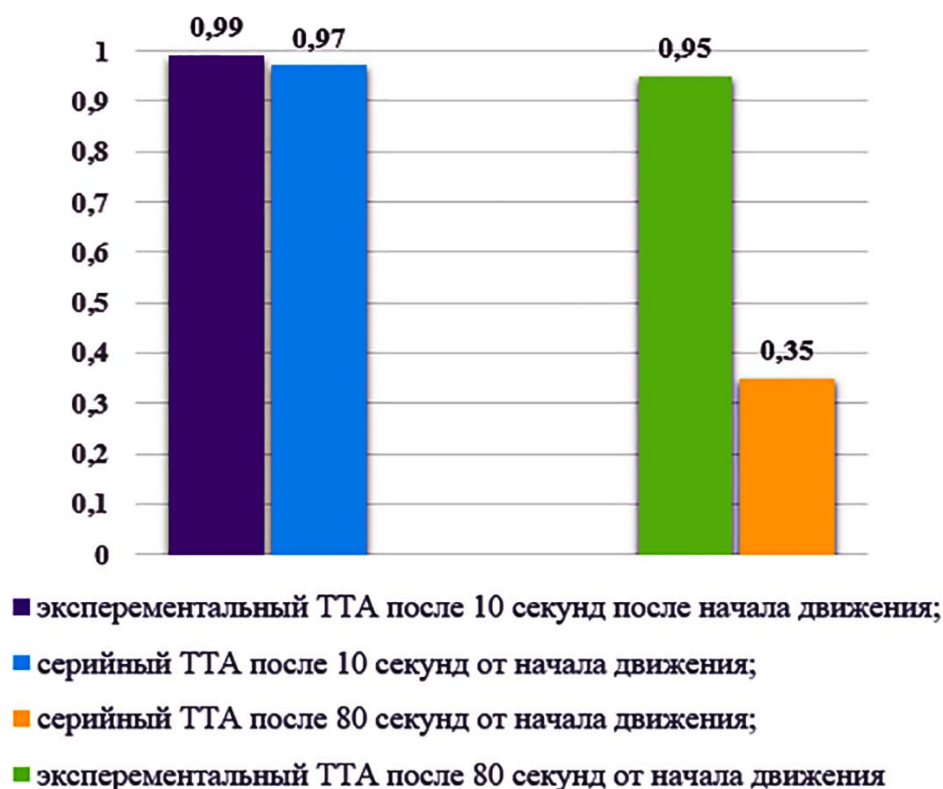


Рисунок 3.41 – Коэффициент поперечной устойчивости

Использование в качестве критерия указанных коэффициентов стабилизации позволяет в целом оценить движение ТТА, определить параметры эффективности и получить базисные данные для дальнейшего расчета эффективности предлагаемой разработки.

3.4 Результаты экспериментальных исследований по использованию многозвенных тракторно-транспортных агрегатов

3.4.1 Влияние длины выхода штока гидроцилиндра на угол поворота план-шайбы экспериментального догружающего устройства

Использование многозвенных тракторно-транспортных агрегатов является одним из эффективных методов повышения производительности ТТА

при использовании в сельском хозяйстве. При этом в ходе выполнения транспортных операций основным сдерживающим фактором является увеличение ширины транспортного коридора при повороте ТТА, что снижает безопасность использования, так как второе звено (прицеп) транспортируется с выдвиганием на полосу встречного движения.

Для устранения данного недостатка разработана конструкция устройства, которая при установке в конструкцию ТТА позволяет выполнить условия безопасности, то есть соблюдение транспортного коридора в параметрах дорожной полосы попутного направления при однополосном движении.

Теоретическими исследованиями установлено, что на изменение угла поворота направляющих колес прицепа большое влияние оказывает длина выхода штока гидроцилиндра предложенного устройства, который воздействует на угол поворота план-шайбы, отклоняющей точку сцепления дышла прицепа. Для определения влияния длины выхода штока гидроцилиндра на угол поворота план-шайбы были проведены экспериментальные исследования, результаты которых показаны на рисунках 3.42 и 3.43.

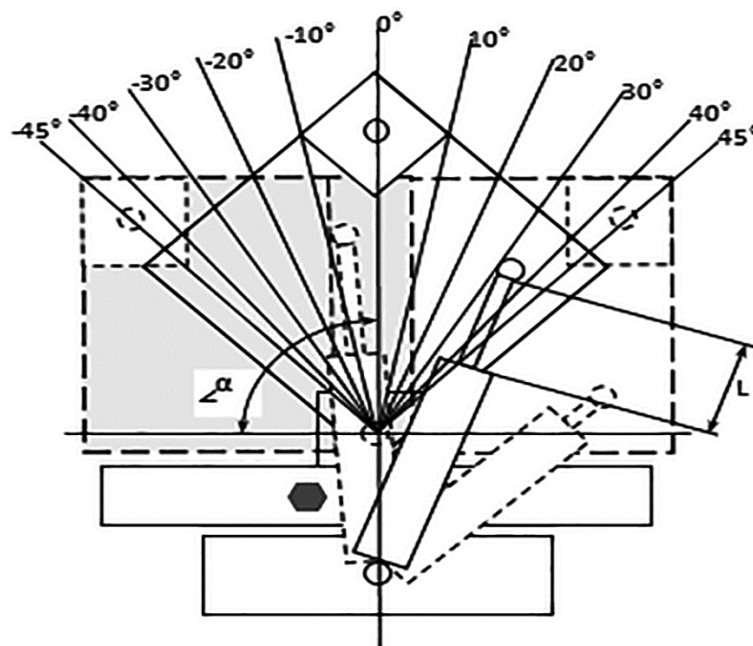


Рисунок 3.42 – Схема проведения исследований проверки влияния длины выдвижения штока гидроцилиндра на угол поворота план-шайбы

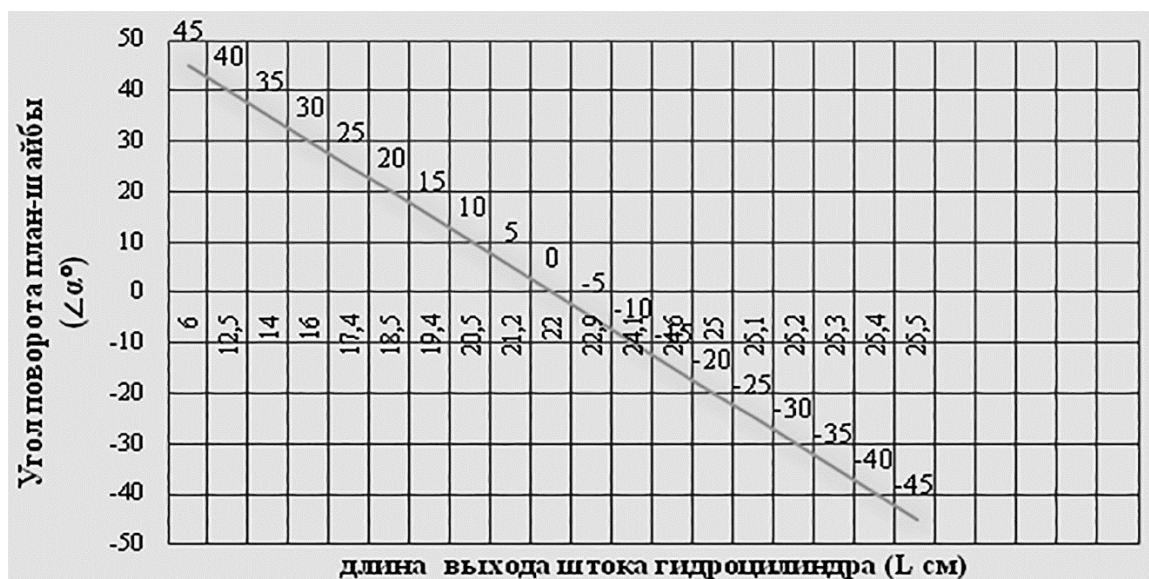
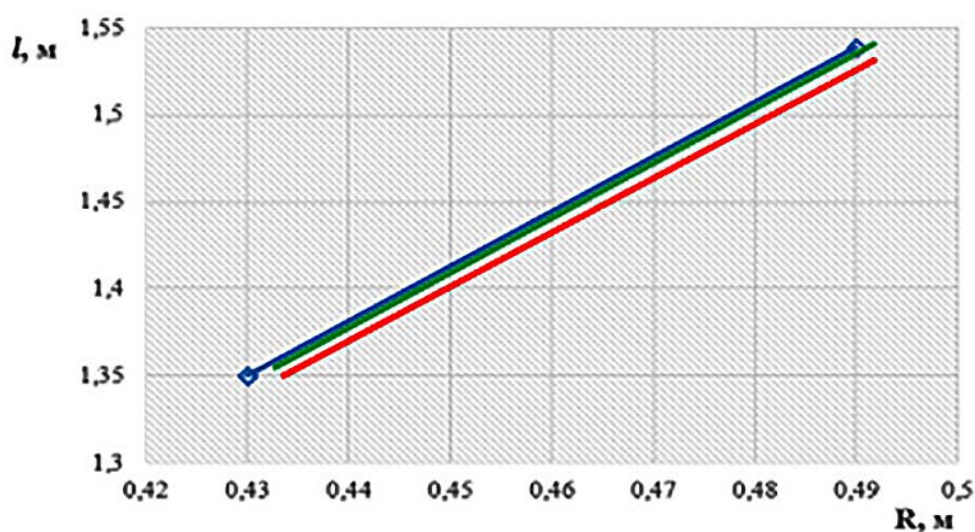


Рисунок 3.43 – Зависимость угла поворота план-шайбы от длины выдвижения штока гидроцилиндра

В результате исследований (рис. 3.43) установлено, что в предлагаемой конструкции между длиной выхода штока гидроцилиндра и углом поворота план-шайбы наблюдается прямая зависимость как при выдвижении штока, так и при его втягивании.

При повороте план-шайбы перемещается и точка соединения прицепа с трактором на определенную длину (рис. 3.44).



синий цвет – теоретическая линия;
зеленый и красный цвет – экспериментальные линии

Рисунок 3.44 – Зависимость длины перемещения ТСУ с трактором от радиуса поворота устройства

Перемещение точки соединения прицепа с трактором, в свою очередь, сказывается на радиусе поворота прицепа, а, следовательно, и на ширине транспортного коридора. Более наглядно влияние перемещения точки соединения прицепа с трактором на радиус поворота представлено на рисунке 3.45.

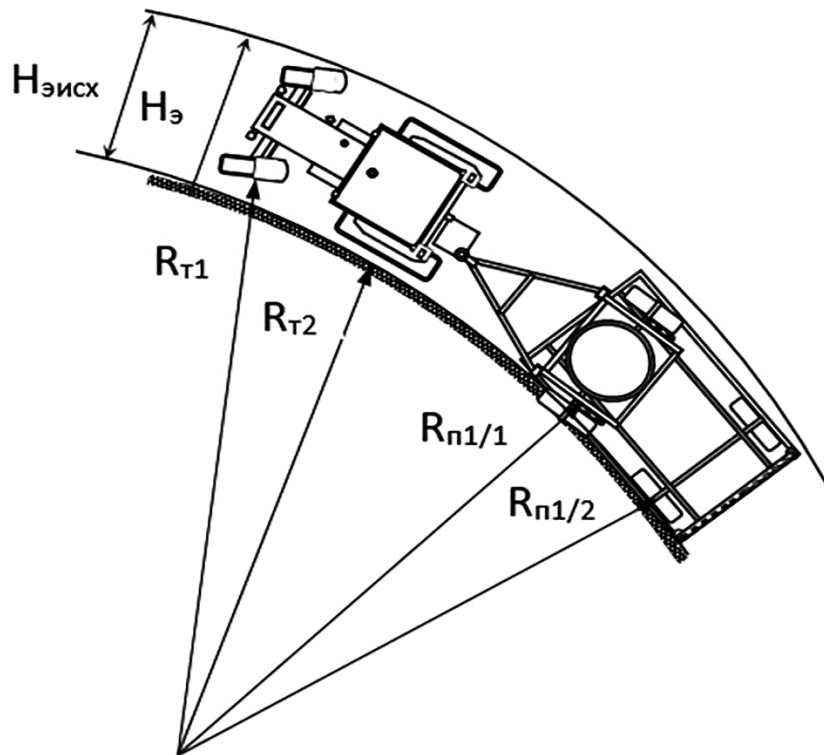


Рисунок 3.45 – Перемещения точки соединения прицепа с трактором

3.4.2 Влияние длины выхода штока гидроцилиндра догружающего устройства на угол отклонения дышла прицепа

С целью проверки влияния длины выхода штока гидроцилиндра на угол горизонтального отклонения дышла прицепа проведены экспериментальные исследования в стационарном режиме в полевых условиях, результаты которых показаны на рисунках 3.46 и 3.47.

По данным рисунка 3.47 видно, что между углом поворота дышла прицепа и длиной выхода штока гидроцилиндра существует прямая зависимость, то есть коэффициент передачи в обоих случаях равен единице.

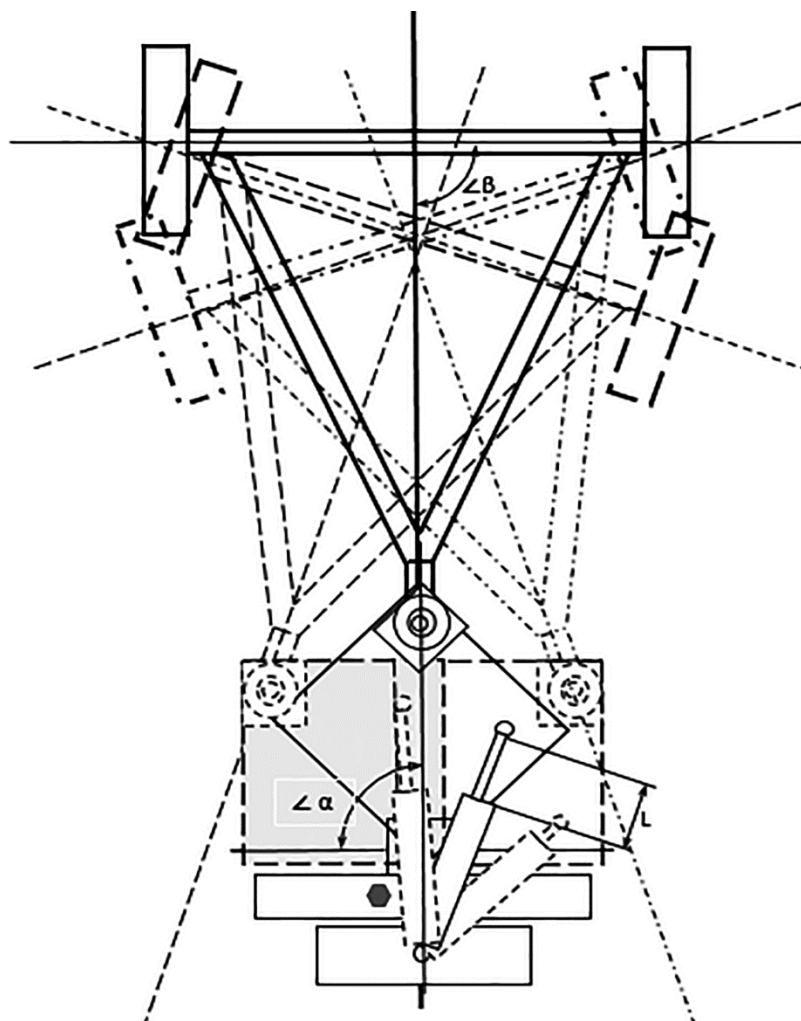


Рисунок 3.46 – Схема проведения исследований проверки влияния длины выхода штока гидроцилиндра на угол отклонения направляющих колес

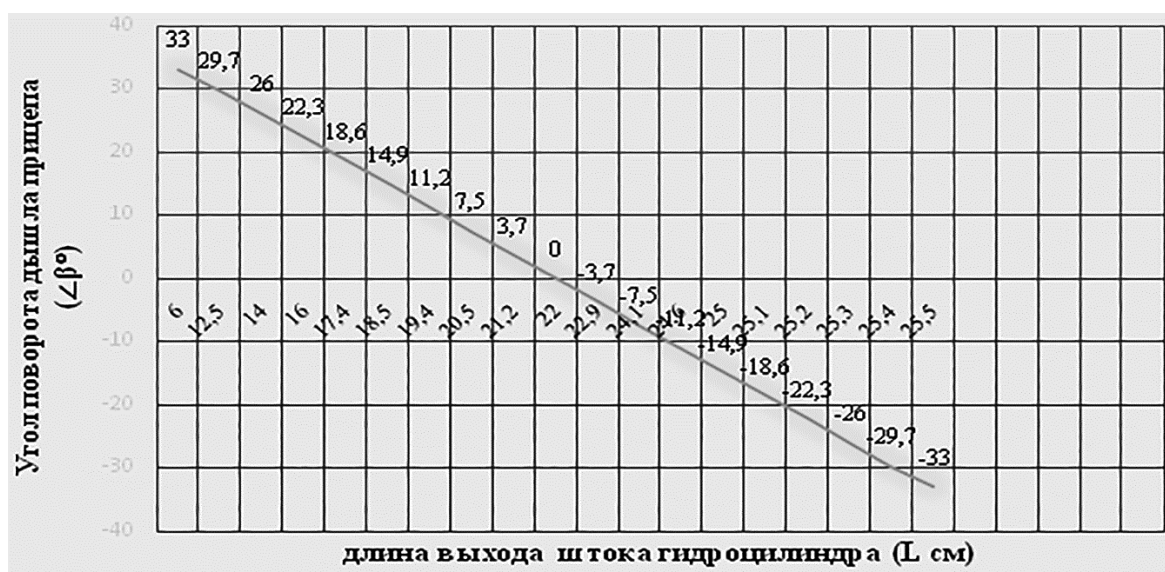


Рисунок 3.47 – Зависимость угла поворота дышла прицепа от длины выхода штока гидроцилиндра

Таким образом, в ходе лабораторно-производственной проверки подтверждены действующие взаимосвязи, возникающие при работе предлагаемого устройства, а также рассмотрены его транспортные и эксплуатационные режимы, определены оптимальные параметры при отклонении направляющих колес прицепа.

Зависимость длины перемещения точки соединения второго прицепа с первым представлена на рисунке 3.48.

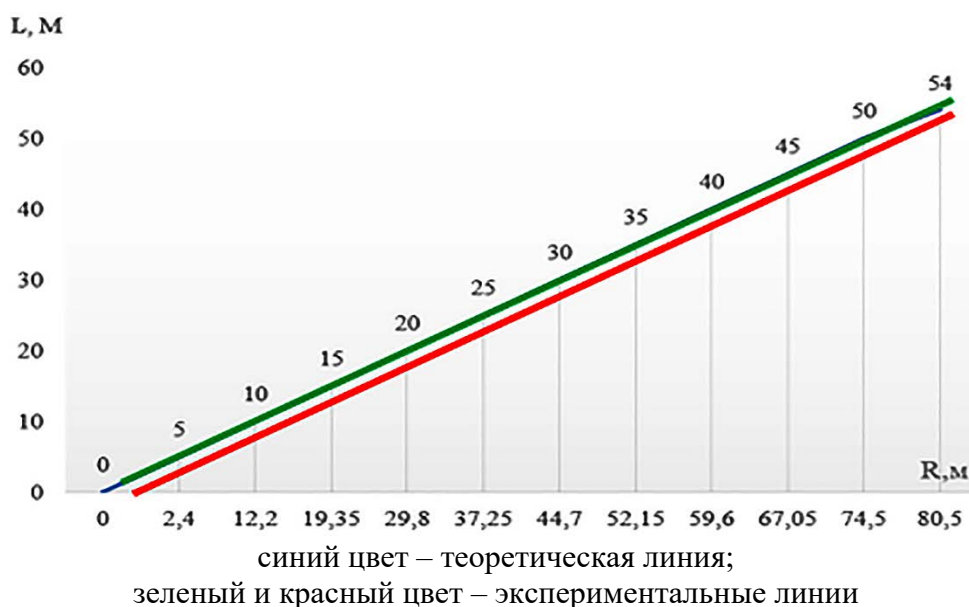


**Рисунок 3.48 – Зависимость длины перемещения ТСУ
от радиуса поворота дышла первого прицепа**

3.5 Определение оптимальных конструктивно- технологических параметров корректирующих устройств

В настоящее время полноценную оценку качества проведенных исследований невозможно сделать без применения современных статистических методов планирования и обработки многофакторных экспериментов. Использование этих методов исследования и обработки экспериментальных данных позволяет определить наиболее существенные параметры, которые оказывают

влияние на сам процесс исследований, и при этом не брать во внимание те параметры, которые не оказывают существенного влияния на исследуемый объект [23, 63]. Это позволяет добиться нахождения оптимальных условий для проведения экспериментальных исследований и, как следствие, в дальнейшем снизить трудоемкость процесса.

Для обработки результатов экспериментальных исследований используют методику полного факторного эксперимента.

Нами проведены три полных факторных эксперимента. При анализе полученных функций использован метод наименьших квадратов.

В качестве *независимых факторов* были выбраны: a_d – угол поворота дышла прицепа, град.; $a_{ш}$ – угол поворота план-шайбы, установленной между трактором и первым прицепом, град.; $h_{пр}$ – длина выхода штока гидроцилиндра, м. *Результующей функцией* определена максимальная разница значений радиуса поворота трактора, радиуса поворота первого прицепа и радиуса поворота второго прицепа.

Поскольку, согласно предварительным исследованиям, функции отклика должны быть нелинейными, то факторы имели три уровня варьирования, согласно данным таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	a_d , град.	$a_{ш}$, град.	$h_{пр}$, мм
Обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	30	40	1,25
Основной уровень (0)	17,5	22,5	0,65
Нижний уровень (–1)	5	5	0,05

3.5.1 Зависимость радиуса поворота трактора

**от угла поворота дышла прицепа, угла поворота план-шайбы
и длины выхода штока гидроцилиндра**

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров на радиус поворота трактора были выбраны три основных фактора и уровни их варьирования, оказывающие влияние на процесс поворота с установленным корректирующим устройством. Данные факторы показаны в таблице 3.2.

Для определения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	x'_1 ($x_1^2 - d$)	x'_2 ($x_2^2 - d$)	x'_3 ($x_3^2 - d$)	Y_1 (ΔR при 20°)	Y_2 (ΔR при 30°)	Y_3 (ΔR при 40°)
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,178	0,267	0,481
2	–	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,194	0,291	0,524
3	+	–	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,187	0,281	0,506
4	–	–	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,204	0,306	0,551
5	+	+	–	0,2697	0,2697	0,2697	0,179	0,269	0,484
6	–	+	–	0,2697	0,2697	0,2697	0,175	0,263	0,473
7	+	–	–	0,2697	0,2697	0,2697	0,203	0,305	0,549
8	–	–	–	0,2697	0,2697	0,2697	0,179	0,269	0,484
9	1,2154	0	0	0,7469	–0,7303	–0,7303	0,182	0,273	0,494
10	–1,2154	0	0	0,7469	–0,7303	–0,7303	0,197	0,296	0,533
11	0	1,2154	0	–0,7303	0,7469	–0,7303	0,184	0,276	0,497
12	0	–1,2154	0	–0,7303	0,7469	–0,7303	0,194	0,294	0,529
13	0	0	1,2154	–0,7303	–0,7303	0,7469	0,206	0,309	0,556
14	0	0	–1,2154	–0,7303	–0,7303	0,7469	0,179	0,269	0,484
15	0	0	0	–0,7303	–0,7303	–0,7303	0,183	0,275	0,495

Ортогональное планирование позволяет получить независимые оценки коэффициентов регрессии с минимальной дисперсией. Ортогональность центрально-композиционного плана обеспечивается соответствующим подбором звездного плеча α (для трех факторов равно 1,2154) и специальным преобразованием квадратичных переменных x_i^2 по выражению (3.73):

3 Экспериментальное подтверждение и результаты опытных испытаний энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении АПК

$$x'_i = x_i^2 - d \quad (3.73)$$

где d – поправка, зависящая от числа факторов (для трех факторов d составляет 0,7303).

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента. В нашем случае для трех степеней свободы и 85-процентном уровне значимости значение данного критерия равно 0,727.

Общий вид функции для матрицы ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка будет иметь следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (3.74)$$

Из таблицы 3.4 видно, что значимыми коэффициентами являются b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{23} , b_{123} , b_{22} , b_{33} .

Таблица 3.4 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ΔR при 20° (Y_1)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	0,188	0,00000029	1,75
b_1	–0,002	0,00000040	–3,37
b_2	–0,005	0,00000040	–8,59
b_3	0,005	0,00000040	8,68
b_{12}	–0,002	0,00000054	–3,23
b_{13}	–0,008	0,00000054	–10,36
b_{23}	0,001	0,00000054	1,53
b_{123}	0,003	0,00000054	3,57
b_{11}	–0,005	0,00000099	–0,53
b_{22}	–0,001	0,00000099	–0,87
b_{33}	0,002	0,00000099	1,51

Уравнение регрессии в кодированном виде будет иметь вид:

$$Y_1 = 0,188 - 0,002x_1 - 0,0054x_2 + 0,005x_3 + 0,002x_1x_2 - 0,008x_1x_3 + 0,0011x_2x_3 + 0,003x_1x_2x_3 - 0,001x_2^2 + 0,002x_3^2$$

Адекватность уравнения проверялась по критерию Фишера.

В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 1 = 2$ и 95-процентном уровне значимости $F = 19,4$.

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Расчет дисперсии адекватности

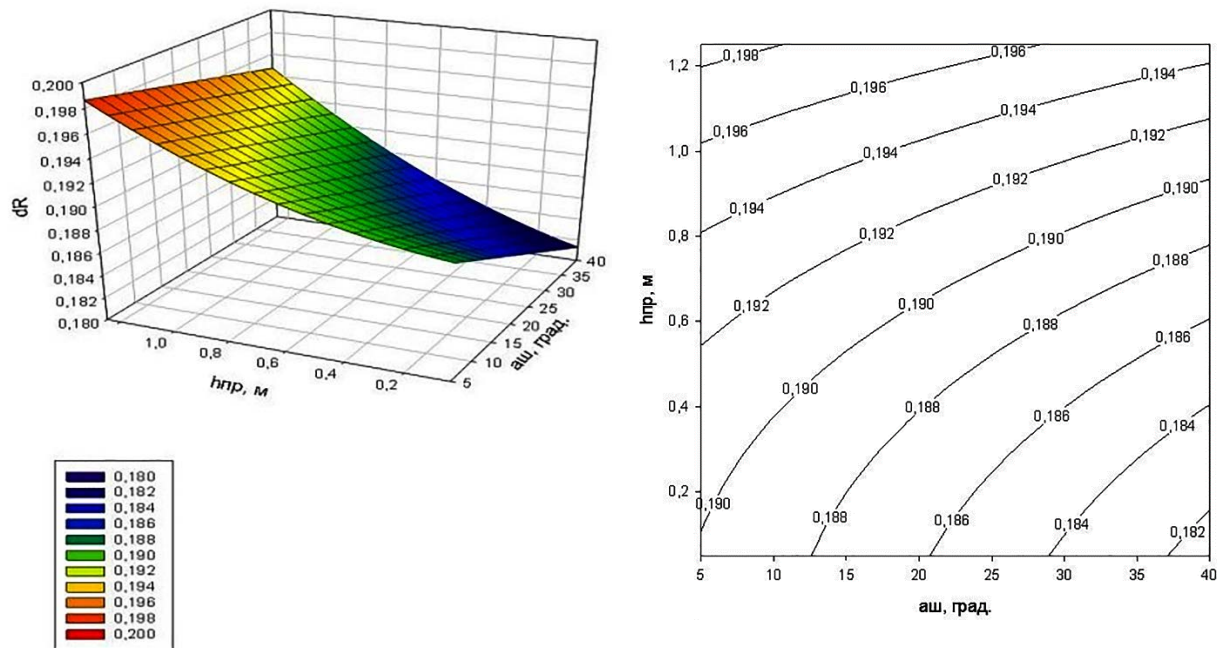
Номер опыта	Y		
	y_u	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	0,178	0,180	0,0000060180
2	0,194	0,191	0,0000093350
3	0,187	0,199	0,0001495900
4	0,204	0,203	0,0000002790
5	0,179	0,173	0,0000387990
6	0,175	0,177	0,0000040500
7	0,203	0,185	0,0003133390
8	0,179	0,190	0,0001110920
9	0,182	0,186	0,0000125610
10	0,197	0,191	0,0000397011
11	0,184	0,181	0,0000121894
12	0,194	0,196	0,0000030087
13	0,206	0,197	0,0000885832
14	0,179	0,180	0,0000004292
15	0,183	0,188	0,0000460808

Расчетные значения критерия Фишера составили 17,52. Таким образом, полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем соответствующее уравнение в раскодированном виде:

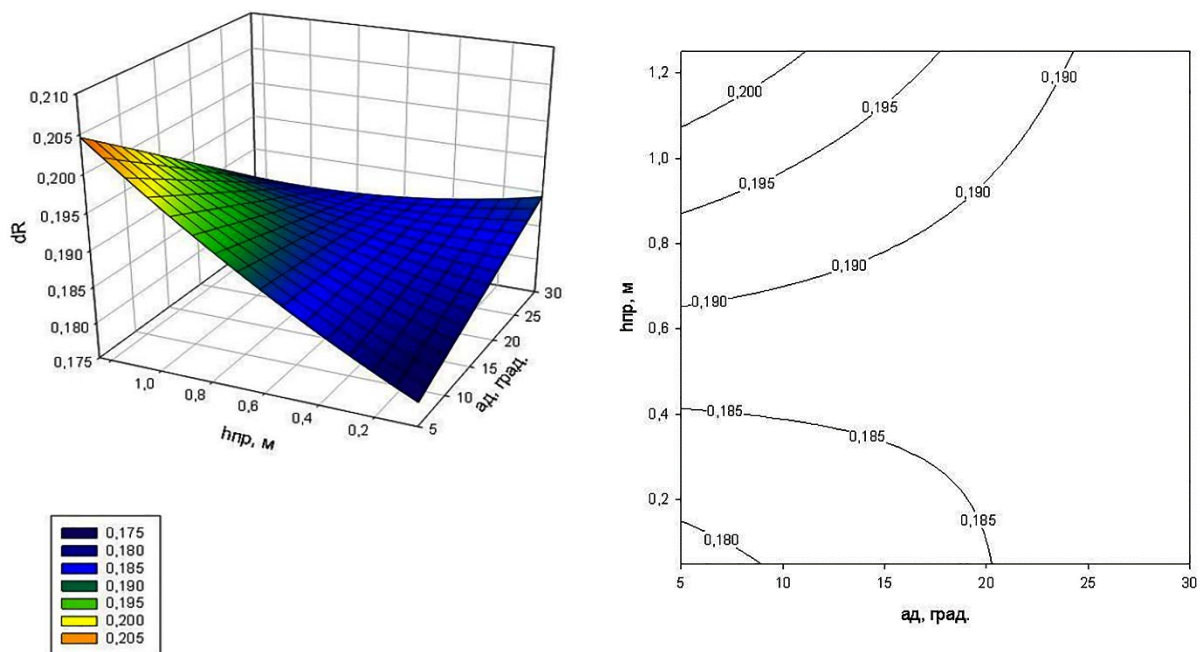
$$\Delta R = 0,173 + 0,001a_d + 0,000166a_{ш} + 0,027h_{пр} - 0,000024a_d a_{ш} - \\ - 0,0015a_d h_{пр} - 0,00024a_{ш} h_{пр} + 0,00002a_d a_{ш} h_{пр} - 0,00000a_d^2 + 0,0042h_{пр}^2$$

При построении поверхностей откликов (программа Sigma Plot v. 11.0) варьировались два фактора (рис. 3.49–3.51).



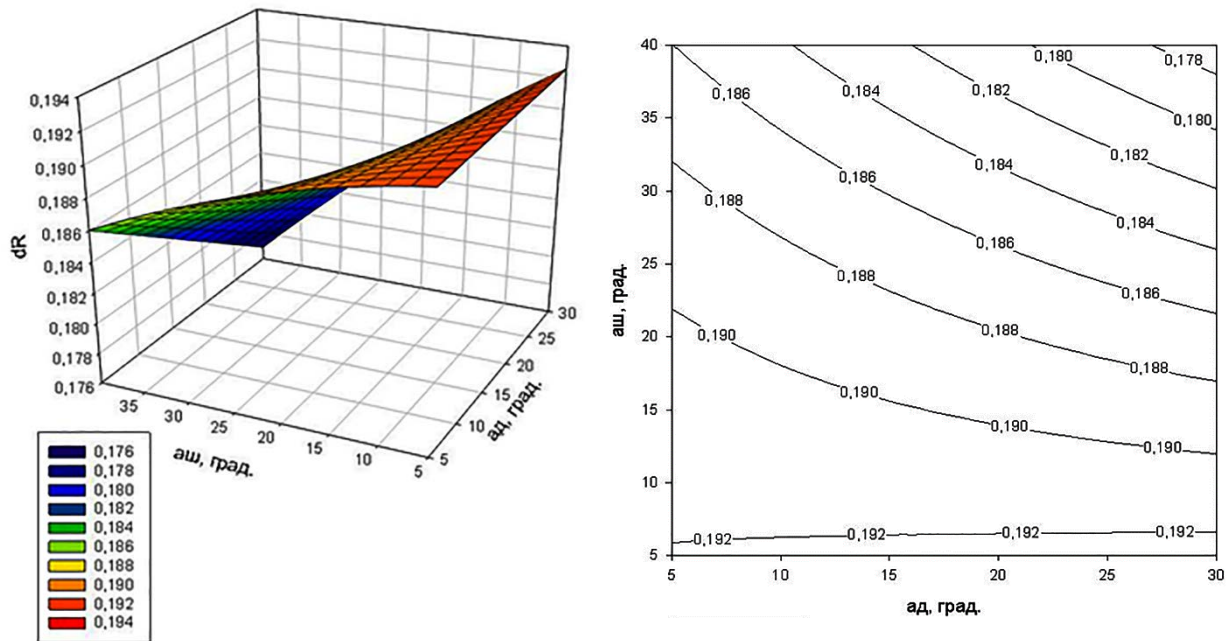
$$\Delta R = 0,191 - 0,00025a_{ш} + 0,0013h_{пр} + 0,00011a_{ш}h_{пр} + 0,0042h_{пр}^2$$

Рисунок 3.49 – Поверхность и сечение поверхности отклика ΔR в зависимости от $a_{ш}$ и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $a_{д} = 17,5$ град.)



$$\Delta R = 0,175 + 0,00049a_{д} + 0,022h_{пр} - 0,001a_{д}h_{пр} + 0,0042h_{пр}^2$$

Рисунок 3.50 – Поверхность и сечение поверхности отклика ΔR в зависимости от $a_{д}$ и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $a_{ш} = 22,5$ град.)



$$\Delta R = 0,192 + 0,000075a_{\text{д}} + 0a_{\text{ш}} - 0,000011a_{\text{д}}a_{\text{ш}} - 0,0000028a_{\text{ш}}^2$$

**Рисунок 3.51 – Поверхность и сечение
поверхности отклика ΔR в зависимости от $a_{\text{д}}$ и $a_{\text{ш}}$
(при зафиксированной на нулевом уровне $h_{\text{пр}} = 0,65$ метра)**

3.5.2 Зависимость радиуса поворота первого прицепа от угла поворота дышла прицепа, угла поворота план-шайбы и длины выхода штока гидроцилиндра

Проведем полный факторный эксперимент ΔR при 30° в качестве результирующей функции (Y_2) и проверим значимость коэффициентов регрессии по факторной обработке (табл. 3.6).

Из таблицы 3.6 видно, что значимыми коэффициентами являются b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123} , b_{11} , b_{22} , b_{33} .

Уравнение регрессии в кодированном виде будет иметь вид:

$$Y_2 = 0,283 - 0,003x_1 - 0,0085x_2 + 0,008x_3 - 0,004x_1x_2 - \\ - 0,011x_1x_3 + 0,0016x_2x_3 + 0,004x_1x_2x_3 - 0,002x_1^2 - 0,002x_2^2 + 0,001x_3^2$$

3 Экспериментальное подтверждение и результаты опытных испытаний энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении АПК

Таблица 3.6 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ΔR при 30° (Y_2)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	0,283	0,00000070	170,8
b_1	–0,003	0,00000094	–3,29
b_2	–0,008	0,00000094	–8,73
b_3	0,008	0,00000094	8,24
b_{12}	–0,004	0,00000130	–3,19
b_{13}	–0,011	0,00000130	–10,01
b_{23}	0,002	0,00000130	1,43
b_{123}	0,004	0,00000130	3,41
b_{11}	–0,002	0,00000240	–1,21
b_{22}	–0,002	0,00000240	–0,99
b_{33}	0,001	0,00000240	0,77

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера.

В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 1 = 2$ и 95-процентном уровне значимости $F = 19,4$. Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Расчет дисперсии адекватности

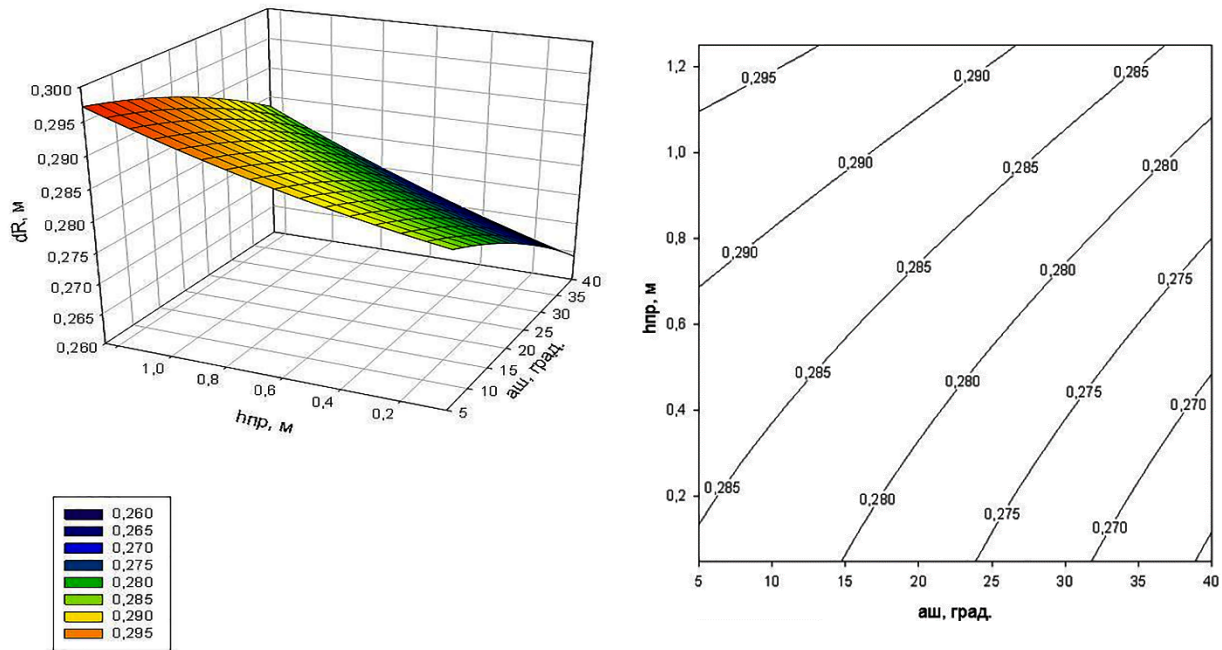
Номер опыта	Y		
	y_u	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	0,267	0,268	0,00000151
2	0,291	0,286	0,00002529
3	0,281	0,300	0,00034547
4	0,306	0,306	0,00000000
5	0,269	0,261	0,00006057
6	0,263	0,268	0,00002115
7	0,305	0,281	0,00056573
8	0,269	0,288	0,00034584
9	0,273	0,280	0,00004509
10	0,296	0,287	0,00007274
11	0,276	0,271	0,00002079
12	0,294	0,296	0,00000305
13	0,309	0,295	0,00020285
14	0,269	0,272	0,00001175
15	0,275	0,284	0,00005270

Расчетные значения критерия Фишера составили 15,612. Таким образом, полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем данное уравнение в раскодированном виде:

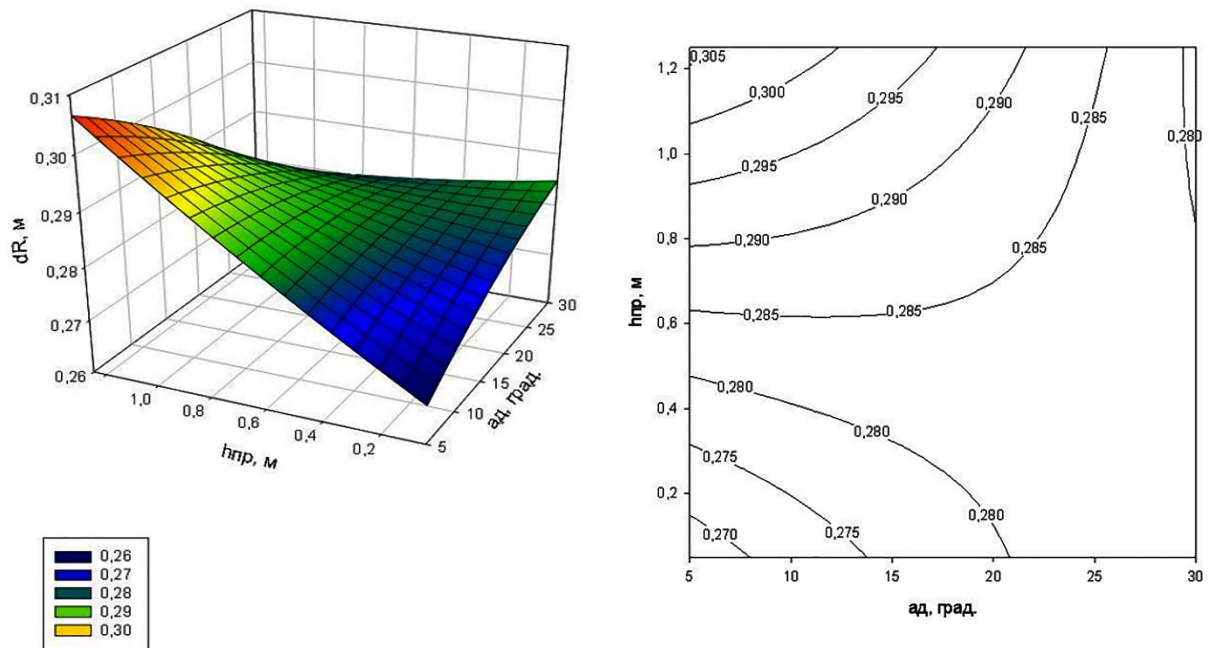
$$\begin{aligned}\Delta R = & 0,256 + 0,002a_d + 0,00026a_{ш} + 0,044h_{пр} - 0,000036a_d a_{ш} - \\ & - 0,002a_d h_{пр} - 0,00036a_{ш} h_{пр} + 0,00003a_d a_{ш} h_{пр} - 0,000012a_d^2 - \\ & - 0,000005a_{ш}^2 + 0,0033h_{пр}^2\end{aligned}$$

При построении поверхностей откликов (программа Sigma Plot v. 11.0) варьировались два фактора (рис. 3.52–3.54).



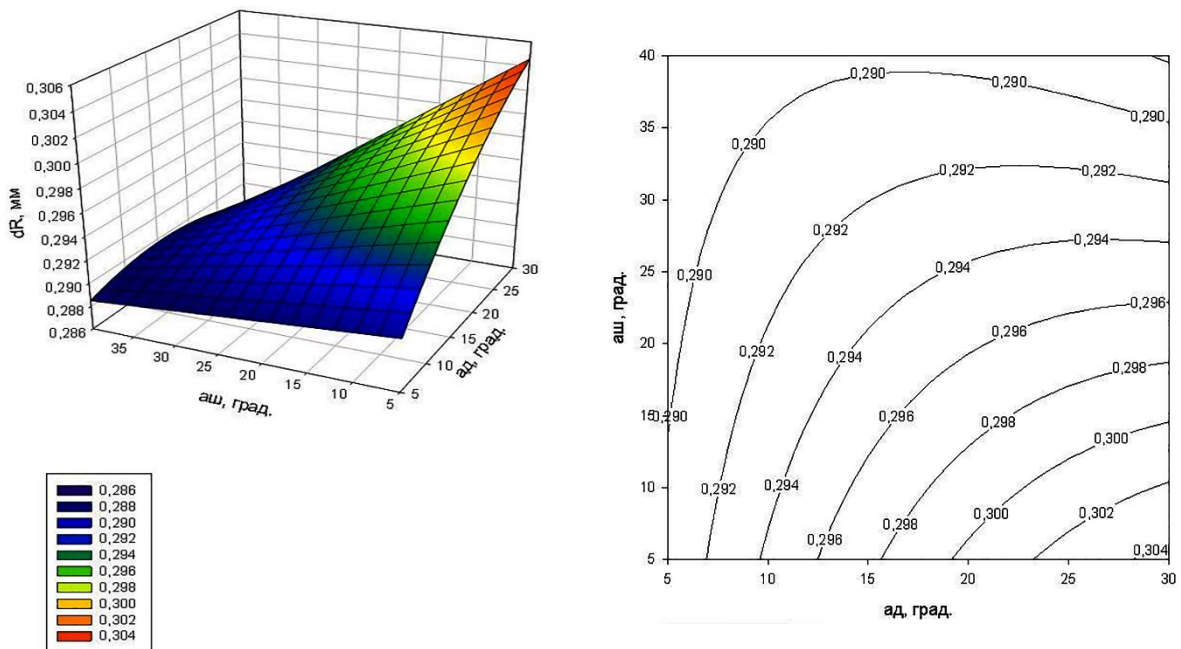
$$\begin{aligned}\Delta R = & 0,286 - 0,00036a_{ш} + 0,0056h_{пр} + 0,00015a_{ш} h_{пр} - \\ & - 0,000005a_{ш}^2 + 0,0033h_{пр}^2\end{aligned}$$

**Рисунок 3.52 – Поверхность и сечение
поверхности отклика ΔR в зависимости от $a_{ш}$ и $h_{пр}$
(при зафиксированной на нулевом уровне $a_d = 17,5$ град.)**



$$\Delta R = 0,26 + 0,0012a_d + 0,022h_{pr} - 0,001a_d h_{pr} + 0,0042h_{pr}^2$$

Рисунок 3.53 – Поверхность и сечение поверхности отклика ΔR в зависимости от a_d и h_{pr} (при зафиксированной на нулевом уровне $a_{ш} = 22,5$ град.)



$$\Delta R = 0,286 + 0,001a_d + 0,000029a_{ш} - 0,000017a_d a_{ш} - 0,00001a_d^2 + 0,0000028a_{ш}^2$$

Рисунок 3.53 – Поверхность и сечение поверхности отклика ΔR в зависимости от a_d и $a_{ш}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $h_{pr} = 0,65$ метра)

3.5.3 Зависимость радиуса поворота второго прицепа

**от угла поворота дышла прицепа, угла поворота план-шайбы
и длины выхода штока гидроцилиндра**

Проведем полный факторный эксперимент ΔR при 40° в качестве результирующей функции (Y_3) и проверим значимость коэффициентов регрессии по факторной обработке (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ΔR при 40° (Y_3)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	0,510	0,00000187	187,04
b_1	–0,005	0,00000256	–3,39
b_2	–0,015	0,00000256	–9,53
b_3	0,015	0,00000256	9,11
b_{12}	–0,007	0,00000350	–3,47
b_{13}	–0,021	0,00000350	–10,96
b_{23}	0,003	0,00000350	1,60
b_{123}	0,007	0,00000350	3,74
b_{11}	–0,003	0,00000642	–1,21
b_{22}	–0,003	0,00000642	–1,34
b_{33}	0,001	0,00000642	0,53

Из таблицы 3.8 видно, что более значимыми коэффициентами являются $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}, b_{11}, b_{22}$.

Уравнение регрессии в кодированном виде будет иметь вид:

$$Y_3 = 0,51 - 0,005x_1 - 0,015x_2 + 0,015x_3 - 0,007x_1x_2 - \\ - 0,021x_1x_3 + 0,003x_2x_3 + 0,007x_1x_2x_3 - 0,003x_1^2 - 0,003x_2^2$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера.

В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 1 = 2$ и 95-процентном уровне значимости $F = 19,4$. Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 3.9.

3 Экспериментальное подтверждение и результаты опытных испытаний энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении АПК

Таблица 3.9 – Расчет дисперсии адекватности

Номер опыта	Y		
	y_u	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	0,481	0,482	0,0000002917
2	0,524	0,514	0,0001043403
3	0,506	0,540	0,0011694397
4	0,551	0,551	0,0000000018
5	0,484	0,471	0,0001657134
6	0,473	0,482	0,0000804986
7	0,549	0,508	0,0016496692
8	0,484	0,519	0,0012410791
9	0,494	0,504	0,0001101248
10	0,533	0,518	0,0002348515
11	0,497	0,488	0,0000732120
12	0,529	0,534	0,0000223311
13	0,556	0,530	0,0006544663
14	0,484	0,492	0,0000600890
15	0,495	0,511	0,0001460372

Расчетные значения критерия Фишера составили 18,55.

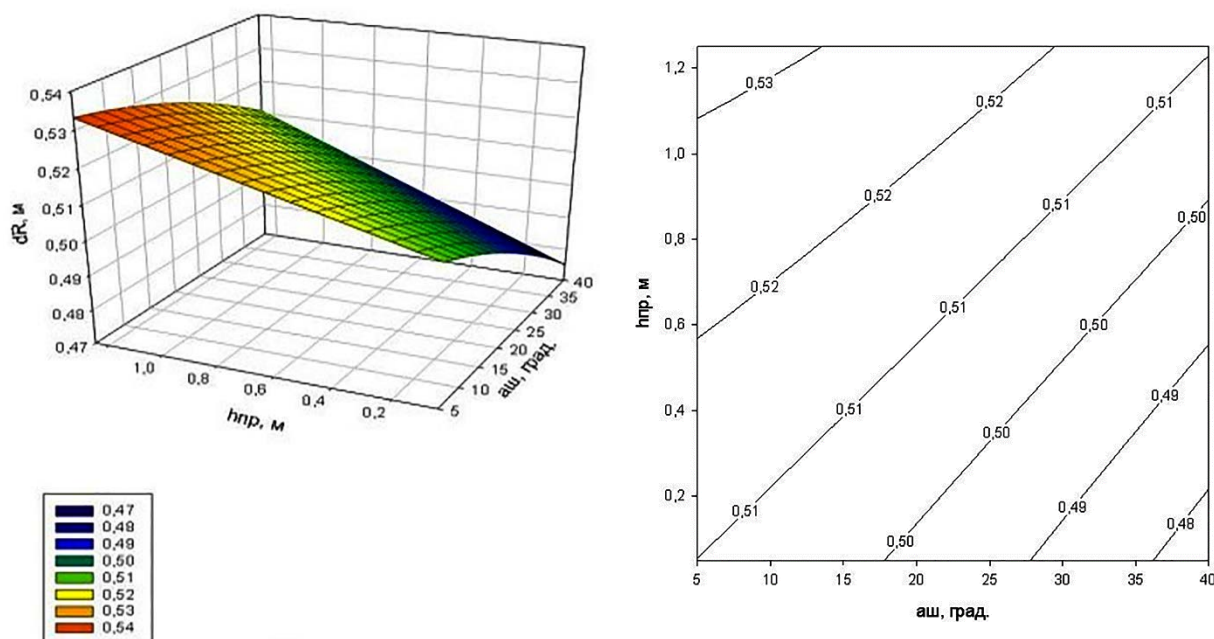
Таким образом, полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем уравнение регрессионного анализа в раскодированном виде:

$$dR = 0,457 + 0,00348a_d + 0,0006a_{ш} + 0,087h_{пр} - \\ - 0,0000646a_d a_{ш} - 0,004a_d h_{пр} - 0,0006a_{ш} h_{пр} + \\ + 0,000053a_d a_{ш} h_{пр} - 0,00012a_d^2 - 0,000011a_{ш}^2$$

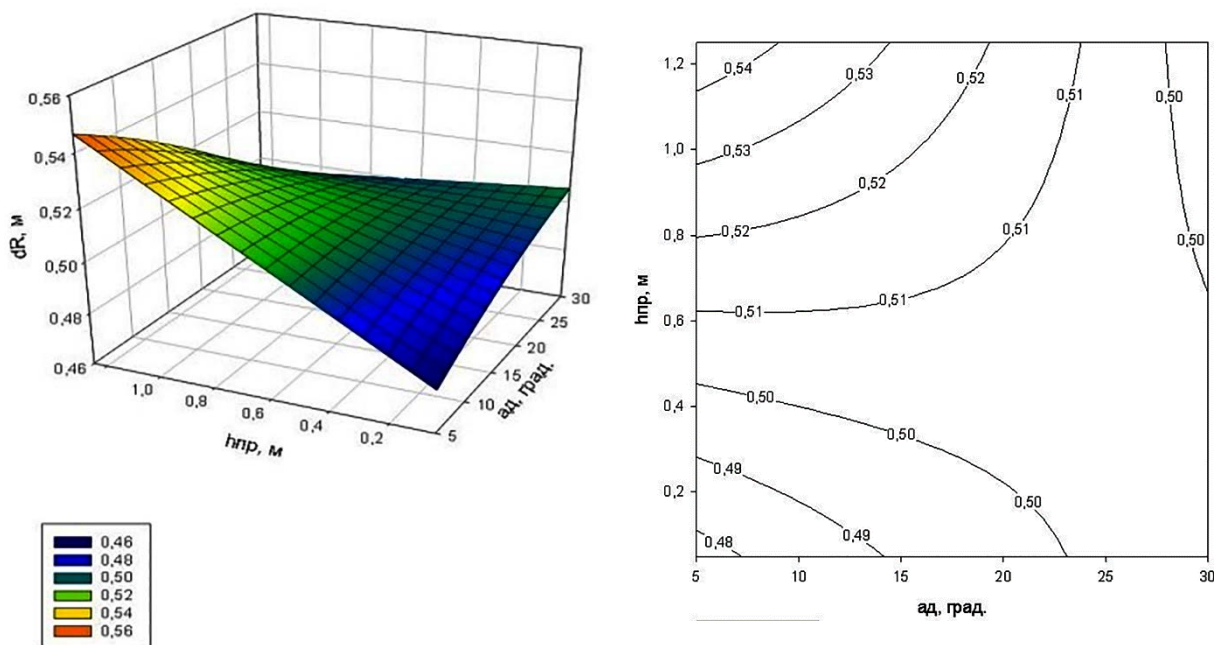
При построении поверхностей откликов (программа Sigma Plot v. 11.0) варьировались два фактора (рис. 3.55–3.57).

Проведенный анализ показал, что применение предложенного устройства с обоснованными оптимальными параметрами дает возможность регулировать радиус поворота транспортно-тракторного агрегата.



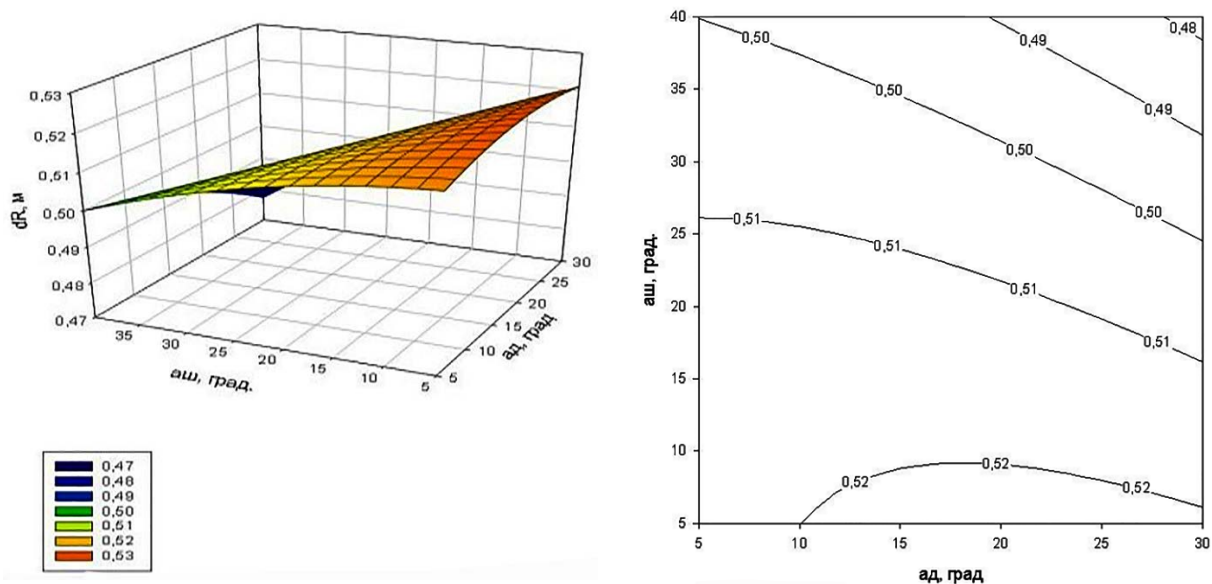
$$\Delta R = 0,512 - 0,00056a_{\text{ш}} + 0,0018h_{\text{пр}} + 0,00029a_{\text{ш}}h_{\text{пр}} - 0,00001a_{\text{ш}}^2$$

**Рисунок 3.55 – Поверхность и сечение
поверхности отклика ΔR в зависимости от $a_{\text{ш}}$ и $h_{\text{пр}}$
(при зафиксированной на нулевом уровне $a_{\text{д}} = 17,5$ град.)**



$$\Delta R = 0,464 + 0,002a_{\text{д}} + 0,072h_{\text{пр}} - 0,0027a_{\text{д}}h_{\text{пр}} - 0,00002a_{\text{д}}^2$$

**Рисунок 3.56 – Поверхность и сечение
поверхности отклика ΔR в зависимости от $a_{\text{д}}$ и $h_{\text{пр}}$
(при зафиксированной на нулевом уровне $a_{\text{ш}} = 22,5$ град.)**



$$\Delta R = 0,513 + 0,001a_d + 0,00015a_{ш} - 0,00003a_d a_{ш} - 0,00002a_d^2 - 0,00001a_{ш}^2$$

Рисунок 3.57 – Поверхность и сечение поверхности отклика ΔR в зависимости от a_d и $a_{ш}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $h_{пр} = 0,65$ метра)

3.5.4 Результаты исследований по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров тракторно-транспортного агрегата на повороте

Далее найдем оптимальные значения факторов, при которых разница значений радиуса поворота трактора, радиуса поворота первого прицепа и радиуса поворота второго прицепа стремится к минимуму. Для этого используем **метод компромиссных решений**. Данный метод относится к графическим способам определения оптимумов и заключается в наложении сечений поверхностей откликов друг на друга.

Произведем сопоставление поверхностей отклика и сечений поверхностей отклика, используя результаты исследований подразделов 3.5.1–3.5.3

настоящей монографии. Сопоставим поверхности отклика и сечений поверхностей отклика ΔR в зависимости:

1. От параметров $a_{ш}$ и $h_{пр}$ при зафиксированном на нулевом уровне параметре $a_{д}$, равном 17,5 градуса. Для этого используем рисунки 3.49, 3.52 и 3.55.
2. От параметров $a_{д}$ и $h_{пр}$ при зафиксированном на нулевом уровне параметре $a_{ш}$, равном 22,5 градуса. Для этого используем рисунки 3.50, 3.53 и 3.56.
3. От параметров $a_{д}$ и $a_{ш}$ при зафиксированном на нулевом уровне параметре $h_{пр}$, равном 0,65 метра. Для этого используем рисунки 3.51, 3.54 и 3.57.

Чтобы найти приемлемые значения факторов, необходимо решить компромиссную задачу для трех полученных уравнений регрессии.

Поиск компромиссных значений осуществлялся при помощи программ Sigma Plot v. 11.0 и Компас 3DV10 (рис. 3.58–3.61).

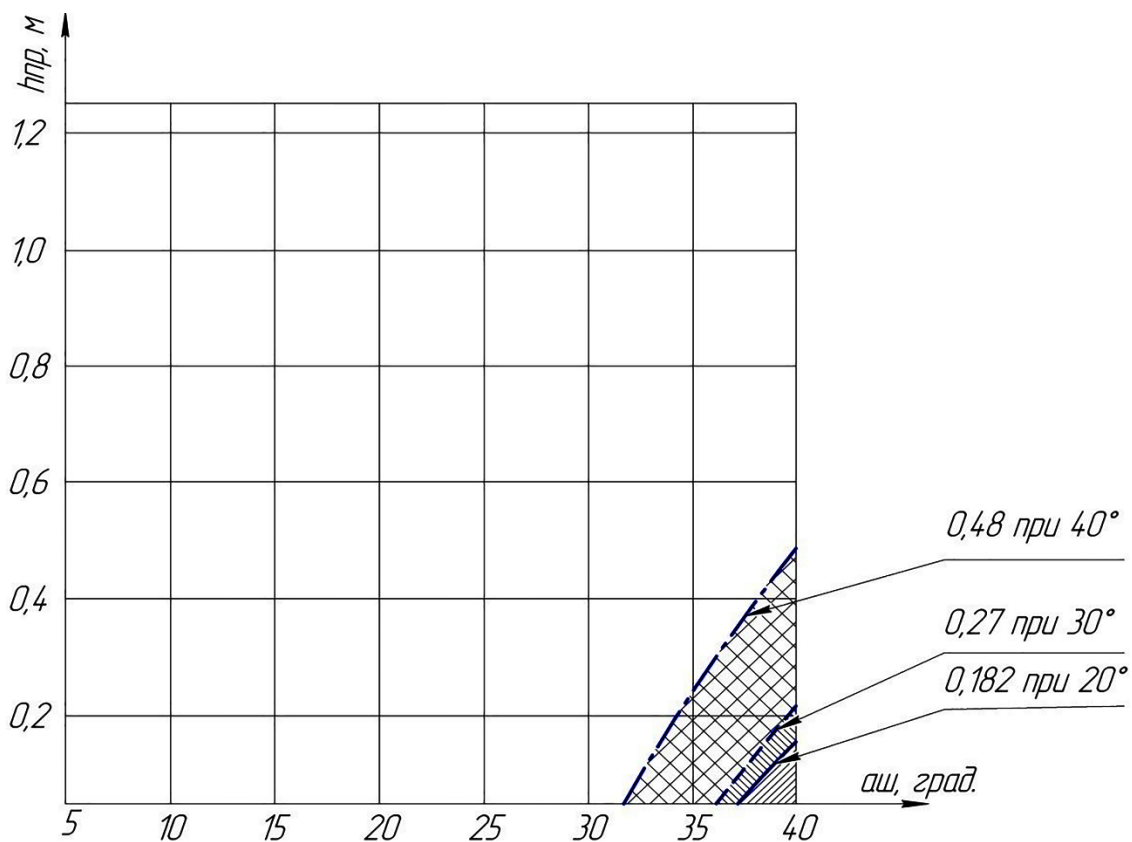


Рисунок 3.58 – Схема для определения оптимальных значений факторов при минимальных значениях ΔR в зависимости от $a_{ш}$ и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $a_{д} = 17,5$ град.)

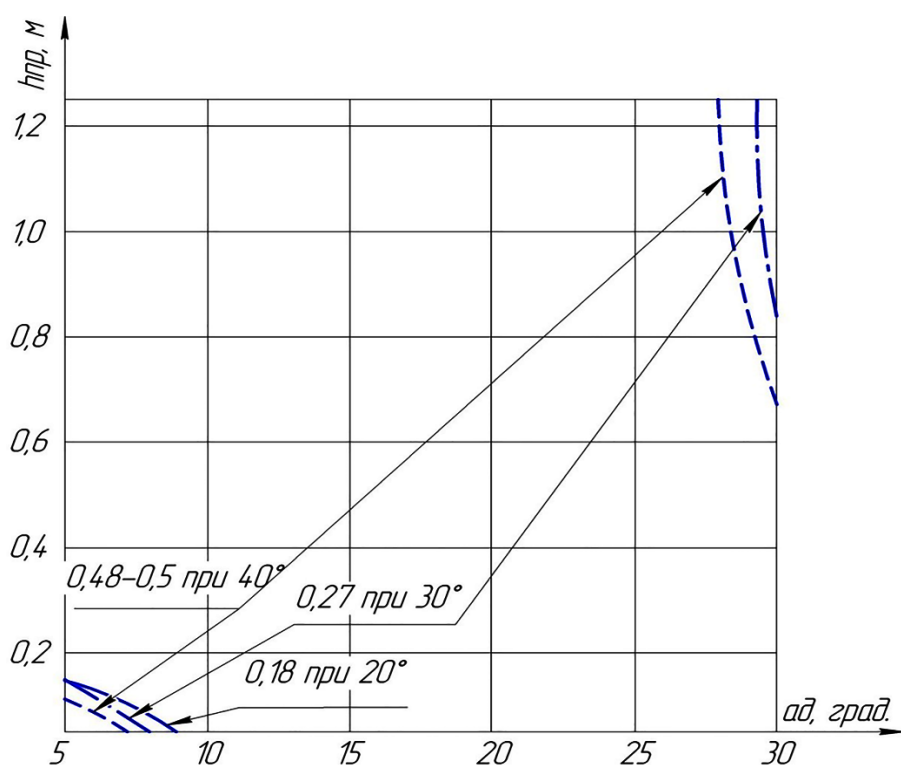


Рисунок 3.59 – Схема для определения оптимальных значений факторов при минимальных значениях ΔR в зависимости от α_d и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $\alpha_{ш} = 22,5$ град.)

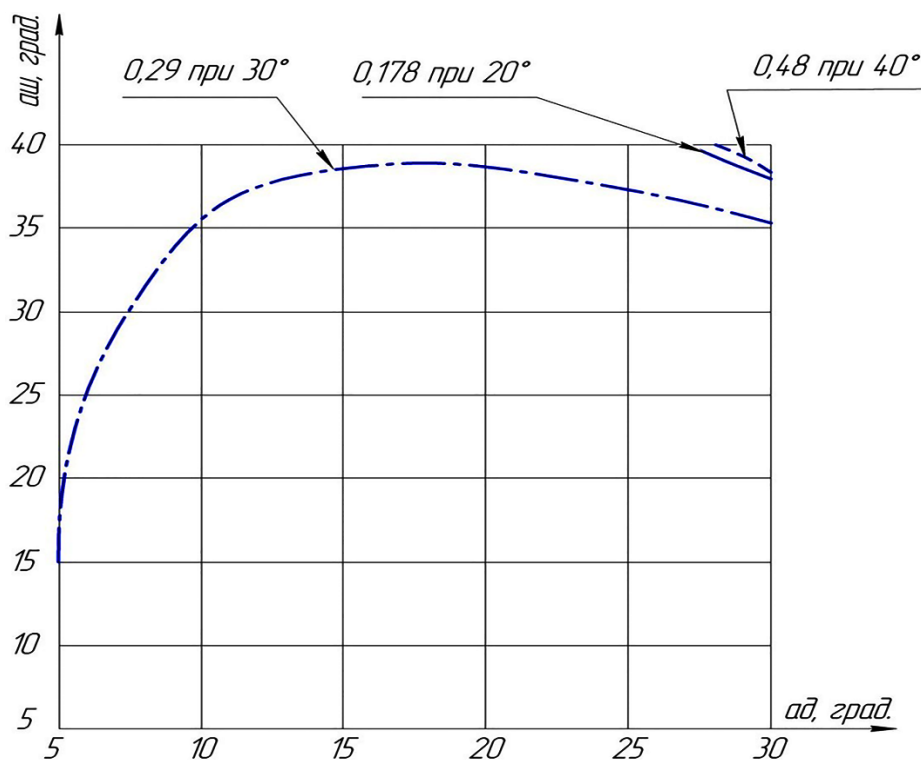


Рисунок 3.60 – Схема для определения оптимальных значений факторов при минимальных значениях ΔR в зависимости от α_d и $\alpha_{ш}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $h_{пр} = 0,65$ метра)

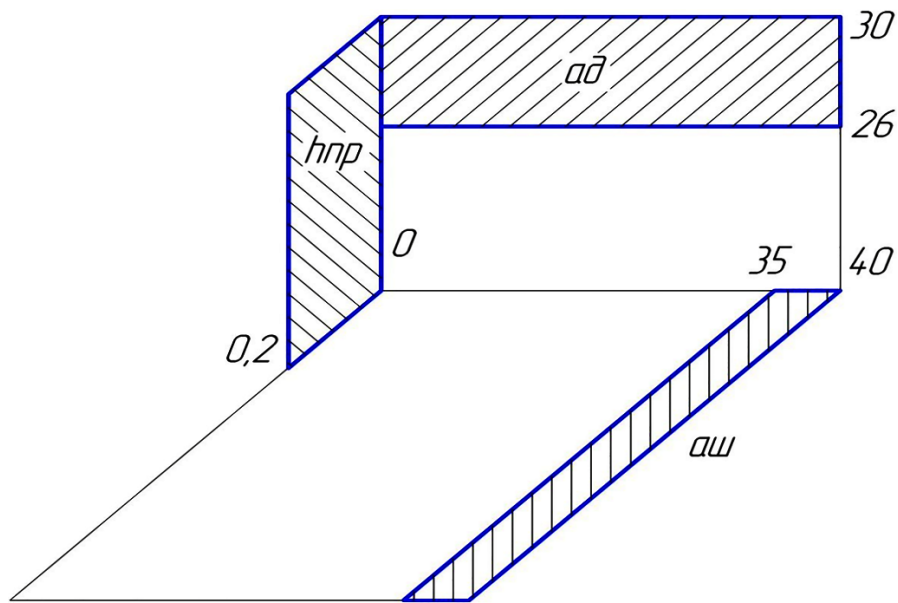


**Рисунок 3.61 – Схема оптимальных значений факторов
при минимальных значениях ΔR**

В результате решения компромиссной задачи получены следующие приемлемые значения уровней факторов:

- 1) угол поворота дышла прицепа (α_δ) равен 26–30 градусов;
- 2) угол поворота план-шайбы, установленной между трактором и прицепом ($\alpha_\text{ш}$), равен 35–40 градусов;
- 3) длина выхода штока гидроцилиндра ($h_\text{пр}$) составляет 0–0,2 метра.

В данных пределах значение ΔR является минимальным при всех прочих равных условиях.

3.6 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

3.6.1 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний экспериментального тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством

При проведении сравнительных хозяйственных испытаний применялся приборный комплекс MAGENE C406 Pro (рис. 3.62) с автономным датчиком,

установленным на колесо трактора.



Рисунок 3.62 – Фрагмент полевых испытаний

При этом замерялись следующие параметры агрегата: пройденный путь; скорость движения (частота вращения ведущих колес); время опыта; время движения; расход топлива.

Эксплуатационно-технологическая оценка работы тракторно-транспортных агрегатов проводилась при сравнительных хозяйственных испытаниях, осуществляемых в реальных условиях их эксплуатации в Амурской области. При этом режимы эксплуатации сравниваемых ТТА были сопоставимы.

При выполнении сравнительных хозяйственных испытаний основное внимание уделялось эффективности выполняемых работ. Сравнительные хозяйственные испытания и хронометражные наблюдения были проведены на базе КФХ «Бондаренко Н. А.» Мазановского района Амурской области на транспортировке сельскохозяйственных грузов в составе тракторно-транспортного агрегата. Результаты испытаний представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты сравнительных хозяйственных испытаний экспериментального ТТА на транспортных работах

Показатели	МТЗ-82 + 2ПТС-4М	
	серийный	экспериментальный
Длина маршрута, м	1 920	1 920
Грузоподъемность теоретическая, т	4	4
Грузоподъемность фактическая, т	3,7	3,7
Скорость движения по прямой, м/с	6,5	6,7
Скорость движения на поворотах, м/с	4,2	4,5
Производительность за один час основного рабочего времени, т·км	6,4	8,1
Коэффициент использования времени движения	0,93	0,93
Расход топлива, л/т·км	0,98	0,79

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об эффективности установки предлагаемого устройства.

3.6.2 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний многозвенного тракторно-транспортного агрегата на транспортных работах

С целью определения эффективности использования тракторно-транспортного агрегата были проведены экспериментальные исследования по вывозу урожая зерновых (ячмень) с полей в условиях Амурской области. Фрагмент проведения исследований показан на рисунке 3.63.

Хозяйственные испытания проводились с серийным трактором МТЗ-80 и прицепами 2ПТС-4 в сравнении с тракторно-транспортным агрегатом, оборудованным устройствами для оптимизации ширины тракторного коридора. Основной целью данных испытаний стало определение параметров, характеризующих эффективность работы агрегатов: производительность за один час времени движения; коэффициент использования времени движения; рабочая скорость движения; расход топлива.



Рисунок 3.63 – Фрагмент проведения сравнительных хозяйственных испытаний

Все необходимые для анализа эффективности работы параметры определялись по известным формулам [25, 33, 51].

Производительность в тонно-километрах за один час времени движения устанавливалась по формуле (3.75):

$$W_{\text{тк}} = \frac{Q_i \cdot l_i}{T_{\text{дв}}} \quad (3.75)$$

где Q_i – масса перевозимого груза, т;
 l_i – среднее расстояние каждой ездки, км;
 $T_{\text{дв}}$ – время движения, ч.

Коэффициент использования времени движения рассчитывали с использованием формулы (3.76):

$$K_{\text{дв}} = \frac{T_p}{T_p + T_{\text{п}}} = \frac{T_p}{T_{\text{дв}}} \quad (3.76)$$

где T_p – время, затраченное на переезд, ч;
 $T_{\text{п}}$ – время, затраченное на повороты, ч.

Расход топлива находили по формуле (3.77):

$$g_{\text{га}} = \frac{G_{\text{оп}}}{T_{\text{оп}}} \quad (3.77)$$

где $G_{оп}$ – количество топлива, израсходованного за опыт, кг;
 $T_{оп}$ – время, за которое израсходовано топливо, ч.

В таблице 3.11 приведены результаты сравнительных хозяйственных испытаний серийного и экспериментального ТТА.

Таблица 3.11 – Результаты сравнительных хозяйственных испытаний ТТА

Показатели	Многозвенный ТТА (МТЗ-80 + 2 прицепа 2ПТС-4)	
	серийный	экспериментальный
Длина плеча подвоза, м	1 820	1 820
Теоретическая скорость, м/с	9,8	9,8
Рабочая скорость, м/с	7,41	7,94
Грузоподъемность теоретическая, т	4+4	4+4
Грузоподъемность действительная, т	3,81+3,81	3,83+3,83
Производительность за один час времени движения, т·км	95,8	115,1
Коэффициент использования времени движения	0,94	0,92
Расход топлива, кг/т·км	2,10	1,97

Анализ таблицы 3.11 позволяет сделать вывод, что у экспериментального трактора рабочая скорость увеличилась по отношению к серийному с 7,41 до 7,94 м/с; производительность за один час – с 95,8 до 115,1 т·км, а расход топлива уменьшился с 2,1 до 1,97 кг/т·км (соответственно изменение указанных показателей составило 7,57; 12,1 и 8,29 %). Это позволило сформировать первичные данные для проведения топливно-энергетической оценки работы многозвенного тракторно-транспортного агрегата.

Полученные результаты сравнительных хозяйственных испытаний доказывают, что использование транспортного агрегата с установленными устройствами увеличивает рабочую скорость и производительность, уменьшает буксование и удельный расход топлива.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования дают возможность сделать следующие выводы:

1. Постановка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации переднего управляемого моста трактора в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием.

2. Постановка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации заднего ведущего моста трактора в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием. Фиксация по осям колебаний X , Y , Z при движении по грунтовым дорогам показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 18,0; 32,8 и 14,5 % соответственно в сравнении с серийным агрегатом.

3. Постановка буксирно-распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием. Фиксация по осям колебаний X , Y , Z при движении по грунтовым дорогам показывает уменьшение показателей колебательных амплитуд на 64,6; 70,3 и 41,8 % соответственно в сравнении с серийным агрегатом. Зафиксированное отклонение от прямолинейного движения, соответствующее полученным результатам, серийного тракторно-транспортного агрегата составило от 0,152 до 0,158 м, а у экспериментального тракторно-транспортного агрегата с установленным устройством – от 0,132 до 0,136 м, что подтверждает стабилизацию ходовой системы ТТА и качественную коррекцию траектории движения ТТА.

4. Сравнительный анализ данных показывает, что наибольшей амплитудой колебаний при движении на подъем обладает серийный ТТА без устрой-

ства без груза и серийный ТТА без устройства с грузом. При этом экспериментальный ТТА с устройством без груза обладает наименьшей амплитудой колебаний переднего управляемого моста. Амплитуда же колебаний экспериментального ТТА с устройством и грузом при движении на подъем на 27 % стабильнее зафиксированной амплитуды колебаний серийного агрегата.

5. Перемещение точки соединения прицепа с трактором оказывает влияние на радиус поворота прицепа а, следовательно, на ширину транспортного коридора, снижая его на 0,62 м. Причем применение предложенного устройства дает возможность оптимизировать радиус поворота транспортно-тракторного агрегата и ширину его транспортного коридора в движении. В результате проведенных исследований определены оптимальные значения: 1) угол поворота дышла прицепа (α_d) равен 26–30 градусов; 2) угол поворота план-шайбы, установленной между трактором и первым прицепом ($\alpha_{ш}$), равен 35–40 градусов; 3) длина выхода штока гидроцилиндра (h_{np}) составляет 0–0,2 метра.

6. Установка предлагаемых устройств позволяет повысить производительность за один час основного рабочего времени и при этом снизить удельный расход топлива экспериментального агрегата в сравнении с серийным тракторно-транспортным агрегатом.

4 ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Топливо-энергетический анализ использования тракторно- транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством

Одним из основных и наиболее оптимальных способов оценки использования энергетических средств в сельскохозяйственном производстве является определение затрат на перевозку единицы перевезенного груза. Для этого разработаны специальные методики, включающие в себя расчет всех затрат, непосредственно связанных с производимой работой: фиксированная заработная плата, амортизационные отчисления, стоимость горюче-смазочных материалов и некоторые другие.

В то же время обозначенные показатели также непосредственно зависят от колебаний цен на энергоносители, инфляционных составляющих, стоимости труда на конкретном рынке. Таким образом, не всегда возможно провести анализ эффективности использования энергетических средств с соответствующим качеством.

В этой связи для более достоверной оценки работы энергетических средств Всероссийским научно-исследовательским институтом механизации сельского хозяйства (ВИМ) разработана методика, где в качестве критерия эффективности взята энергоемкость операций, живого труда и средств механизации. Эта методика позволяет осуществить сравнительный анализ работы энергетических средств в сельскохозяйственном производстве в условиях, не зависящих от колебания рыночных цен [65–70].

В рассматриваемой методике в качестве основного критерия энергетической оценки принимается показатель энергетической эффективности, включа-

ющий в себя затраты энергии, как прямой, так и вспомогательной, необходимые для производства единицы продукции, а также энергию, которая будет содержаться в конечном продукте.

Проведем топливно-энергетический анализ работы серийного и предлагаемого тракторно-транспортных агрегатов по данной методике.

Прямые затраты энергии трактора МТЗ-80 складываются из следующих параметров:

1. *Затраты на топливо:*

$$E_{\text{топ}} = N_{\text{топ}}^{\text{ч}} \cdot (a_{\text{топ}} + f_{\text{топ}}) / W \quad (4.1)$$

где $N_{\text{топ}}^{\text{ч}}$ – расход топлива за один час работы, кг;

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

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

W – производительность ТТА, т·км.

2. *Энергозатраты живого труда:*

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

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

$a_{\text{ж}}$ – энергетический эквивалент живого труда, МДж/чел·ч.

3. *Удельная энергоемкость трактора в расчете на один час работы:*

$$E_{\text{тр}} = \frac{\frac{M_{\text{тр}} \cdot A_{\text{тр}} \cdot (a_{\text{тр}} + a_{\text{трк}} + a_{\text{трт}})}{100 \cdot T_{\text{год}}}}{W} \quad (4.3)$$

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

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

$a_{\text{тр}}, a_{\text{трк}}, a_{\text{трт}}$ – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонты тракторов соответственно, %;

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

4. Удельная энергоемкость прицепа:

$$E_{\text{п}} = \frac{\frac{M_{\text{п}} \cdot A_{\text{п}} \cdot (a_{\text{п}} + a_{\text{пт}})}{100 \cdot T_{\text{год}}}}{W} \quad (4.4)$$

где $M_{\text{п}}$ – масса прицепа, кг;

$A_{\text{п}}$ – энергетический эквивалент прицепа, МДж/кг;

$a_{\text{п}}, a_{\text{пт}}$ – отчисления на реновацию и текущий ремонт прицепов соответственно, %.

Суммарная энергоемкость трактора и прицепа составит:

$$E_{\text{трп}} = E_{\text{тр}} + E_{\text{п}} \quad (4.5)$$

Тогда экономия полных энергозатрат в расчете на один час работы может быть установлена по формуле (4.6):

$$\Delta E_{\text{трп}} = E_{\text{трпб}} - E_{\text{трпн}} \quad (4.6)$$

где $E_{\text{трпб}}$ – совокупные энергозатраты базового варианта, МДж/т·км;

$E_{\text{трпн}}$ – совокупные энергозатраты нового варианта, МДж/т·км.

При расчете основных топливо-энергетических показателей нами взяты данные, полученные в результате проведенных сравнительно-хозяйственных испытаний работы ТТА в реальных условиях эксплуатации. Полученные результаты расчетов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Топливо-энергетическая оценка использования ТТА

В мегаджоулей на один тонно-километр

Показатели энергозатрат	Серийный ТТА	Экспериментальный ТТА
Прямые затраты энергии трактора	27,51	18,24
Энергозатраты живого труда	0,04	0,03
Удельная энергоемкость трактора	4,58	3,24
Удельная энергоемкость прицепа	2,51	2,37
Полные энергозатраты	34,64	20,88
Экономия полных энергозатрат	–	13,76

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что использование тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством позволяет получить экономию энергозатрат в 13,76 МДж/т·км.

В стоимостном эквиваленте по шкале теплотворности дизельного топлива и его стоимости в Амурской области (в мае 2023 г. цена одного литра дизельного топлива составляла 62,0 руб.) экономия затрат составит соответственно 19,8 рублей на один тонно-километр.

4.2 Топливно-энергетическая оценка работы многозвенного тракторно-транспортного агрегата

При расчете основных топливно-энергетических показателей взяты данные, полученные в результате проведенных сравнительно-хозяйственных испытаний работы ТТА в реальных условиях эксплуатации. Расчет выполнен по описанной в подразделе 4.1 методике ВИМ. Полученные данные систематизированы в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Топливно-энергетическая оценка использования ТТА
В мегаджоулей на один тонно-километр

Показатели энергозатрат	Существующий ТТА	Предлагаемый ТТА
Прямые затраты энергии трактора	27,51	17,21
Энергозатраты живого труда	0,04	0,03
Удельная энергоемкость трактора	4,58	2,86
Удельная энергоемкость прицепа	2,51	3,04
Полные энергозатраты	34,64	23,14
Экономия полных энергозатрат	—	11,50

Таким образом, можно сделать вывод, что использование предлагаемого ТТА позволит получить экономию энергозатрат в количестве 11,5 МДж/т·км, что в денежном эквиваленте составит 1,28 рублей на один тонно-километр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований, выполненных для решения научной задачи по повышению эффективности перевозок тракторным транспортом в сельском хозяйстве в условиях Амурской области, сформированы следующие научно обоснованные выводы:

1. Проанализированы особенности природно-климатических и производственных условий региона; установлено их влияние на эффективность использования ТТА в условиях склоновых земель. Перспективы увеличения валового продукта растениеводства региона связаны с повышением урожайности сельскохозяйственных культур или расширением посевных площадей, которое осуществимо на землях центральной и северной земледельческой зон за счет обработки залежей и временно неиспользуемых земель, находящихся в основном в ведении КФХ. Это сопряжено с выполнением работ и движением энергетических средств в составе агрегатов в условиях наличия поверхностей с высокими поперечными и продольными углами.

2. Предложены методологическое обоснование подбора конструкции устройств для повышения продольной и траекторной устойчивости ТТА в движении, корректирования транспортного коридора в движении, а также высокоэффективные и малозатратные конструкции, способствующие реализации научной задачи по повышению тягово-сцепных свойств, стабилизации колебаний колесного тракторно-транспортного агрегата и корректирования транспортного коридора.

3. Выявлено влияние перераспределения сцепного веса и стабилизации колебаний звеньев агрегата на продольную, траекторную устойчивость и эксплуатационно-технологические параметры ТТА в условиях движения по склоновым поверхностям. Экспериментально доказано, что постановка буксирно-

распределяющего устройства предлагаемой конструкции способствует лучшей стабилизации переднего управляемого моста, заднего ведущего моста трактора, узла «тягово-сцепное устройство трактора – дышло прицепа» в движении по грунтовым дорогам и дорогам с улучшенным покрытием.

4. Определено, что наибольшей амплитудой колебаний при движении на подъем обладает серийный ТТА без устройства без груза и серийный ТТА без устройства с грузом. При этом экспериментальный ТТА с устройством без груза обладает наименьшей амплитудой колебаний переднего управляемого моста. Амплитуда же колебаний экспериментального ТТА с устройством и грузом при движении на подъем на 27 % стабильнее зафиксированной амплитуды колебаний загруженного серийного агрегата. При движении на спуск наиболее нестабильной колебательной траекторией обладает задний ведущий мост серийного ТТА без устройства без груза. Так, именно на него передается нагрузка прицепа, тогда как показатели экспериментального ТТА по всем исследуемым осям имеют стабильные и малозначительные колебания, что подтверждает оптимальное перераспределение передаваемого сцепного веса на мосты трактора при помощи установленного устройства.

5. Теоретически аргументировано и экспериментально подтверждено влияние факторов перераспределения веса и расположения тягово-сцепного устройства агрегируемых звеньев на эффективность использования ТТА. В результате проведенных исследований установлены оптимальные значения, позволяющие оптимизировать радиус поворота транспортно-тракторного агрегата и ширину его транспортного коридора в движении:

- 1) угол поворота дышла прицепа – 26–30 градусов;
- 2) угол поворота план-шайбы устройства, установленной между трактором и первым прицепом – 35–40 градусов;
- 3) длина выхода штока гидроцилиндра – 0–0,2 метра.

Перемещение точки сцепления прицепа с трактором оказывает влияние

на радиус поворота прицепа, а, следовательно, на ширину транспортного коридора, снижая ее на 0,62 метра. Таким образом, полученные экспериментальные данные проведенных исследований позволяют утверждать, что наиболее рациональными траекториями движения в сравнении с серийным агрегатом обладает многозвенный тракторно-транспортный агрегат с буксирно-распределяющим устройством.

6. Проведены сравнительные хозяйственные испытания серийного и экспериментального ТТА в производственных условиях при движении по склоновым и равнинным поверхностям. Установлено, что постановка предлагаемых устройств позволяет повысить производительность за один час основного рабочего времени и при этом снизить удельный расход топлива экспериментального агрегата в сравнении с серийным ТТА.

7. Экономическая и топливно-энергетическая оценка показала, что использование предлагаемого ТТА с корректирующими устройствами позволяет получить экономию энергозатрат в размере 11,5 МДж/т·км, что в денежном эквиваленте составит 2,90 руб. на один тонно-километр. Использование ТТА с буксирно-распределяющим устройством позволяет получить экономию энергозатрат в объеме 13,76 МДж/т·км, что в денежном эквиваленте составит 19,8 рублей на один тонно-километр.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Н. В., Селюкова Г. П. Оптимизация структуры посевных площадей на биоэнергетической основе : монография. Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2001. 143 с.
2. Автомобильный поезд и безопасность движения / под ред. Я. Х. Закина. М. : Транспорт, 1991. 126 с.
3. Азизов З. М. Ресурсосберегающие приемы и системы основной обработки почвы в зернопаровых севооборотах засушливой черноземной степи Поволжья // Инновации, землеустройство и ресурсосберегающие технологии в земледелии. Курск : Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии, 2007. С. 140–143.
4. Аксенов А. И. Исследование устойчивости прямолинейного движения многоосных автопоездов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1970. 26 с.
5. Аксенов А. И., Андреев А. С. Экспериментальные исследования устойчивости прямолинейного движения трехзвенных автопоездов // Автомобильная промышленность. 1971. № 5. С. 12–14.
6. Алдошин Н. В. Стабильность технологических процессов в растениеводстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 3. С. 5–7.
7. Алдошин Н. В., Дидманидзе Р. Н. Выбор стратегий качественного выполнения механизированных работ // Международный технико-экономический журнал. 2013. № 5. С. 67.
8. Амельченко П. Н., Ксенович И. П., Гуськов В. В., Якубович А. И. Колесные тракторы для работы на склонах. М. : Машиностроение, 1978. 248 с.
9. Антонов Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. М. : Машиностроение, 1978. 216 с.

-
10. Арютов Б. А., Новожилов А. И., Пасин А. В. Повышение эффективности производственных процессов в растениеводстве // Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 6. С. 50–51.
 11. Асманкин Е. М., Тарасова С. В., Шахов В. А. Обоснование способа теоретического исследования траекториальной устойчивости мобильных энергетических средств в условиях склонного земледелия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 5. С. 8–13.
 12. Асманкин Е. М., Тарасова С. В., Шахов В. А., Реймер В. В. Теоретическое исследование влияния углов бокового увода колес на поперечное смещение машины при ее движении по наклонной опорной поверхности // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 5. С. 50–53.
 13. Асманкин Е. М., Юмакаева С. В., Нуритдинова А. Ж., Яковлев И. В. Аспект на проблему устойчивости движения колесных машин // Инновационные научные решения – основа модернизации аграрной экономики : материалы всерос. науч.-практ. конф. Пермь : Пермская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. С. 5–10.
 14. Асманкин Е. М., Юмакаева С. В., Фомин М. Б., Балмугамбетова А. Ж. К вопросу развития энергосберегающих технологий в АПК // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 77–79.
 15. Баранский А. Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использования колесных тракторов. Минск : Урожай, 1968. 255 с.
 16. Бахмутов С. В. Научные основы параметрической оптимизации автомобиля по критериям управляемости и устойчивости : дис. ... докт. техн. наук. М., 2001. 350 с.
 17. Бенедичук Н. Ф., Рыбка В. С. Эффективность разных систем обработки почвы в севообороте // Бюллетень ВНИИ кукурузы. 1985. № 4. С. 33–38.

18. Богданов А. В. Обоснование рационального давления воздуха в пневматических движителях колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов на транспортных работах в сельском хозяйстве : дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2003. 127 с.
19. Болотов А. К., Гуревич А. М., Фортуна В. И. Эксплуатация сельскохозяйственных тракторов : справочник. М. : Колос, 1994. 495 с.
20. Борисенко И. Б., Пындак В. И., Горюнов М. С. Совершенствование агротехнологий и технических средств для поверхностной обработки почвы // Инновационно-технологические основы развития земледелия. Курск, 2006. С. 77–88.
21. Ванин Д. Е. Теория и практика почвозащитного земледелия в зонах проявления водной и ветровой эрозии // Вестник сельскохозяйственной науки. 1982. № 8. С. 22–36.
22. Василько В. П., Радионов А. И., Сисо А. В. Севооборот, агротехника и продуктивность орошаемого агроценоза // Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края. Краснодар : Агропромполиграфист, 2008. С. 189–204.
23. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. М. : Колос, 1967. 168 с.
24. Власко Ю. М. Исследование влияния некоторых параметров прицепов и условий движения автопоезда на его управляемость : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1976. 25 с.
25. Войтиков А. В. Исследование курсовой устойчивости колесного трактора класса 14 кН на склоне : дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1979. 188 с.
26. Гамаюнов А. М. Повышение эффективности использования тракторного поезда с использованием параметрической оптимизации универсального тягово-сцепного устройства // Научное обозрение. 2013. № 5. С. 33–35.

-
27. Гапич Д. С. Стабилизация режимов нагружения колесных машинно-тракторных агрегатов : дис. ... докт. техн. наук. Волгоград, 2014. 343 с.
28. Гинцбург Л. Л. Управляемость автомобиля на повороте. М., 1968. 47 с.
29. Горшков Ю. Г., Четыркин Ю. Б., Калугин А. А., Лещенко Е. А. Догружатель ведущих колес трактора // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 7.
30. Григоренко Л. В., Колесников В. С. Динамика автотранспортных средств. Теория, расчет передающих систем и эксплуатационно-технических качеств. Волгоград : Комитет по печати и информации, 1998. 544 с.
31. Гуськов Ю. А. Проектирование транспортно-технологических процессов в земледелии Сибири : монография. Новосибирск, 2013. 152 с.
32. Гуськов Ю. А. Рациональные технологические схемы и технические средства для сбора и транспортировки грубых кормов : монография. Новосибирск, 2006. 150 с.
33. Гуськов В. В., Амельченко П. А., Зеленый П. В., Зарецкий В. П. Технические концепции создания горно-равнинных мобильных средств механизации сельскохозяйственного производства // Тракторы и сельхозмашины. 1987. № 3.
34. Гуськов В. В., Войтиков А. В. О влиянии ряда факторов на курсовую устойчивость колесного трактора, работающего на склоне // Тракторы и сельхозмашины. 1981. № 2.
35. Демидович Б. П. Лекции по математической теории устойчивости. М. : Наука, 1967. 472 с.
36. Демин Е. Е., Левченко Г. В., Хакимзянов Р. Р. Транспорт в сельскохозяйственном производстве : учебное пособие. Саратов : Саратовский государственный аграрный университет, 2005. 135 с.
37. Двуреченский В. И., Гилевич С. В. Минимализация агротехнологий в степной зоне Казахстана // Земледелие. 2008. № 4. С. 10.

38. Емельянов А. М. Пути снижения техногенного воздействия гусеничных движителей уборочных машин на переувлажненные почвы: дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 1997. 250 с.

39. Жилейкин М. М., Ягубова Е. В. Разработка алгоритма работы системы динамической стабилизации для колесного трактора 4×4 с индивидуальным ТЭП в режиме вспашки на склоне // Известия высших учебных заведений: Машиностроение. 2014. № 7 (652). С. 58–68.

40. Житенко И. С. Повышение эффективности мобильных машин согласованием основных параметров функционирования с условиями внешней среды в сельскохозяйственном производстве : дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2011. 131 с.

41. Завалишин Ф. С., Волощенко А. Е. Исследования работы различных схем тракторного транспорта в труднопроходимых дорожных условиях // Научные труды Воронежского сельскохозяйственного института. 1974. С. 11–15.

42. Загородний Н. А. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей обеспечением рациональных значений эксплуатационных параметров их шин : дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2010.

43. Закин Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда. М. : Транспорт, 1967. 256 с.

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

45. Здоровцов И. П., Солошенко В. М. Контурное земледелие и организация механизированных работ на склонах. Воронеж, 1991. 224 с.

46. Зимелев Г. В. Теория автомобиля. М. : Машгиз, 1959. 319 с.

47. Иванов А. Л. Актуальные задачи научно-технологического сопровождения современного земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства в Российской Федерации // Модели и технологии оптимизации земледелия. Курск : Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии, 2003. С. 3–25.

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

49. Иофинов С. А., Цырин А. А. Эксплуатация тракторов и автомобилей на транспортных работах в сельском хозяйстве. Л. : Колос, 1975. 228 с.

50. Каптюшин Г. К., Баженов С. П. Конструкция, основы теории, расчет и испытание тракторов. М. : Агропромиздат, 1990. 511 с.

51. Кильдюшкин В. М. Совершенствование системы основной обработки почвы в эрозионноопасных и равнинно-западинно-степных агроландшафтах Западного Предкавказья : дис. ... докт. с.-х. наук. Курск, 2005. 355 с.

52. Ким В. А. Исследование курсового движения поезда в составе трактора класса 1,4, одноосного и двухосного прицепов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1977. 24 с.

53. Корнев А. И. Исследование влияния рабочей траектории на показатели работы сельскохозяйственного агрегата : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1957. 26 с.

54. Котоврасов И. П. Минимализация обработки почвы в севообороте // Ресурсосберегающие технологии обработки почв : сб. науч. тр. Курск : Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии, 1989. С. 28–37.

55. Кривуца З. Ф. Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения АПК Амурской области : дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 2015. 362 с.

56. Ксенович И. П., Гоберман В. А., Гоберман Л. А. Наземные тягово-транспортные системы : энциклопедия. Том 1. Введение в теорию и методологию исследования наземных тягово-транспортных систем. М. : Машиностроение, 2003. 743 с.

57. Ксенович И. П., Гоберман В. А., Гоберман Л. А. Наземные тягово-транспортные системы : энциклопедия. Том 2. Аспекты технико-эргономического и экологического проектирования и конструирования наземных тягово-

транспортных систем. М. : Машиностроение, 2003. 872 с.

58. Кузина Е. В. Изменение агрофизических показателей черноземных почв лесостепи Среднего Поволжья в зависимости от вида основной обработки // Зональные особенности научного обеспечения сельскохозяйственного производства. Саратов : Новый ветер, 2009. С. 45–48.

59. Кузнецов Е. Е. Пути повышения эффективности использования мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных агрегатов на полевых и транспортных работах : дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 2018. 312 с.

60. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.

61. Кутьков Г. М. Теория трактора и автомобиля. М. : Колос, 1996. 287 с.

62. Листопадов И. Н., Шапошников И. М. Плодородие почв в интенсивном земледелии : монография. М. : Россельхозиздат, 1984. 204 с.

63. Ломов И. А., Васильев Т. К. Математические методы в земледельческой механике. М. : Машиностроение, 1976. 204 с.

64. Мамити Г. И., Плиев С. Х. Формирование оптимальной устойчивости колесной машины на стадии проектирования // Вестник машиностроения. 2009. № 2.

65. Методика и методология энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах. М. : МСХА имени К. А. Тимирязева, 2007. 21 с.

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

67. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Часть 2. М., 1998. 251 с.

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

69. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. М. : ВИМ, 1995. 96 с.

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

71. Министерство сельского хозяйства Амурской области : [сайт]. URL: <https://www.agro.amurobl.ru> (дата обращения: 14.05.2023).

72. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации : [сайт]. URL: <https://mcx.gov.ru> (дата обращения: 14.05.2023).

73. Михайлов А. В. Обоснование методики повышения эффективности эксплуатации колесных тракторов класса 1,4 : дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2004. 233 с.

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

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

76. Осепчугов В. В. О влиянии двухосных прицепов // Конструктивные исследования, испытания автомобилей. 1956. Сборник 2.

77. Панасюк А. Н. Энергетическое обоснование адаптивной технологии возделывания картофеля // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : сб. науч. тр. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2010.

Вып. 17. С. 59–66.

78. Певзнер Я. М., Гинцбург Л. Л. Терминология по вопросам управляемости устойчивости движения автомобиля // Труды семинара по управляемости и устойчивости автомобиля. М., 1966.

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

80. Погорелов С. В. Повышение устойчивости прямолинейного движения тракторных поездов посредством использования тягово-сцепного устройства с регулятором курсового угла : дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2006. 192 с.

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

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

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

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

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

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

87. Скурятин Н. Ф., Соловьев Е. В. Исследование кинематики движения тракторного транспортного прицепного агрегата по пересеченной местности с

тягово-догрузочным устройством // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2014. № 3 (3). С. 23–28.

88. Слепенков А. Е. Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата при подготовке почвы под посев : дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2021. 177 с.

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

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

91. Соловьев Е. Т. Расчет тяговых и экономических показателей тракторов и автомобилей : методические указания. Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. 33 с.

92. Сорокин А. А. Повышение эффективности работы универсально-пропашных тракторов в растениеводстве : дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2009. 221 с.

93. Сорокин Н. Т. Перспективы технической и технологической модернизации в АПК // Земледелие. 2008. № 3. С. 3–5.

94. Старцев С. В., Лявин Ю. Ф., Горбань Д. Г. Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК. Саратов : Саратовский государственный аграрный университет, 2015.

95. Стеновский В. С. Обоснование параметров движителя колесного трактора для эксплуатации на негоризонтальной опорной поверхности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2014. 20 с.

96. Стеновский В. С., Реймер В. В., Юмакаева С. В. Стабилизация транспортного средства на наклонной поверхности // Сельский механизатор. 2011. № 5. С. 12.

97. Сюмак А. В., Русаков В. В., Мунгалов В. А. Результаты освоения ресурсосберегающей технологии и технических средств в хозяйствах Амурской

области // Техника в сельском хозяйстве. 2010. № 6. С. 11–13.

98. Тарасова С. В. Обоснование способа курсовой стабилизации колесного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности : дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2015. 158 с.

99. Тарасова С. В., Егорова Н. Г., Рябова Ю. С. К вопросу повышения технологичности мобильных энергетических средств в условиях склонного земледелия // Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решений : материалы науч.-практ. форума. Кинель : Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. С. 99–102.

100. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Амурской области : [сайт]. URL: <https://28.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 12.05.2023).

101. Трепененков И. И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. М. : Машгиз, 1963. 271 с.

102. Успенский И. А., Юхин И. А., Кулик С. Н., Рябчиков Д. С. Инновационные решения в технологии и технике транспортировки продукции растениеводства // Техника и оборудование для села. 2013. № 7. С. 6–8.

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

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

105. Федеральная налоговая служба : [сайт]. URL: <https://www.nalog.gov.ru/rn77/> (дата обращения: 12.05.2023).

106. Филонов В. С. Эффективность использования тракторов на транспортных работах // Сборник научных трудов ВНИПТИМЭСХ. 1965. Вып. 8. С. 110–117.

107. Хижняк А. А., Зинякин А. С., Шеврина Е. В. Экономическая эффективность новой сельскохозяйственной техники. Оренбург : Оренбургский государственный аграрный университет, 1997. 38 с.

108. Хухуни Т. В. Влияние бокового крена на устойчивость движения колесного трактора // Чай. Культура и производство. 1963. С. 148–162.

109. Черкасов Г. Н., Щербаков А. П. Главные принципы ведения земледелия на ландшафтной основе // Земледелие. 2001. № 6. С. 16–17.

110. Чудаков Д. А. Основы теории и расчета тракторов и автомобилей. М. : Колос, 1972. 364 с.

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

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

113. Atehome P. AGRIP des tracteurs 4×4 pour exploitation forestiere. Part 2 // Foret privee. 2001. No. 262. P. 230–231.

114. Bhagat R. M. Effect of tillage and residue management silage, seeded preparation and erosion control // Wheat and wheat jmproument. 1987. No. 5. P. 330–339.

115. Bolzern P., DeSantis R., Locatelli A., Masciocchi D. Path-tracking for articulated vehicles with off-axle hitching // Control Systems Technology. IEEE Transactions. 1998. Vol. 6. No. 4. P. 515–523.

116. Cho W., Yoon J., Kim J., Hur J., Yi K. An investigation into unified chassis control scheme for optimized vehicle stability and maneuverability // Vehicle System Dynamics. 2008. Vol. 46. No. 1. P. 87–105.

117. DeSantis R., Bourgeot J., Todeschi J., Hurteau R. Path-tracking for tractor trailers with hitching of both the on-axle and the off-axle kind. Proceedings from of the 2002 IEEE International Symposium. P. 206–211.

118. Kim H. H., Ryun J. Sideslip angle estimation considering short-duration longitudinal velocity variation // International Journal of Automotive Technology. 2011. Vol 12 (4). P. 545–553.

119. Krombholz K. Fahrmechanische betrachtungen zum feldhacksl ereinsatz am hang // Deutsche Agrartechnik. 1964. No. 7. P. 310–314.

120. Macmillan R. H. The Mechanics of Tractor. University of Melbourne : Implement Performance, 2002.

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

122. Mitschke A. Aufbau und wirung des antiblockiersystem ABS fur nutzfah-zeuge // Automobiltechnik. 1981. No. 9. P. 439, 443–446.

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

124. Shchitov S. V., Bumbar I. V., Sennikov V. A., Sennikova N. N., Prisyazhnaya S. P., Kuznetsov E. E. Research of the influence of the hook load of the unstable character on the operating in dicators of the energy means // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 2018. No. 41 (3). P. 47–50.

125. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Evdokimov V. G., Reshetnik E. I., Panova E. V., Khudovets V. I. [et al.]. Improvement of efficiency of realization of tax-coupled properties of a movable energy motor // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. 13-Special Issue. P. 715–721.

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

Научное издание

Кузнецов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, доцент
Щитов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор
Кривуца Зоя Федоровна, доктор технических наук, профессор
Кушнарев Алексей Николаевич, кандидат технических наук
Шуравин Александр Александрович, кандидат технических наук

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК
ТРАКТОРНЫМ ТРАНСПОРТОМ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Монография

Подписано в печать 25.12.2024 г.
Формат 60х90/16. Уч.-изд. л – 6,31. Усл. печ. л. – 12,54.
Тираж 500 экз. Заказ 129.

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

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