

УДК 629.113

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи



ПИЦХЕЛАУРИ ШОТА НУГЗАРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРИЦИКЛА ПРИ ДВИЖЕНИИ
ПО ГОРНОМУ СКЛОНУ ЗА СЧЕТ СТАБИЛИЗАЦИИ ОСТОВА**

05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент,

Льянов Марат Савкузович

Волгоград – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Глава 1. Состояние вопроса	12
1.1. Ландшафтная специфика земельных угодий в РСО- Алания	12
1.2. Устойчивость и управляемость, основные понятия и определения	15
1.3. Перспективы и проблемы использования трициклов с грузовой платформой в горных фермерских хозяйствах	21
1.4. Поперечная устойчивость трицикла на склоне	25
1.5. Курсовая устойчивость трицикла на поперечном склоне	38
1.6. Поперечная устойчивость трицикла по условиям бокового скольжения колес	44
1.7. Существующие способы повышения курсовой устойчивости колесных машин на склонах	53
1.8. Существующие способы повышения устойчивости колесных машин против опрокидывания на поперечных склонах	60
1.9. Обзор методов повышения устойчивости и управляемости треколесных мотоциклов	65
1.10. Обзор методов проведения дорожных испытаний моторанспортных средств	69
1.11. Цель и задачи	70
Выводы по главе 1	71
2. Глава 2 Математическое моделирование движения трицикла с наклоняющимся остовом на склоне.....	72
2.1. Математическое моделирование курсового движения трицикла с наклоняющимся остовом на склоне	72
2.2. Влияние стабилизации остова трицикла на величину курсового угла при движении на податливом основании склона	84
2.3. Повышения устойчивости трицикла против опрокидывания на склоне	88
2.4. Влияние податливости грунта под колесами трицикла на величину угла поперечной устойчивости.....	91
2.5. Динамическая устойчивость трицикла с наклоняющимся остовом против опрокидывания в повороте на вираже	98
Выводы по главе 2	101
Глава 3 Имитационное моделирование движения трицикла с наклоняющимся остовом на склонах в программном комплексе автоматизированного анализа динамики систем тел «Универсальный механизм»	103

3.1	Общие положение	103
3.2	Общие сведения о программном комплексе ПК Универсальный механизм	104
3.3	Методика проведения имитационного моделирования	105
3.4	Имитационное моделирования курсового движения трицикла вдоль заданных горизонталей склонов	107
3.5	Результаты имитационного моделирования курсового движения трицикла вдоль заданных горизонталей склонов.....	113
3.6	Моделирование устойчивости движения трицикла с наклоняющимся остовом по боковому опрокидыванию на склоне	117
	Выводы по главе 3	124
4.	Глава 4 Экспериментальные исследования курсовой устойчивости трицикла с наклоняющимся остовом при движении вдоль заданных горизонталей склона	125
4.1	Цели проведения экспериментальных исследований	125
4.2	Содержание работы	125
4.3	Объект испытаний и его техническая характеристика	126
4.4	Программа и методика испытаний	127
4.5	Методика определения центра масс трицикла	127
4.6	Методика экспериментальных исследований	132
4.7	Результаты натурных испытаний трицикла с наклоняющимся остовом при движении в поперечном направлении склона	137
	Выводы по главе 4.....	141
5.	Глава 5 Сопоставление результатов математического, имитационного моделирования и экспериментальных исследований устойчивости трицикла с наклоняющимся остовом при движении в поперечном направлении склонов	142
5.1	Анализ результатов проведённых исследований курсовой устойчивости трицикла.....	142
5.2	Анализ результатов проведённых исследований устойчивости трицикла против бокового опрокидывания на склоне.....	148
	Выводы по главе 5	150
	основные выводы и результаты.....	151
	Список использованных источников	153
	Публикации по теме диссертационной работы	174
	Приложение 1	179
	Приложение 2	180
	Приложение 3	181
	Приложение 4.....	182

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются вопросы курсовой устойчивости и устойчивости против опрокидывания трицикла (трехколесное мототранспортное средство с грузовой платформой с передним управляемым колесом и двумя симметрично расположенными задними ведущими колесами) при движении в поперечном направлении горных склонов.

В процессе движения трицикла в поперечном направлении горных склонов происходит нарушение устойчивости, обусловленное влиянием конструктивных и эксплуатационных факторов, как самой колесной машины, так и физико-механическими свойствами соприкасающихся опорных поверхностей. Нарушение устойчивости может, сказывается в изменении траектории движения трицикла и в боковом опрокидывании.

Прямолинейным движением принято считать движение, где кривизна траектории движения близка к нулю. Прямолинейность движения характеризуется курсовой устойчивостью. Курсовая устойчивость трицикла является важнейшим эксплуатационным свойством, тесно связанная с безопасностью и стабильностью движения.

Устойчивым движениям по отношению к опрокидыванию колесной машины на склоне, принято считать способность движения колесной машины сохранять заданное положение по уклону. Устойчивость движения является одним из основных свойств колесных машин, характеризующих их эффективность и безопасность работы.

Каждый тип и модель трицикла характеризуется основными конструктивными и эксплуатационными параметрами, которые определяют его возможность эффективного использования в определенных условиях, и позволяют определить в какой мере конструкция соответствует требованиям эксплуатации.

Значимость конкретного эксплуатационного свойства в определении безопасности и эффективности применения трицикла зависит от условий

эксплуатации. В связи с этим возникает потребность в трициклах специально приспособленных к определенным условиям эксплуатации, что приведет к целесообразному и эффективному использованию, повысит безопасность и стабильность движения.

Актуальность темы исследования.

Роль колесных машин (КМ) в сельском хозяйстве непрерывно возрастает. Склоновое расположение и пересеченный рельеф местности создают значительные сложности в формировании и использовании колесной техники.

Важнейшим требованием к любой мобильной машине является обеспечение безопасности движения. С особыми сложностями сопряжено выполнение этого требования для мобильных машин, которые эксплуатируются в горной местности. В частности, такие машины должны сохранять курсовую устойчивость и быть в необходимой мере защищены от бокового опрокидывания при движении поперек склона.

Одним из основных требований, предъявляемым к колесным машинам, в том числе и трициклам, является их щадящее воздействие на плодородный слой почвы. Поэтому, с точки зрения агротехнических и энерготехнических показателей, наиболее целесообразна работа машины вдоль горизонталей склона, во избежание развития эрозии почвы.

Отсутствие мобильной легкой техники с грузовой платформой, приспособленной к работе в условиях горной местности и обладающей повышенной устойчивостью по опрокидыванию и курсовой устойчивостью, существенно усложняет производственную деятельность для горных фермерских хозяйств. Необходимо отметить, что использование на склоновых землях равнинной техники является крайне опасным и непродуктивным.

В последние годы возрос интерес к малым грузовым транспортным средствам, в том числе к трициклам, что связано с их экономичностью, малыми габаритами и весом, а также доступной ценой. Однако известные

конструкции грузовых трициклов не обладают необходимыми свойствами для использования в условиях горных территорий. Это связано с их опасным режимом движения по поперечному склону, при котором возникает ряд действующих возмущающих сил, способствующих потере устойчивости.

Конструкция колесной машины, где ось опрокидывания проходит через центр пятна контакта одиночного колеса и одного из колёс заднего моста, что характерно для трициклов, является неустойчивой, поскольку имеет малое плечо восстанавливающего момента. Эта особенность конструкции и делает трехколесные транспортные средства менее устойчивыми и в условиях горной эксплуатации, как с точки зрения опрокидывания, так и курсовой устойчивости. Для использования трициклов на склонах возникает объективная необходимость решения проблем их активной безопасности, что, кроме прочего, создает возможность разработки научно обоснованных рекомендаций по эксплуатации трициклов в горных условиях.

Создание легкой мобильной колесной машины для перевозки малых партий грузов в горных фермерских хозяйствах, обладающей конструктивными особенностями, отличными от классических конструкций, направленными на повышенной курсовой устойчивости и устойчивости по опрокидыванию на склонах, является актуальной задачей.

Цель исследования - повышение курсовой устойчивости и устойчивости против бокового опрокидывания трицикла при движении по горному склону, за счет рационального выбора углов наклона его остова.

Задачи исследования:

1. Проанализировать и обосновать требования к существующим конструкциям мототранспортных средств, в том числе трициклов для работы на склонах.

2. Разработать способ работы системы стабилизации, направленной на повышения курсовой устойчивости и устойчивости против опрокидывания при движении трицикла в поперечном направлении склона.

3. Разработать математическую модель курсового движения трицикла с наклоняющимся остовом в поперечном направлении склона и создать ее программную реализацию.

4. Провести теоретические и экспериментальные исследования устойчивости трицикла при движении вдоль горизонталей склонов.

Научная новизна:

1. Разработан способ управления стабилизацией остова трицикла по управляющему параметру – углу наклона косогора, обеспечивающий курсовую устойчивость и устойчивость по опрокидыванию за счет горизонтирования остова.

2. Разработана математическая модель равномерного движения по склону трицикла с наклоняющимся остовом, учитывающая его конструктивные параметры и дорожные условия (коэффициент сцепления, угол наклона косогора).

3. На основе разработанных методик проведены экспериментальные и теоретические исследования движения на горных склонах трицикла с наклоняющимся остовом по оценке курсовой устойчивости и устойчивости по опрокидыванию, которые позволили определить конструктивные параметры, дорожные условия и эксплуатационные показатели (скорость, степень загрузки), влияющие на устойчивость трицикла на склоне.

4. Определена функциональная зависимость смещения центра масс трицикла от угла наклона остова и ее влияние на показатели курсовой устойчивости и устойчивости по опрокидыванию при движении вдоль заданных горизонталей склона.

Объект исследования. В качестве объекта исследования использовался трицикл с наклоняющимся остовом, спроектированный и изготовленный в ФГБОУ ВО «Горский ГАУ», как экспериментальный образец.

На рисунке 1 представлен объект исследования – экспериментальный трицикл с наклоняющимся остовом, изготовленный на автомобильном факультете в ФГБОУ ВО «Горский ГАУ».



Рисунок 1 – Трицикл с наклоняющимся остовом

За остов принята часть несущей системы трицикла вместе с передним управляемым колесом и грузовой платформой, с возможностью поворота относительно заднего моста в перпендикулярной, относительно направления движения плоскости, что должно привести кроме прочего к повышению устойчивости на склонах.

Теоретическая значимость работы. Разработанные методы, направленные на повышение устойчивости трицикла в случае движения по горным склонам, дают эффективную возможность прогнозировать устойчивость колесной машины на поперечном склоне как с точки зрения курсовой устойчивости, так и с точки зрения устойчивости против опрокидывания, а также вносят вклад в развитие теории трехколесных транспортных средств, эксплуатируемых на горных склонах.

Практическая значимость работы. Результаты выполненных исследований позволят оптимизировать параметры трицикла при движении в поперечном направлении горных склонов за счет обоснованного выбора углов наклона остова трицикла с целью достижения максимальной курсовой устойчивости и устойчивости против опрокидывания транспортного средства. Конструкция обеспечивает максимально возможную устойчивость

против опрокидывания и курсовую устойчивость, позволяет проходить виражи и косогоры с высокой скоростью движения. По этим результатам составлена имитационная модель движения трицикла с меняющейся геометрией конструкции, которая позволит исследовать его курсовую устойчивость и устойчивость против опрокидывания на склонах различной крутизны на стадии проектирования. Данные исследования могут также послужить базой для создания дополнительной системы активной безопасности для трицикла, что безусловно повысит надёжность его использования.

Методология и методы исследований. Теоретические и экспериментальные методы исследований были применены в ходе выполнения данной работы. Также применены математические модели исследуемого объекта, методы аналитической механики, а также численные методы моделирования движения трицикла в программе «Универсальный механизм».

Положения, выносимые на защиту.

1. Закон управления курсовым углом трицикла в функции скорости движения и угла наклона его остова.
2. Критерий выбора расчетной схемы для движения трицикла по косогору в функции соотношения отклоняющего и стабилизирующего моментов.
3. Математическая модель движения трицикла с наклоняющимся остовом на поперечном склоне.
4. Функциональная зависимость смещения центра масс трицикла от угла наклона остова и ее влияние на показатели курсовой устойчивости и устойчивости по опрокидыванию при движении вдоль заданных горизонталей склона.
5. Результаты натурных испытаний, математического и имитационного моделирования движения трицикла с наклоняющимся остовом вдоль заданных горизонталей склонов по определению курсовой устойчивости и устойчивости против опрокидывания.

Реализация работы. Результаты работы внедрены в учебный процесс Горского ГАУ и НПВП «Наука» г. Владикавказ.

Достоверность результатов работы подтверждается согласованием теоретических расчетов, моделирования движения трицикла и экспериментальных исследований, полученных с использованием современных измерительных приборов, использованием известных методик и рекомендаций по обработке и анализу полученных данных.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на:

- научно практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем» 16-18 июня 2017 г., г. Владикавказ;
- научно-практических конференциях ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», 2015-2021 г., г. Владикавказ;
- научных конференциях молодых ученых ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», 2015-2020 г., г. Владикавказ;
- международной научно-практической конференции «Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса горных и предгорных территорий», посвященной 100-летию Горского государственного аграрного университета, 23-24 октября 2018 г., г. Владикавказ;
- в рамках Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых во втором этапе в ФГБОУ «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова», г. Нальчик 2019 год;
- в рамках Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых в третьем этапе в ФГБОУ «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева.», г. Рязань, 2019 год;
- национально научно-практической конференции «Приоритетные научные исследования и инновационные технологии в АПК: наука –

производству» ФГБОУ «Волгоградский государственный аграрный университет» г. Волгоград, 29 октября 2019 г;

– в рамках Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых во втором этапе в ФГБОУ «Волгоградский государственный аграрный университет» г. Волгоград, 24 апреля 2020 г;

– в рамках Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых в третьем этапе в ФГБОУ «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа 25 мая 2020 г;

– получен патент Российской Федерации на изобретение «Трицикл с наклоняющимся остовом и грузовой платформой для горных фермерских хозяйств», №2748724.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 25 научных работ, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 входящая в базу Web of Science, 1 патент на изобретения, 20 – в других изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Полный объем диссертации составляет 182 страниц, содержит 72 рисунков, 10 таблиц. Библиография содержит 168 наименований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1. Ландшафтная специфика земельных угодий в РСО - Алания

Республика Северная Осетия расположена на северных склонах восточной части Центрального Кавказа, наиболее суженной и расчлененной, и примыкающих к склонам предгорных равнинах ее площадь составляет 798,7 тыс.га. Территорию РСО - Алании делят на две геоморфологические области - горная и равнинная. Южные районы республики расположены на горных склонах Северного Кавказа. На долю горной полосы приходится 385 тыс. га, то есть 48,0 процентов всей площади.



Рисунок-1.1 Планирования зоны республики РСО - Алания

Сельское хозяйство является крупной отраслью материального производства Северной Осетии. Основное место в общем земельном фонде республики занимает категория земель сельскохозяйственного назначения (52,42 % от общей площади республики).

Сельскохозяйственное производство является важной отраслью народного хозяйства и для наращивания объёмов этого производства в РСО - Алании важным резервом является горные территории.

Рельеф РСО - Алании отличается большой сложностью и разнообразием, со значительными амплитудами абсолютных и относительных высот. Наиболее крупными элементами рельефа Северной Осетии являются: на севере – равнины Предкавказья, на юге – хребты Большого Кавказа.

Лесистый хребет, представляет собой цепь высоких холмов, вершины сглаженные, склоны сравнительно пологие. Пастбищный хребет, северный склон которого сравнительно пологий, южный - крутой, обрывистый. Скалистый хребет, имеет резкие формы рельефа, южные склоны хребта представляют почти на всем протяжении крутые обрывы. Склоны бокового хребта здесь сравнительно пологи и сглажены. Водораздельный хребет сложен кристаллическими породами хребта, здесь Главный водораздел представляет непрерывный гребень, круто обрывающийся к югу и более полого спускающийся на север, склоны крутые, обрывистые.

Большое количество сельхоз угодий РСО - Алании расположено на склоновых землях, из них с уклоном 2° занимают 37 тыс. га, до 5° -16.6 тыс. га, 7° и более занимают 73.8 тыс. га.

Склоновое расположение и сложный рельеф, создает значительные сложности в формировании и использовании колесной техники для выполнения сельскохозяйственных операций. Таким образом, на сегодняшний день возникает потребность в создании специальной мобильной техники, приспособленной к условиям горной эксплуатации, что позволит повысить статическую и динамическую устойчивость колесных машин, работающих на склонах, а также повысит безопасность движения в поперечном направлении склонов.

Рельеф местности является важнейшим фактором, который влияет на устойчивость движения колесной машины. Важнейшими характеристиками рельефа, от которых зависит устойчивость движения колесной машины, являются крутизна, длина, форма и экспозиция склонов. Нарушение устойчивости транспортного средства может формироваться тогда, когда

появляется уклон поверхности, который может создать значительные сложности в формировании и использовании колесных машин на склонах. Поэтому крутизна склона является важнейшим показателем, который может повлиять на устойчивость колесной машины.

Пороговая величина крутизны склона, при которой возникает нарушение устойчивости, может быть весьма, различной, что зависит от других сопутствующих факторов. С увеличением крутизны склона нарушение устойчивости колесной машины увеличивается, однако степень его возрастания зависит от разнообразного сочетания многих факторов. К склонам следует относить такие поверхности, на которых в перемещении тел, решающую роль играет составляющая силы тяжести, направленная вниз по склону.

В зависимости от угла наклона касогора, склоны бывают:

Таблица-1.1 Класификация горных горных склонов по углам наклона касогора.

Склоны	Крутизна ската (α)	Уклон ($\text{tg } \alpha$)
Очень пологие	1...2°	0,0175...0,0349
Пологие	2...10°	0,0349...0,1763
Средние	10...20°	0,1763...0,3639
Крутые	20...45°	0,3639...1,000
Очень крутые	45...60°	1,000...1,7320
Обрывистые	60...80°	1,000...5,6712
Отвесные	80...90°	более 5,6712

При рассмотрении ландшафтных особенности, в том числе нестабильностью ландшафтных условий, может возникать ряд возмущающих сил, действующих на колесную машину, что способствует нарушению курсовой устойчивости, а также нарушению устойчивости против

опрокидывания. Необходимо отметить, что использование на горных склонах только равнинной техники является крайне опасным и не продуктивным. Поэтому возникает потребность, в конструкции, которая позволит решить проблемы устойчивости движения колесной машины на склоне.

1.2. Устойчивость и управляемость, основные понятия и определения.

При исследовании технической возможности движущегося трицикла и предотвращения его отклонения от заданного курса движения, а также поперечного опрокидывания необходимо рассмотреть ряд вопросов, связанных с управляемостью и устойчивостью транспортного средства. Под понятием трицикл будем понимать трехколесное транспортное средство с передним управляемым одиночным колесом и задними симметрично расположенными ведущими колесами.

В научной среде вопросами устойчивости колесных машин занимались многие ученые. Это работы таких ученых как:

Мамити Г.И., Плиев С.Х., Льянов М.С., Кониев К.Е., Тедеев В.Б. [45 - 132;35;149]; Филькин Н.М. [151]; Гагкуев А.Е. [17], Балакина Е.В. [6-8]; Лейбович, М.В. [42], Реймер В.В. [140]; Кушляев В.Ф., Яблокова А.В. [41]; Овечкин С.Л., Свиридов Е.В., [112-114]; Жилейкин М.М., Ягубова Е.В. [23;158]; Котиев Г.О. [37-38]; Бахмутов С.В. [12].

Управляемость и устойчивость являются по Е.А. Чудакову важными эксплуатационными свойствами транспортного средства: «Управляемость автомобиля - это его способность при движении точно следовать повороту управляемых колёс» [154].

Плохая управляемость автомобиля характеризуется стремлением автомобиля самопроизвольно изменять направление движения, а при повороте рулевого колеса двигаться по кривой, не точно соответствующей повороту управляемых колес» [142].

В учебнике проф. А.С. Литвинова, автор под устойчивостью понимает – «...свойство транспортного средства сохранять в заданных во времени или пути пределах, независимо от скорости движения и действия внешних, и инерционных сил, направление движения и ориентацию продольной и вертикальной осей» [44].

В учебнике проф. А.С. Литвинова, Я.Е. Фаробина [44] движение автомобиля делится на асимптотически устойчивое движение и неустойчивое движение. При движении колесной машины возникают самые различные положения, как самой машины, так и опорной поверхности, в результате этого могут быть вызваны возмущающие силы целью которых является нарушить устойчивость движения. В случае если автомобиль отклоняется от заданного курса движения даже после прекращения возмущающих сил, то такой вид движения называется – неустойчивым движением. Асимптотически устойчивое движение – движения, где после отклонения автомобиля, вызванного временными возмущениями, параметры возвращаются к исходным [44].

Авторы А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин отмечают что: «Оценочными показателями устойчивости являются: критические параметры движения и положения; критическая скорость по заносу; критическая скорость по опрокидыванию; критическая скорость по курсовой устойчивости; критический угол косогора по боковому скольжению; критический угол косогора по боковому опрокидыванию; коэффициент поперечной устойчивости» [44].

Собственная устойчивость - способность транспортного средства без участия водителя (с закрепленным или свободным рулевым управлением) противостоять действию внешних возмущающих сил.

Нарбут А.Н. отмечает [111]: «В теории мотоцикла, как и в теории автомобиля, под устойчивостью понимают способность транспортного средства сохранять заданное направление движения при воздействии

внешних сил, стремящихся отклонить его от этого направления, что может привести к скольжению или опрокидыванию» [111].

Нарбут А.Н. отмечает, что: «Управляемость в теории мотоцикла» – это способность мотоцикла сохранять заданное направление движения или изменять его в соответствии с воздействием водителя на рулевое управление» [111].

Иларионов В.А. указывает, что «потеря автомобилем устойчивости выражается в опрокидывании или скольжении автомобиля» [31].

Литвинов А.С. [44] «Часто нарушение устойчивости проявляется в боковом скольжении колес или опрокидывании автомобиля в плоскости перпендикулярной его продольной оси» [44].

В случае движения колесной машины по горным склонам особое внимание уделяется устойчивости движения. Безусловно, любая потеря устойчивости движения является не желательной, но с точки зрения тяжести последствий на первом месте все же стоит опрокидывание колесных машин.

Устойчивым движениям колесной машины с точки зрения опрокидывания на склоне, принято считать способность колесной машины сохранять заданное положение по уклону, не нарушая свое первоначальное устойчивое равновесия. Существует четыре фактора нарушения поперечной устойчивости:

- максимальная скорость движения автомобиля по кривой, соответствующая началу его заноса;
- максимальная скорость движения автомобиля по кривой, соответствующая началу его опрокидывания;
- максимальный угол косогора, соответствующий началу поперечного скольжения колес;
- максимальный угол косогора, соответствующий началу опрокидывания колесной машины.

В учебнике проф. А.С. Литвинова, отмечено что: «устойчивость движения колесной машины в плоскости дороги в поперечном и угловом направлениях характеризуется траекторной и курсовой устойчивостью» [44].

В учебнике проф. А.С. Литвинова, автор под траекторной устойчивостью понимает: «...свойство автомобиля, характеризующее его способность сохранять заданное водителем направление движения» [44].

При движении автомобиля, вследствие возмущений может отклоняться от траектории заданной водителем, т.е. иметь траекторное отклонение.

«Траекторное отклонение - это отклонение вектора скорости автомобиля от заданного направления движения» [44].

«Курсовая устойчивость - способность автомобиля, без участия водителя сохранять заданное направление прямолинейного движения и противостоять действию внешних возмущающих сил, стремящихся изменить это направление» [44].

Колесная машина в ходе движения может иметь курсовое отклонение, связано это с влиянием конструктивных и эксплуатационных факторов: действия боковой силы, боковой увод шин, скольжение движителей и т.д. При движении колесной машины по заданной траектории, выбранной водителем, в некоторых случаях может произойти отклонение продольной оси машины от заданного курса движения, называемое – курсовым отклонением. Колесная машины отклоняясь от заданного курса движения, отклоняется на некоторый угол, называемый курсовым углом γ .

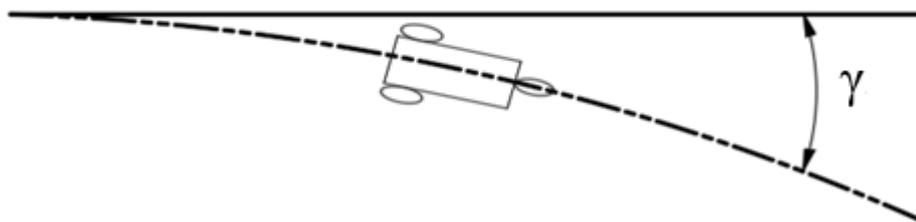


Рисунок 1.2 – Курсовое отклонение

С точки зрения устойчивости и безопасности наиболее благоприятна работа колесных машин в продольном направлении склонов, однако при этом происходит интенсивное развитие эрозии почвы, что приводит к невосполнимым потерям плодородия почв. Основным требованием к средствам механизации сельскохозяйственных работ является требование их щадящего воздействия на плодородия почвы. Поэтому с точки зрения агротехнических и энерготехнических показателей наиболее целесообразна работа колесной машины поперек склонов. При движении колесной машины поперек склона возникает опасность потери устойчивости. В горных условиях эксплуатации устойчивость колесной машины подразумевает его способность сохранять заданное направления движения противодействуя внешним возмущающим силам.

В случае рассмотрения движение трицикла вдоль горизонтали склона, может быть вызван соответствующий углу склона боковой крен, вследствие чего возникает боковая сила перераспределяющая вес между правыми и левыми опорными элементами ходовой части, создающая отклоняющий момент. Также боковой уводом эластичных шин, вызванным поперечной силой, ведет к нарушению его устойчивости движения. На устойчивость также, может повлиять поперечное сложения движителей при недостаточном их сцеплении с опорной поверхностью [66].

Чтобы трицикл сохранял заданное положение и следовал горизонтали склона, необходимо заложить в его конструкцию необходимые параметры, не допускающие опрокидывания и отклонения от заданного курса движения.

Трицикл с плохой устойчивостью произвольно меняет направление своего движения. Нарушения прямолинейности при выполнении рабочих процессов на склонах приводит к снижению полезной тяговой мощности трицикла, при этом скорость движения уменьшается, расход топлива увеличивается, тяговое сцепные свойства ухудшаются, падает производительность работы и качество технологического процесса [105].

Необходимость постоянного подруливания для выравнивания и поддержания заданного направления движения ведет к утомляемости водителя, и снижению производительности, а нарушение поперечной устойчивости может смертельно сказаться на механизаторе.

Таким образом при движении трицикла вдоль горизонталей склона происходит нарушения устойчивости движения, при действии на него трех основных факторов: перераспределением нормальных нагрузок между колесами трицикла, т.е., верхнее по склону колесо задней оси трицикла будет менее нагружено, чем нижнее по склону колесо этой же оси; боковым уводом эластичных шин, вызванным поперечной составляющей силы тяжести; сползания (поперечного скольжение движителей при недостаточном их сцеплении с опорной поверхностью), что существенно увеличивает трудности работ на участках склонов, нарушая управляемость и устойчивость [102].

Отсюда вытекает необходимость в создании колесных машин, специально приспособленных к определенным условиям эксплуатации, в которых они могут производительно, экономично и безопасно использоваться.

Эффективным способом повышения устойчивости трицикла при движении вдоль горизонталей склонов является наклон его остова в сторону возвышенности склона (рис. 1.3).

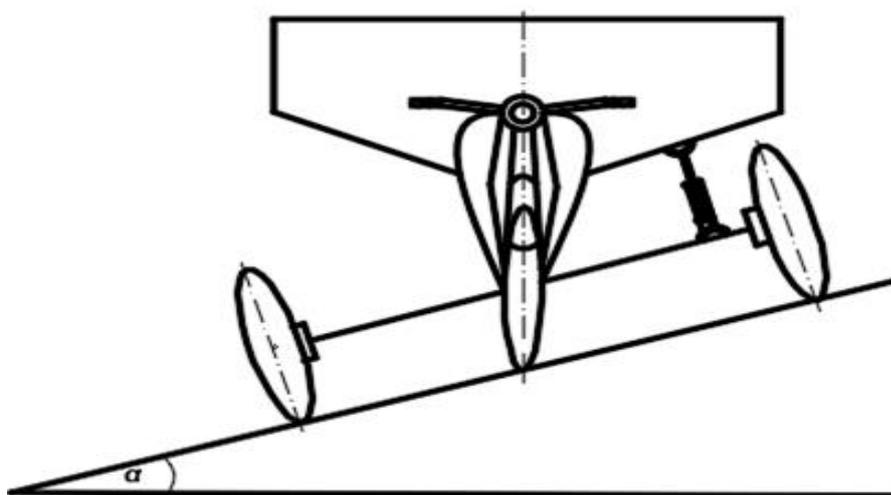


Рисунок 1.3 – Трицикл со стабилизацией остова

1.3. Перспективы и проблемы использования трициклов с грузовой платформой в горных фермерских хозяйствах.

Сельское хозяйство является крупной отраслью материального производства Северной Осетии. Основное место в общем земельном фонде республики занимает категория земель сельскохозяйственного назначения (52,42 % от общей площади республики).

Роль колесных машин в сельском хозяйстве непрерывно возрастает. Использование безопасной, экономичной и надежной техники в сельском хозяйстве является крайне важным. При движении по горным склонам использование подвижного состава большой грузоподъемности для перевозки массовых грузов, с точки зрения устойчивости и управляемости является не безопасным. Более целесообразно использовать колесные машины особо малой грузоподъемности для перевозки мелких партий грузов.

В действительности при движении колесной машины возникают самые различные положения, как и самой машины, так и дороги по которой она перемещается. Создания мобильной легкой техники, приспособленной к работе в фермерских хозяйствах в горных условиях, обладающей повышенной устойчивостью по опрокидыванию и курсовой устойчивостью является, несомненно, актуальной задачей.

На пересеченной местности, в том числе на склонах водитель вынужден воздействовать на рулевое управление, подруливая колеса на угол равный углу отклонения колесной машины от заданной горизонтали склона с целью поддержания продольной оси в заданном направлении движения, что неизбежно приводит к повышенной утомляемости и снижает качества работ, потери скорости и др. При движении в поперечном направлении горного склона и вовсе может произойти опрокидывания колесной машины. Решению этих проблем и в части опрокидывания, и в части повышения курсовой устойчивости способствует стабилизация остова машины.

Если проследить развития колесной техники, приводимой в движение мотором, то первыми из-за простоты и удобства управления являлись трехколесные тележки с одиночным передним управляемым колесом.

Принципиальное отличие трехколесных от четырехколесных шасси заключается в том, что они имеют, совершенно разные плечи приложения составляющих сил тяжести перпендикулярных опорной поверхности, т.е. у трёхколесных машин плечо приложения составляющей силы тяжести перпендикулярной опорной поверхности в связи с конструктивными особенностями, а именно из-за осей опрокидывания, значительно меньше, нежели у четырехкопных колесных транспортных средств, что делает их менее устойчивым видом транспорта.

Устойчивость и управляемость трехколесных машин исследовалась учеными, как в нашей стране, так и за рубежом. Мстислав Келдыш создал теорию устойчивости трехколесных шасси. Свой вклад в это направление внесли и ученые Московской автомобильной академии и ВНИИ мотопрома. Испытания опытных и спортивных образцов подтвердили правильность теоретических расчетов и исследований.

К сожалению, в серийных образцах трёхколесных машин, как наших, так и зарубежных, учтена лишь малая толика рекомендаций ученых, к которым стойко прилепился ярлык транспортных средств повышенной опасности. Другим серьезным недостатком трициклов считается недостаточная устойчивость [111].

Несомненным преимуществом трех-опорной схемы является отсутствие в статике скручивающих усилий в раме и кузове, а в динамике они на порядок меньше, чем у четырехколесных машин. Это говорит о том, что в трехколесных машинах можно добиться оптимального соотношения собственной массы и полезной нагрузки. В свою очередь, это позволяет создать дешевую, экономичную в эксплуатации машину. Необходимо отметить что, применение трехколесной равнинной технике на косогорах является не

целесообразным и низкотехнологичным, так как в процессе движения по уклону возникают проблемы с управляемостью и устойчивостью [105].

На Российском рынке все больше и больше становятся востребованы грузовые трициклы (трицикл Омакс, Кинфан и другие модели). Грузовой трицикл представляет собой удобное, современное, функциональное транспортное средство. Использование средств малой механизации в народном хозяйстве имеет довольно широкое применение, это объясняется тем, что они являются более дешевыми и экономичными транспортными средствами, к этой категории относятся также грузовые трициклы предназначенные для работ в фермерских хозяйствах.

Но, как правило, грузовые трициклы обладают рядом недостатков, связанных с малой продольной и поперечной устойчивостью, сопряжено это с конструктивными особенностями трицикла. Несмотря даже на свои недостатки, трициклы продолжают выпускаться многими фирмами, которые не собираются исключать их из своей программы.

Треть территории нашей страны занимают горные районы. Часть пахотных земель пастбищ расположена на склонах в горных районах. Отсутствие специальной техники делает невозможным выполнение рабочих процессов на склонах и горных участках. Учитывая, что основным требованием к средствам механизации сельскохозяйственных работ является требование их щадящего воздействия на плодородия почвы. Именно поэтому одной из основных задач при выполнении механизированных работ на склонах, является наименьшее уплотнение почвы при воздействии движителей колёсных машин на почву.

Безопасность движения колесных машин, работающих на горных склонах фермерских хозяйств, направлена на сохранения жизни людей и повышения производительности труда. В условиях горной эксплуатации трициклов, возникает объективная необходимость решения проблем их статической и динамической устойчивости, кроме того пока не будет решена это проблема, сохраняется невозможность создания научно обоснованных

рекомендации по эксплуатации трициклов в горных условиях. Именно поэтому возникает необходимость воздействовать конструктивными мероприятиями, на повышения устойчивости трициклов эксплуатирующихся на горных склонах.

Конструкция трициклов классической компоновки не позволяет эксплуатировать их на косогорах. Это обусловлено также и тем, что в связи с особенностями конструкции, центр тяжести трициклов классической конструкции расположен высоко над опорной поверхностью, что в свою очередь может служить нарушением устойчивости против опрокидывания в случае движения в поперечном направлении склонов.

Потеря устойчивости трицикла может произойти, как и на горизонтальной, так и на наклонной опорной поверхности, причем последнее наиболее вероятно. Во время движения трицикла по дороге с поперечным уклоном происходит значительное перераспределение нагрузки между колесами нижнего и верхнего по склону колеса. В случае достижения равенства нулю нормальных реакций, одного из колес задней оси трицикла, произойдет поперечное опрокидывание колёсной машины, что является крайне опасным и влечет за собой тяжкие последствия [105].

Избежать этого можно применением стабилизации остова трицикла. Наклоняя остов трицикла в сторону возвышенности склона можно достичь максимальной устойчивости против опрокидывания и курсовой устойчивости, за счет дополнительного нагружения верхнего по склону колеса задней оси. При этом момент составляющей силы тяжести трицикла $G \cos \alpha$, который направлен на повышение устойчивости трицикла будет возрастать по отношению к опрокидывающему и отклоняющему моментам. Для рассматриваемой схемы трицикла (рис.1.4).

Конструкция, которая позволит сохранять вертикальность остова трицикла на склоне, а соответственно дает возможность изменять направления вектора центра масс позволит трициклу:

- двигается по склонам большой крутизны, что однозначно увеличивает область применения данной техники в горных условиях эксплуатации;

- уменьшить отклонения его продольной оси от заданного курса движения тем самым повышая курсовую и поперечную устойчивость;

- повысить безопасность движения, способствующие сохранению жизни людей и перевозимых грузов, а также даст возможность находиться водителю в безопасном положении.

1.4 Поперечная устойчивость трицикла на склоне

Вопросы оценки поперечной устойчивости различных колесных машин отражены в трудах отечественных ученых Г.И. Мамити, М.С. Льянова, А.Е. Гагкуева, С.М. Огороднова, С.Х. Плиев, Е.В. Балакиной, А.С. Литвинова, Я.Е. Форобина, Г.О. Котиева, Н.М. Филькина, Н.М. Филькина, П.В. Зеленого, Желейкина М.М. и многих других.

Устойчивым движениям по отношению к опрокидыванию колесной машины на склоне принято считать способность движения колесной машины сохраняя заданное положение по уклону. Устойчивость движения является одним из основных свойств машин, характеризующих их эффективность и безопасность работы.

«Показателями поперечной устойчивости колесной машины являются: «критическая скорость по боковому скольжению (заносу); критическая скорость по опрокидыванию; критический угол поперечного уклона дороги (косогора) по боковому скольжению; критический угол поперечного уклона дороги (косогора) по опрокидыванию; коэффициент поперечной устойчивости» [17].

Устойчивость движения зависит от многих факторов, но одним из важных факторов напрямую влияющий на устойчивость колесной машины является движения по наклонной опорной поверхности. Данный режим

движения является наиболее опасным, так как возникает опасность потери устойчивости, которая выражается в скольжении колес или опрокидывании колесной машины.

Колесная машина, двигаясь по горным склонам, может иметь разное направления движения. В зависимости от направления движения по склону, устойчивость колесной машины разделяют на продольную и поперечную. Необходимо отметить, что наиболее часто встречаемым и опасным видом потери устойчивости является потеря поперечной устойчивости. Для получения теоретически достоверных результатов при изучении движения колесной машины по горному склону, необходимо наряду со всеми факторами влияющих на устойчивость движения, также учитывать положения центра масс самой машины. Потеря поперечной устойчивости для колесной машины на поперечном склоне более вероятна, так как при движении колесной машины поперек склона, вектор центра тяжести расположен ближе к осям опрокидывания, нежели при движении в продольном направлении склона.

Нарушение поперечной устойчивости транспортного средства, в случае движения поперек склона может быть вызвано:

- центробежной силой инерции, возникающей в случае криволинейного движения и направленной в противоположную сторону от ускорения машины;
- составляющей силы тяжести колесной машины, параллельной опорной поверхности, в случае если объект находится на негоризонтальной опорной поверхности;
- воздействием неровностей дороги на колеса машины, которые могут в свою очередь повлиять на дополнительный угол поворота машины в поперечной плоскости, вызывая нарушения поперечной устойчивости;
- разное распределения реакций от опорной поверхности приходящихся на колеса машины, вызванное углом наклона опорной поверхности;

– большим коэффициентом сцепления шин с опорной поверхностью, в случае действия большой боковой силы при высоком коэффициенте сцепления возникает вероятность опрокидывания в поперечной плоскости склона, нежели занос колесной машины; при критическом угле косогора и ряда других причин.

По способу опирания несущей конструкции и движителей на опорную поверхность транспортные средства подразделяются на двухопорные, трехопорные, четырехопорные и т.д. Трехопорные конструкции, к которым также относятся трехколесные мотоциклы, конструктивно выполняются с симметричным расположением задних колес и с асимметричным расположением колес (мотоцикл с коляской). Очевидно, что мотоцикл с симметричным расположением задних колес устойчивее. И даже они менее устойчивы, чем четырёхколёсные транспортные средства, поскольку ось опрокидывания последних, находится дальше от центра тяжести масс колесной машины [98].

Потеря поперечной устойчивости трицикла при движении в поперечном направлении происходит вследствие заноса или опрокидывания. В качестве одного из оценочных показателей поперечной устойчивости колёсной машины был принят предельный статический и динамический угол поперечного уклона, на котором колесная машина может находиться и двигаться без опрокидывания.

Если вертикаль, проведенная через центр тяжести трицикла находящегося на склоне, проходит через точку контакта колеса нижнего с почвой, то трицикл находится в состоянии неустойчивого равновесия и характеризуется углом наклона опорной поверхности. Очевидно, что статическая и динамическая поперечная устойчивость трицикла повысится при увеличении расстояния между центрами пятна контакта колес задней оси и недопущении прохождения вектора центра тяжести через критическую точку опрокидывания (рис. 1.4).

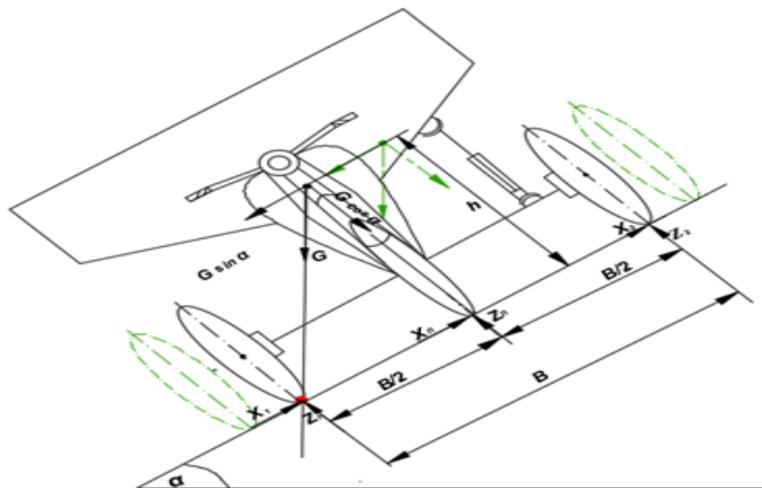


Рисунок 1.4 – Прохождение вектора центра масс трицикла через ось опрокидывания

В случае пребывания или движения трицикла в поперечном направлении косогора (рис. 1.5) с углом наклона α , на трицикл будет действовать группа сил: составляющая сила тяжести коленной машины, параллельной опорной поверхности $G \sin \alpha$; составляющая сила тяжести трицикла, перпендикулярная опорной поверхности $G \cos \alpha$; нормальные реакции почвы на колеса – Z_1, Z_2, Z_{II} ; боковые реакции на колеса – X_1, X_2, X_{II}

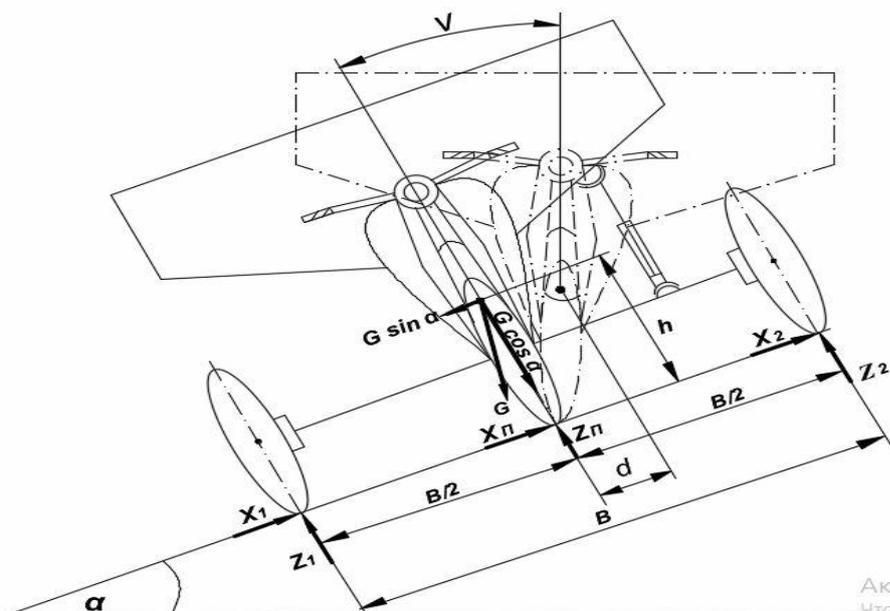


Рисунок 1.5- Схема сил и реакций, действующих на трицикл при движении в поперечном направлении склона

Z_1, X_1 - реакции, действующие на заднее нижнее колесо;

Z_2, X_2 - реакции, действующие на заднее верхнее колесо;

$Z_п, X_п$ - реакции, действующие на переднее колесо;

a, b, h - координаты центра масс;

G – сила тяжести;

$G \sin \alpha, G \cos \alpha$ – составляющие силы тяжести;

ν - наклон остова трицикла;

d - перемещение центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона.

При движении трицикла по косоугору изменяется нагрузка на его опорные колеса за счет перераспределения веса. В трехопорных КМ соединение несущей рамы приводится к двум точкам опоры задней оси и к одной точке опоры передней оси. Именно поэтому у трицикла находящегося на поперечном склоне перераспределение нагрузки между колесами ведущего моста и передним управляемым колесом будут неравномерными.

При нахождении трицикла на поперечном склоне составляющие силы тяжести $G \cos \alpha$ и $G \sin \alpha$ по-разному нагружают шины колес. Составляющая силы тяжести трицикла параллельная опорной поверхности вследствие способствует некоторому догружению колеса нижнего по склону задней оси и снижению нагрузки с колеса верхнего по склону. Такое воздействие в значительной степени зависит от смещения центра тяжести трицикла, угла косоугора, боковой силы и т.д. В результате неизбежна деформирование шины, что является следствием возникновения дополнительного крена трицикла в сторону действия силы $G \sin \alpha$, что в свою очередь будет способствовать уменьшению устойчивости. При поперечном крене нижнее по склону колесо трицикла нагружается не только силой $G \sin \alpha$, но и моментом вызванным в результате действия составляющей $G \sin \alpha$. Вектор центра масс трицикла будет, смещается в сторону действия силы $G \sin \alpha$, тем самым уменьшая расстояния от центра масс трицикла до прямой соединяющей центры контактов переднего и заднего колеса. В таком случае момент опрокидывания ($M_{опр}$) будет возрастать по отношению к

восстанавливающему моменту (M_B), что будет способствовать возрастанию вероятности опрокидывания.

Трицикл принципиально отличается от четырехколесных транспортных средств, имея совершенно другие геометрические параметры, от которых зависит боковая устойчивость. Для определения поперечной устойчивости трицикла против опрокидывания на склоне, важно знать расположения вероятной оси опрокидывания, плечи действия нормальной составляющей сил тяжести $G \cos \alpha$ и боковой силы $G \sin \alpha$ приложенных к центру масс колесной машины.

Для трицикла ось опрокидывания будет проходить через центры пятен контакта одиночного и наружного относительно направления боковой силы, колеса. В случае рассмотрения устойчивости трицикла важную роль против опрокидывания на склоне играют плечо приложения составляющей силы тяжести перпендикулярной опорной поверхности (рис. 1.6 а) и плечо приложения боковой силы тяжести h' (рис. 1.6 б), которые будут равны:

$$n = a \cdot \sin \beta ;$$

$$h' = h .$$

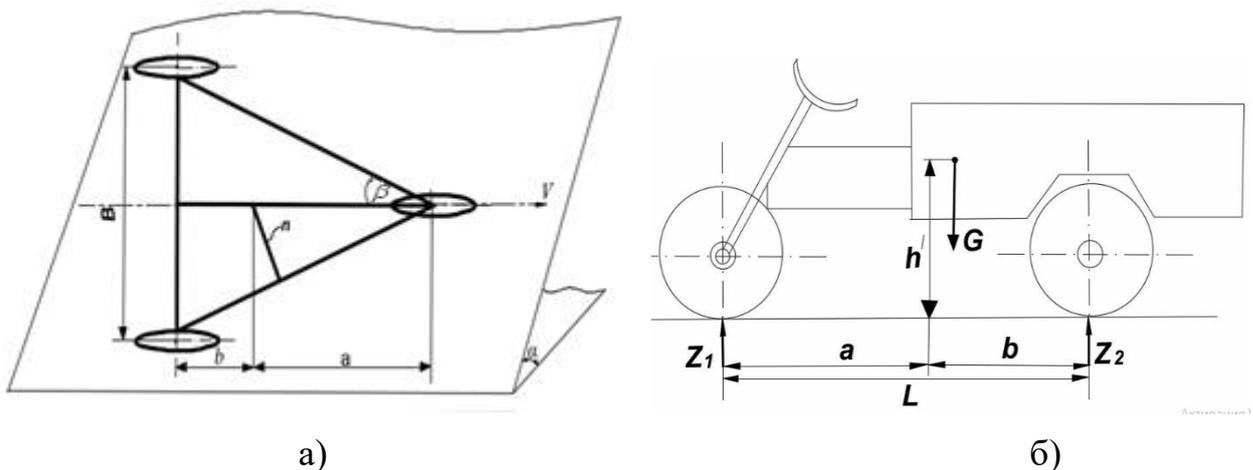


Рисунок 1.6 – Плечи приложения составляющих действующих сил:

а - нормальных; б - боковых

Где β – угол между осью симметрии и осью опрокидывания;

$n = a \cdot \sin \beta$ плечо приложения нормальной к опорной поверхности, составляющей силы тяжести трицикла; h' – плечо приложения параллельной к опорной поверхности, составляющей силы тяжести трицикла; a – расстояние от центра тяжести трицикла до передней оси; b – расстояние от центра тяжести до задней оси трицикла; L – база трицикла.

При движении трицикла в поперечном направлении склона, составляющей силой тяжести трицикла $G \sin \alpha$, будет дополнительно вызван момент на плече h' , который будет способствовать нарушению устойчивости трицикла против опрокидывания (рис. 1.6). Момент силы, который стремится нарушить устойчивость и опрокинуть трицикл на наклонной плоскости, назовём опрокидывающим моментом, который будет равен:

$$M_{оп} = hG \sin \alpha, \quad (1.1)$$

где h - расстояние центра тяжести ТС от опорной поверхности;

G - сила тяжести трицикла.

Момент составляющей силы тяжести трицикла $G \cos \alpha$, который направлен на повышение устойчивости трицикла является восстанавливающим моментом, создаваемый составляющей силы тяжести трицикла $G \cos \alpha$ и расстоянием от точки центра пятна контакта нижнего по склону колеса задней оси до плоскости, проходящей через центр тяжести по нормали опорной поверхности. Для рассматриваемой схемы трицикла (рис.1.4), восстанавливающий момент равен:

$$M_B = 0.5BG \cos \alpha, \quad (1.2)$$

где B – колея трицикла.

При движении трицикла в поперечном направлении склона, сила тяжести трицикла раскладывается на две составляющие силы, $G \cos \alpha$ – сила перпендикулярная опорной поверхности, которая стремится прижать колеса к опорной поверхности и $G \sin \alpha$ – сила параллельная опорной поверхности, которая стремится опрокинуть транспортное средство (рис.

1.4). Составляющая силы тяжести трицикла параллельная опорной поверхности вследствие, способствует, некоторому догрузению колеса нижнего по склону задней оси трицикла и снижению нагрузки с колеса верхнего по склону. Такое воздействие в значительной степени зависит от смещения центра тяжести масс трицикла, угла косогора, боковой силы и т.д.

Исследуя процесс поперечного опрокидывания трицикла на косогоре, необходимо отметить, что в момент начала опрокидывания трицикла на движитель задней оси расположенный выше по склону, действующая нормальная реакция от дороги становится равной нулю, а большая часть нагрузки будет приходиться на нижний по склону движитель задней оси трицикла. Условия нарушения устойчивости, при которых происходит боковое опрокидывание трицикла на косогоре достигают равенству нулю реакций одного из колес задней оси [72].

Для определения критериев статистической устойчивости колёсной машины на склоне с углом α , разложим силу тяжести трицикла G на две составляющие – параллельную опорной поверхности $G\sin\alpha$ и нормальную к ней $G\cos\alpha$, тогда условие недопущения сползания колесной машины запишется как [87]:

$$G\sin\alpha \leq \sum X = \varphi_c \sum Z = \varphi_c G\cos\alpha \quad , \quad (1.3)$$

где X -поперечная реакция опорной поверхности, действующая на колесо; Z -нормальная реакция опорной поверхности, действующая на колесо.

При установившемся прямолинейном движении колесной машины по косогору центробежная сила инерции $F_{ц.ин} = 0$ и скольжение колес в поперечном направлении вызывается соответствующей силой веса $G\sin\alpha$. Критический угол косогора по боковому скольжению определяется тогда из выражения:

$$tg\alpha_{кр} = \varphi_c \quad , \quad (1.4)$$

где: φ_c - коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью в направлении сползания колесной машины; $\alpha_{кр}$ = критический угол косогора по боковому скольжению.

Таким образом, в случае низкого сцепления шин с опорной поверхностью вероятность проскальзывания шин возрастает и может привести к скольжению колес относительно дороги. Скольжение колес в поперечной плоскости дороги можно исключить, если сила сцепления шины с опорной поверхности будет превосходить по величине тангенс угла наклона опорной поверхности, на котором прибывает колесная машина. Коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью зависит как от физико-механических свойств почвы, так и от типа и состояния протектора, ходовой системы, коэффициента трения, давления в шинах. Выражение (1.4) для определения критического угла сползания справедливо для любой колесной машины и в любом направлении [110].

По своим последствиям опрокидывание, как правило, более опасно, чем занос. Максимально возможные скорости движения транспортных средств по условию опрокидывания ($V_{опр}$) и заноса ($V_{зан}$) определяются по формулам [98]:

$$V_{опр} = k_d \sqrt{\frac{gBB_n}{2h}}, \quad (1.5)$$

$$V_{зан} = \sqrt{g\varphi R_n}, \quad (1.6)$$

где k_d – коэффициент, учитывающий поперечный крен кузова вследствие деформации подвески, k_d ; g – ускорение свободного падения; B – ширина колеи КМ, м; R_n – радиус поворота, м; h – высота центра масс КМ, м; φ – коэффициент сцепления шин с дорогой.

Потеря поперечной устойчивости ТС происходит вследствие заноса или опрокидывания. С точки зрения минимизации последствий от потери устойчивости должно соблюдаться соотношение $V_{зан} / V_{опр} < 1$, т.е. раньше должен наступать занос. Рассмотрим это соотношение с учетом (1.5 и 1.6)

$$\frac{V_{зан}}{V_{опр}} = \frac{\sqrt{2hg\varphi R_{п}}}{k_{д}\sqrt{gBB_{п}}} = \frac{\sqrt{2h\varphi}}{k_{д}B} = \frac{2\varphi h}{k_{д}^2 \cdot B}. \quad (1.7)$$

Если соотношение $V_{зан}/V_{опр}$ принять как коэффициент потери устойчивости $k_{п.у.}$, то:

$$k_{п.у.} = \frac{2\varphi h}{k_{д}^2 \cdot B}. \quad (1.8)$$

Таким образом, для того чтобы раньше наступал занос, а уже потом опрокидывание необходимо снижать высоту центра масс - h и увеличивать ширину колеи - B , транспортного средства. Исходя из (1.6) при жесткой подвеске ($k_{д} = 1$):

$$h \leq \frac{b}{2\varphi}, \quad (1.9)$$

Учитывая, что максимальное значение коэффициента сцепления φ приближается к единице, примем $\varphi = 1$, тогда

$$h \leq \frac{b}{2}. \quad (1.10)$$

Исходя из зависимости (1.10), можно на предварительном этапе проектирования определить необходимое для сохранения устойчивости ТС соотношение колеи (B) и высоты центра масс (h).

Полученное выражение позволяет установить зависимость устойчивости транспортного средства от конструктивных параметров и соотношения потери устойчивости от заноса и опрокидывания.

Коэффициент $k_{д}$ в знаменателе выражения (1.8) отражает необходимость повышения жесткости подвески с точки зрения повышения безопасности транспортного средства, так как при движении крен его кузова происходит по направлению действия боковых сил. Если же крен кузова направлен в противоположную сторону, то устойчивость должна повышаться [98].

При движении трицикла вдоль заданной горизонтали склона без опрокидывания в поперечной плоскости, необходимо и достаточно чтобы выполнялось условие:

$$G \sin \alpha \cdot h \leq G \cos \alpha \cdot a \sin \beta, \quad (1.11)$$

где: $G \sin \alpha$ – составляющая веса трицикла, параллельная поверхности косогора; $G \cos \alpha$ – составляющая веса трицикла, нормальная к этой поверхности; G – вес трицикла; h – высота расположения центра масс трицикла; $n = a \cdot \sin \beta$ плечо приложения нормальной к опорной поверхности, составляющей силы тяжести; α – угол косогора; β – угол между осью симметрии и осью опрокидывания; a – расстояния от передней оси трицикла до центра масс.

В случае движения трицикла в поперечном направлении склона за счет перераспределения нагрузок по бортам, может возникнуть крен подрессоренных масс относительно не подрессоренных масс. Если крен кузова направлен в сторону действия силы $G \sin \alpha$ то он будет способствовать нарушению устойчивости. Если же условно крен кузова направить в противоположную сторону, то устойчивость должна повышаться. Соответственно увеличивая расстояния от прямой проходящей через центр пятна контакта одиночного колеса и одного из колес задней оси трицикла, до оси симметрии, ($M_{\text{опр}}$) будет уменьшаться по отношению к восстанавливающему моменту ($M_{\text{в}}$), что будет способствовать повышению устойчивости против опрокидывания [110].

В комплексе мероприятий, направленных на повышение устойчивости трицикла на поперечном склоне особое место, занимает рациональное расположение центра масс трицикла. Известно, что для обеспечения поперечной устойчивости колёсных машин необходимо, чтобы вектор центра тяжести масс КМ не проходил через критическую точку опрокидывания. Не допущения прохождения вектора центра масс трицикла через критические точки опрокидывания даст возможность повысить устойчивость трицикла против опрокидывания на склоне. Именно поэтому необходимо рассмотреть

конструкцию трицикла с изменяемой геометрией конструкции, которая позволит рационально изменять положения центра масс трицикла, что позволит обеспечить его высокой потенциальной статической и динамической устойчивостью на склоне.

Изменения направления вектора центра тяжести, изменения величины плеча силы тяжести как восстанавливающего момента можно достичь конструктивно, применив стабилизацию остова трицикла с возможностью сохранения вертикальности.

Если учитывать смещение центра масс в сторону возвышенности склона, то условие (1.11) примет вид [110]:

$$G(h - h_0) \sin v \cdot \cos \alpha \leq Gn' \cdot \cos \alpha, \quad (1.12)$$

где h_0 – высота расположения оси наклона остова;

v - наклон остова трицикла;

n' – плечо приложения составляющей силы тяжести $G \sin \alpha$, в случае наклона остова трицикла в сторону возвышенности склона;

h_0 -высота расположения оси наклона остова.

Если остов трицикла наклонен на угол v в сторону возвышенности склона, промежуточные параметры примут определённые значения [92]:

$$h_0 = (r_2 a + r_1 b \cos v) / L; \quad (1.13)$$

$$d = (h - h_0) \sin v; \quad (1.14)$$

$$\xi = r_1 \cdot \sin v / \sqrt{(B/2)^2 + L^2}; \quad (1.15)$$

$$n' = (d + atg \cdot \beta) \cdot \cos \cdot (\beta - \xi) + b \cdot \sin \xi / \cos \cdot \beta, \quad (1.16)$$

где h_0 -высота расположения оси наклона остова; d - перемещения центра масс от продольной оси в сторону возвышенности склона; ξ - угол соответствующий перемещению центра пятна контакта шины; n' - плечо приложения силы тяжести, в случае если остов трицикла на склоне в вертикальном положении.

Если остов трицикла не сохраняет вертикальность на склоне и находится в естественном положении, то в этом случае получим наименьшее плечо $n = a \cdot \sin \beta$ силы тяжести трицикла относительно его оси

опрокидывания. Наклон остова трицикла в сторону возвышенности склона будет оправдан только в том случае, если центр масс расположен выше оси наклона кузова. Только в этом случае при наклоне остова трицикла на угол ν , центр тяжести кузова трицикла переместится в сторону возвышенности склона на определенное расстояние $d = (h - h_0) \sin \nu$, что будет содействовать большей устойчивости трицикла против опрокидывания, а также способствует уменьшению отклоняющего момента [110].

Недостатки существующих конструкций трициклов и не возможность применения в горных условиях сводится к тому, что серийные грузовые трициклы классической конструкции необходимыми свойствами для горных работ не обладают. Конструкция, которая обеспечит прямолинейное движения по косогорам, повысит устойчивость против опрокидывания, уменьшит буксование и сползание вниз по склону, особенно важна и актуальна в горных условиях эксплуатации.

При работе в поперечном направлении склона трициклы не оснащенные специальными устройствами будут крениться на бок и сползать со склона. Такие недостатки в конструкции, как отсутствие:

- устройств, противодействующие сползанию машины на склоне;
- выравнивающего устройства, которое приводит остов машины в вертикальное положение относительно склона, существенно ограничивают эксплуатацию колесных машин в горных местностях [137].

С увеличением крутизны склона устойчивость трицикла резко снижается. Трицикл обычного типа может опрокинуться даже на склоне в $15-17^\circ$, так как перераспределяется вес, приходящийся на отдельные элементы ходовой части. Чем круче склон, тем больше нагружены нижние по склону колеса. Почва от этого деформируется, сопротивление движению увеличивается. Если рельеф внезапно меняется, склон становится еще круче, трицикл будет крениться набок, водителю в такой позе находиться неудобно и трудно, а машина норовит свернуть, и может опрокинуться [137].

Для повышения безопасности работы трициклов в горной местности предлагается несколько технических решений:

- трициклы можно оборудовать прочными балками или рамами, выходящими за габариты машины и предотвращающими его опрокидывание при критическом крене;

- трициклы которым, предстоит, работать на склонах, могут иметь устройства, которые либо прекращают работу двигателя, либо выключают муфту сцепления в случае, когда его наклон приближается к опасной величине;

- трехколесные машины можно оборудовать дополнительными колесами, выходящими за габариты машины, эти колеса будут расположены на некотором расстоянии над опорной поверхностью, в момент, когда начинается, отрыв верхних по склону колес от поверхности склона, машина опирается на дополнительное колесо и опрокидывание предотвращается;

- установка балластного груза и с помощью оборудования переносить центр тяжести в сторону подъема, что поможет избежать опрокидывания, однако это приводит и к энергетическим потерям;

- стабилизация остова трицикла.

Анализ показывает, что наиболее перспективной представляется конструкция трицикла с наклоняющимся остовом, что, как показали эксперименты, значительно повышает устойчивость трицикла против опрокидывания, уменьшает буксование и сползание вниз по склону.

1.5. Курсовая устойчивость трицикла на поперечном склоне

Сохранение устойчивости колесной машины при движении по горным склонам является одним из основных эксплуатационно-технических свойств. Одним из видов устойчивости, является курсовая устойчивость, от которой зависит повышения качества движения колёсных машин и выполняемых работ.

Курсовая устойчивость – это способность колесной машины, без участия водителя сохранять заданное направление прямолинейного движения и противостоять действию внешних возмущающих сил, стремящихся изменить это направление [44].

Оценочным параметром курсовой устойчивости является:

- средняя скорость бокового смещения автомобиля

$$V_{\dot{N}} = V \cdot \gamma_o, \quad (1.17)$$

где V — скорость колесной машины; γ_o - средний интегральный угол отклонения автомобиля от прямолинейного движения,

- критическая скорость по курсовой устойчивости
- критическая скорость прямолинейного движения
- критический угол косогора по курсовой устойчивости

Для сохранения, заданного направление прямолинейного движения колесной машины на поперечном склоне, возмущающие силы, возникающие от боковой составляющей силы тяжести трицикла $G \sin \alpha$ и перераспределения нагрузки по бортам, необходимо компенсировать поворотом управляемых колес вверх по склону на угол, равный углу ее отклонения под действием возмущающих сил, либо применять специальные конструкции колёсных машин, в частности со стабилизацией остова (крутосклонные колёсные машины) [1].

По мнению проф. Литвинова А.С., основной из задач управления является ориентирования в пространстве продольной оси автомобиля, т.е. обеспечение сохранения его курсового положения, определяемого курсовым углом, γ [44.]

Неустойчивое курсовое движение возникает под действием боковых сил и изменяет направление движения, изменяя курсовую ориентацию автомобиля. Энергия, затрачиваемая боковыми силами, теряется без возврата, в результате отклонения считается необратимыми. Изменяется

курсовой угол и без дополнительного воздействия на рулевое управление колесная машина не может возвратиться к заданному курсу движения [44].

Неустойчивое курсовое движения может быть выражено по-разному: после прекращения действия боковой силы на колесную машину, курсовой угол стабилизируется, но не возвращается к прежнему, в таком случае машина устойчива по отношению к угловой скорости поворота – ω_a ; в случае, когда отклонение после прекращения возмущения, продолжается, колесная машина неустойчива по отношению к угловой скорости поворота [44].

При движении колесной машины по заданной траектории, выбранной водителем, в некоторых случаях может произойти отклонение продольной оси машины от заданного курса движения, называемое – курсовым отклонением. Колесная машина, отклоняется от заданного курса движения на некоторый угол, называемый курсовым углом [44]. Курсовой угол - это угол между фактическим и заданным направлением движения.

Эксплуатационные свойства колесной машины характеризуют возможность ее эффективного использования в определенных условиях. Эффективность использования колесной машины зависит от условий эксплуатации. Колесная машина может потерять устойчивость, как на горизонтальной плоскости, так и на наклонной плоскости. Необходимо отметить, что в случае движения колесной машины по склону, наиболее часто встречаемым и опасным видом потери устойчивости является потеря поперечной устойчивости [110].

При выполнении основных операций в горных в фермерских хозяйствах, под движением колесной машины подразумевается прямолинейное движение, обусловлено это агротехническими требованиями. Для повышения качества движения колёсных машин на горных склонах и выполняемых работ необходимо стремиться к снижению искривления траектории пути, т.е. повышению курсовой устойчивости [44].

Нарушения курсовой устойчивости приводит к снижению качества работы, к потере скорости движения колесной машины, увеличению расхода топлива за счет прохождения удлинения фактически проходимого пути, повышенной утомляемости водителя, кроме того отклонения объекта от заданного курса движения ведет к развитию эрозионных процессов, а, следовательно, к невосполнимым потерям плодородия почвы [44].

В случае движения колесной машины вдоль заданной траектории движения, где угол между заданной траекторией и осью симметрии машины равняется нулю, то говорится об абсолютной курсовой устойчивости [45].

В случае потери устойчивости трицикла при движении по склону, выраженной как отклонение его продольной оси от заданного курса движения, т.е. курсовое отклонение, возникнет при действии на него основных факторов: составляющей силы тяжести трицикла $G\sin\alpha$, параллельной опорной поверхности; перераспределением нормальных нагрузок между колесами трицикла; боковым уводом эластичных шин и в случае недостаточного сцепления шин с опорной поверхностью, которое в свою очередь будет вызывать сползание и ряда других причин, которые способствуют возникновению отклоняющего момента [139].

При движении колесной машины поперек склона, водитель, чтобы сохранить прямолинейность движения, воздействует на управление, силами, которые называются управляющими. Эти силы направлены на поддержания движения колесной машины в желаемом направлении. Рассматривать только управляющие силы бессмысленно, так как на колесную машину при движении по склону будет действовать группа сил, где решающе влияние на нарушение устойчивости может быть оказана случайными силами, вызывными различными причинами: взаимодействием колес с неровностями дороги, наклоном дороги и др.

В случае рассмотрения движения трицикла вдоль заданных горизонталей склона, курсовое положения колесной машины может быть нарушено из-за действия боковых посторонних сил на движители трицикла, так как случайные активные силы будут способствовать изменению

направления движения колес по сравнению с первоначальным курсом движения.

В результате действия сил и моментов на трицикл, при движении по дороге с поперечным уклоном, перераспределяются нормальные реакции между колесами. На дороге с поперечным уклоном на трицикл будет действовать боковая сила $G\sin\alpha$ (рис.1.5) возникающая в результате разложения направленной вертикально силы тяжести трицикла на составляющие, приложенные к центру масс, перпендикулярной к опорной поверхности силы $G\cos\alpha$ и параллельной к опорной поверхности силы $G\sin\alpha$. В свою очередь силы $G\cos\alpha$ и $G\sin\alpha$ неравномерно нагружают шины трицикла. Составляющая силы тяжести параллельная опорной поверхности вследствие способствует некоторому догрузению колеса нижнего по склону и снижению нагрузки с колеса верхнего по склону. Такое воздействие в значительной степени зависит от смещения центра тяжести трицикла, угла косогора, боковой силы и т.д.

При движении трицикла вдоль заданной горизонтали склонна за счет действия силы $G\sin\alpha$ реакция опорной поверхности на колесо, находящегося выше по склону существенно отличается от реакции нижнего по склону колеса задней оси, а практически все поперечное усилие, приходящееся на ведущий мост, воспринимается нижним по склону колесом. Такое перераспределение нагрузок между колесами приводит к разному распределению мощности и крутящего момента от двигателя к ведущим колесам, таким образом, частота вращения колес будет разная, верхнее по склону колесо будет пробуксовать относительно нижнего колеса. На горизонтальном участке в виду отсутствия боковой силы ($G\cdot\sin\alpha = 0$) даже при значительном буксовании колес, сползание не ощутимо. Однако на склоне имеет место прямая зависимость величины сползания трицикла от буксования его колес [139]. С увеличением буксования увеличивается сползание ведущих колес, так как направление движения буксующего колеса, в соответствии с основной аксиомой трения – скольжения, совпадает с

равнодействующей двух сил: касательной силы тяги P и поперечной силы $G\sin\alpha$, вызывая отклоняющий момент тем самым нарушая курсовую устойчивость трицикла при движении трицикла вдоль заданной горизонтали склона [139].

При действии боковой силы $G\sin\alpha$ параллельной опорной поверхности вызванной составляющей силой тяжести трицикла и разностью сил сопротивления перекаtywания нижнего и верхнего по склону колеса задней оси трицикла возникает отклоняющий момент, который пытается нарушить прямолинейность движения. Отклоняющий момент можно компенсировать дополнительным нагружением, за счет разности нагрузок по опорам в пользу верхнего по склону колеса задней оси трицикла, тем самым можно достичь улучшения характеристики устойчивости движения.

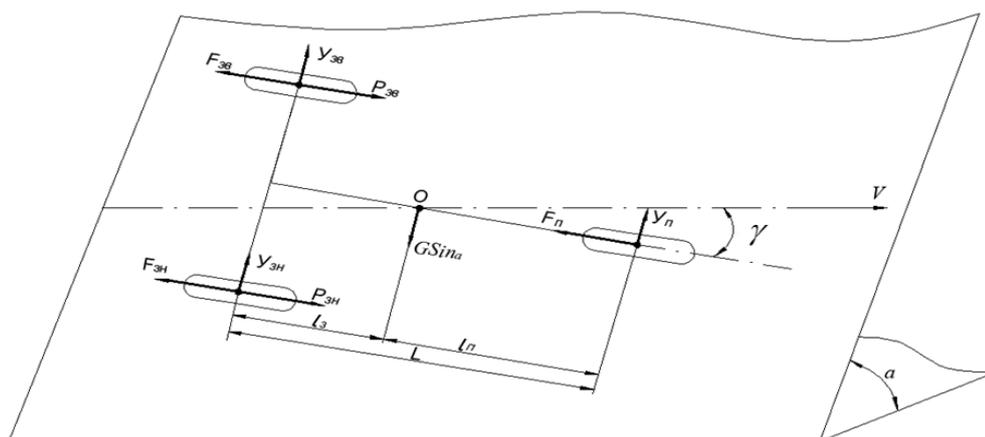


Рисунок 1.7– Схема сил, действующих на трицикл при движении в поперечном направлении склона (вдоль горизонталей склона)

$P_{zv}, F_{zv}, Z_{zv}, Y_{zv}$ – силы и реакции, действующие на заднее верхнее колесо;

$P_{zn}, F_{zn}, Z_{zn}, Y_{zn}$ – силы и реакции, действующие на заднее нижнее колесо;

P_n, F_n, Z_n, Y_n – силы и реакции, действующие на переднее колесо;

γ - угол между фактическим и заданным направлением движения.

Знание характеристик автомобильного колеса, позволяет определить точки приложения сил взаимодействия колеса с дорогой. Эта группа сил

является основной при изучении характера прямолинейного движения машины [44].

В зоне контактной площадке колеса с опорной поверхностью, возникают силы, которые действуют на колесо. Элементарные силы могут быть приведены к трем результирующим реакциям дороги: касательной, боковой и нормальной. Таким образом взаимодействие между колесом и дорогой характеризуется шестью силовыми компонентами- тремя силами, приложенными в одной точке и тремя моментами: M_{cy} - поперечным стабилизирующим моментом шины, M_{cx} - продольно стабилизирующим моментом шины, эти два момента выразятся как один стабилизирующий момент $M_{ст}$, моментом сопротивления качению $M_{сп}$ и $M_{о}$ - опрокидывающим моментом. Действия этих сил и моментов может изменить характер движения колесной машины на склоне [44].

В процессе движения трицикла вдоль заданной горизонтали склона на него действуют боковые силы. Боковые силы передаются эластичным шинам, деформируя их, вызывая увод. Боковой увод шин в свою очередь влияет на управляемость машины и ее устойчивость. Из-за эластичности шин любая по величине боковая сила, приложенная в центре тяжести машины, вызывает отклонения параметров движения от первоначальных. После чего достигается новое установившееся движение, одинаковое с начальным только по характеру. Например, при начальном прямолинейном движении новое установившееся движение будет также прямолинейно. Однако ряд параметров нового движения отличается от начальных параметров, например, направление нового установившегося движения, характеризуемое углом отклонения γ , отлично от направления начального движения [44].

В зоне контакта шины трицикла с опорной поверхности возникает группа сил, которая может нарушить прямолинейность движения, в случае если рассматривать шины не деформируемые, то трицикл сохранит заданный водителем курс прямолинейного движения, лишь в том случае если боковая сила будет меньше сил сцепления шин с дорожным полотном [17.]. Если же

рассматривать движения трицикла с эластичными шинами, то даже при угле поворота управляемых колес $\theta = 0$ трицикл может, иметь курсовое отклонение. Кривизна траектории в этом случае зависит от соотношения углов увода δ_1 и δ_2 , т.е. от поворачиваемости как и шинной, так и креновой.

При недостаточной поворачиваемости, колесная машина стремится поворачивать в сторону действия боковой силы. Однако этому препятствует центробежная сила $F_{ц}$, которая направлена в сторону, противоположную направлению действия боковой силы. Именно поэтому колесная машина с недостаточной поворачиваемостью стремится сохранить прямолинейное направления движения (рис. 1.8). Но это условие справедливо лишь в том случае, если центробежная сила не равняется нулю. В случае, когда центробежная сила $F_{ц} = 0$, колесная машина, имеющая недостаточную поворачиваемость, будет нарушать устойчивость движения и отклоняться в сторону действия боковой силы.

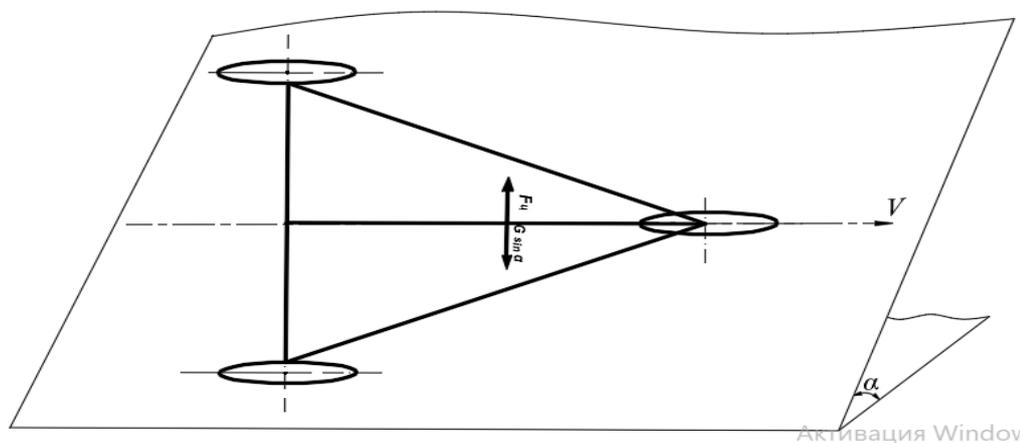


Рисунок 1.8– Недостаточная поворачиваемость трицикла.

Следует также отметить, что при установившемся движении инерционные силы равны нулю, а значение силы сопротивления воздуха не существенно, поскольку речь идет о перемещении по склону объекта, скорость которого ограничена и не превышает 3-5 м/с.

Учитывая выше написанное, рассматривая процесс установившегося движения трицикла по склону действующая на него боковая, сила будет вызывать увод шин и его смещения вниз по склону изменяя его прямолинейную траекторию. В этом случае недостаточная поворачиваемость не сохраняет прямолинейное направления движения за счет того, что центробежная сила $F_{ц}=0$. В таком случае $F_{ц}$ не будет уменьшать результирующую поперечную силу и увод колес, трицикл будет, двигаться с отклонением в сторону действия боковой силы (рисунок 1.9).

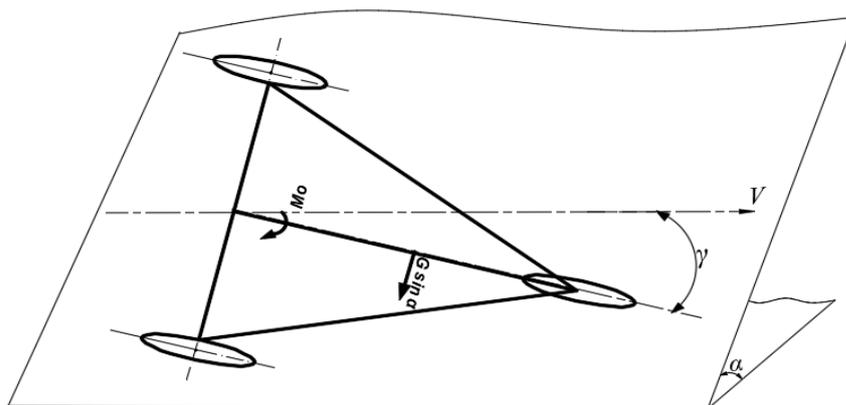


Рисунок 1.9– Недостаточная поворачиваемость трицикла при $F_{ц}=0$

Чтобы движению оставалось близко к прямолинейному, необходимо, повернуть продольную ось трицикла на γ - угол поворота продольной оси, по отношению к ее начальному положению. Необходимо компенсировать увод колес трицикла. При этом продольная ось должна быть повернута в сторону, противоположную действию боковой силы.

Потеря курсовой устойчивости может быть выражена также скольжением колес относительно опорной поверхности, зависящая не от поворачиваемости, а от того, у кого из мостов скольжение начнётся раньше. Здесь же необходимо отметить, что значения отклоняющего момента в случае движения колесной машины в поперечном направлении склона может зависеть и от колеи самой машины. Увеличение колеи колесной машины повлечет увеличения значения отклоняющего момента, что в свою очередь будет напрямую сказываться на понижении курсовой устойчивости. С точки

зрения устойчивости колесной машины против опрокидывания увеличение колеи, будет повышать восстанавливающий момент, а соответственно увеличивать статическую и динамическую устойчивость колесной машины против опрокидывания. Таким образом рассматривать уменьшение колеи колесной машины с точки зрения курсовой устойчивости является не целесообразным. Необходимо приемлемую ширину колеи рассматривать как минимально возможную с точки зрения устойчивости против опрокидывания [55].

В процессе движения трицикла вдоль заданной горизонтали склона, в случае курсового отклонения, направления вектора скорости не совпадает с заданным направлением движения. Угол между заданным направлением движения и прямой, соединяющей начальное и конечное положения точки движения следует считать более достоверным для оценки курсовой устойчивости.

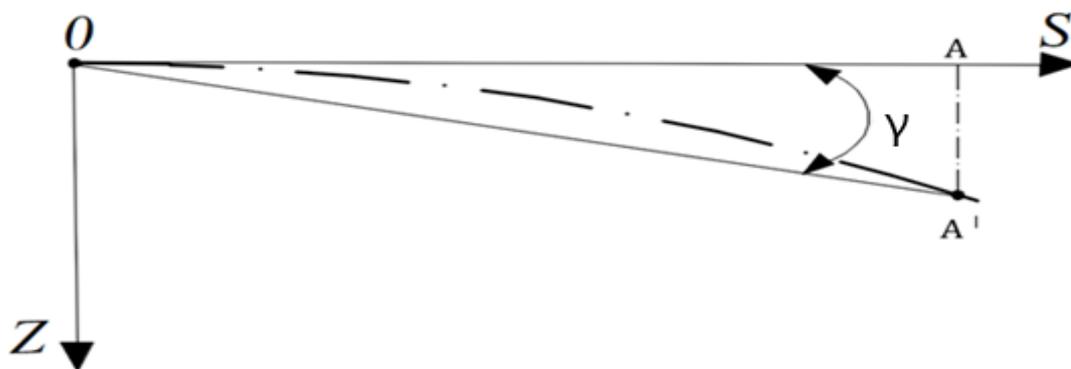


Рисунок 1.10 – Курсовой угол

Отношение отрезка пути на заданном направлении движения к фактически пройденной объектом длине траектории в пределах этого отрезка, будет оценивать курсовую устойчивость. При этом, имея угол отклонения объекта от заданного направления, курсовой угол, можно для элементарных участков пути определить коэффициент курсовой устойчивости [43]:

$$K_y = \cos \gamma , \quad (1.18)$$

где γ – курсовой угол.

Тогда в соответствии с рис. 1.10 коэффициент курсовой устойчивости для участка пути OA будет равен:

$$K_y = \cos \gamma = OA/OA' \quad (1.19)$$

Наибольшую важность в ходе нарушения курсовой устойчивости имеет искривление траектории, что в свою очередь вызывает удлинение рабочего пути. Следует отметить, что данный вид нарушения устойчивости может произойти как на горизонтальной так на наклонной опорной поверхности. Но если рассматривать последний вид опорной поверхности, то наряду с объективными и субъективными факторами, выступает основной фактор, влияющий на отклонения объекта от заданной траектории движения который заключается в перераспределении вертикальных реакций от опорной поверхности к колесам машины [43].

Предлагается степень искривления рабочей траектории оценивать коэффициентом удлинения пути [44]:

$$K_{\text{уп}} = (L_{\text{ф}} - L_{\text{п}}), \quad (1.20)$$

где $L_{\text{ф}}$ – длина фактической траектории, м;

$L_{\text{п}}$ – длина прямолинейной траектории МТС, м.

Из-за резкого возрастания числа воздействий на органы управления на склоне, ввиду перераспределения нагрузки и бокового увода шин колесных машин, а также из-за его сползания, коэффициент удлинения рабочего пути на склоне имеет большее значение по отношению к значению на равнине, следовательно, в большей степени оказывает влияние на эксплуатационные расходы колесной машины. Таким образом, из выражения (1.20) видно, что для уменьшения эксплуатационных расходов необходимо стремиться к снижению искривления траектории движения колесной машины, т.е. к уменьшению значения коэффициента удлинения пути, что соответствует повышению курсовой устойчивости. Сам коэффициент удлинения пути позволяет проводить оценку степени курсовой устойчивости колёсной или другой мобильной машины [55].

Придел устойчивого прямолинейного движения характеризуется также критической скоростью по курсовой устойчивости $V_{кр.ω}$.

Если $V > V_{кр.ω}$, то трицикл не сможет сохранять прямолинейное устойчивое движение, даже при угле поворота управляемых колес $θ=0$. Для сохранения движения близкому к прямолинейному, водителю необходимо создавать управляющие силы для компенсации отклонения продольной оси от заданного направления движения, а также необходимо чтобы соблюдалась условия $V < V_{кр.ω}$ или применить специальную конструкцию которая позволит сохранять в вертикальном положении остов трицикла на склоне, что позволит компенсировать отклоняющий момент.

1.6. Поперечная устойчивость трицикла по условиям бокового скольжения колес

Когда рассматриваются вопросы поперечной устойчивости колесных машин, в том числе мототранспортных средств, как правило, речь идет об опрокидывании транспортного средства. Однако, наряду с этим, при движении колесной машины на виражах зачастую потеря устойчивости связана с заносом колёсных машин, или, иначе говоря, с потерей движителями сцепления с опорной поверхностью.

В зависимости от направления движения по склону, устойчивость колесной машины разделяют на продольную и поперечную. Необходимо отметить, что наиболее часто встречаемым и опасным видом потери устойчивости является потеря поперечной устойчивости. В случае нарушения сцепления шин с опорной поверхностью или опрокидывания колесной машины подразумевают потерю устойчивости.

Нарушение поперечной устойчивости чаще всего возникает под действием поперечной составляющей силы инерции трицикла $F_{ин} \cos α$, либо

поперечной составляющей силы тяжести трицикла $G\sin\alpha$ при наличии поперечного угла наклона дороги α . На устойчивость против скольжения влияют такие факторы как коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью и P_ϕ - сила сцепления колеса с дорогой. При прямолинейном движении колесной машины по косогору сила инерции $F_{ин} = 0$ и скольжение колес в поперечном направлении вызывается соответствующей составляющей силой тяжести трицикла $G\sin\alpha$.

При установившемся качении колеса машины, на него в плоскости опорной поверхности действуют три взаимно перпендикулярные реакции поперечная, нормальная и касательная. Если равнодействующая поперечной и касательной силы будет равна силе сцепления шин с опорной поверхностью возникает опасность скольжения колес относительно плоскости дороги [139].

Для качения колеса без скольжения необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$P_\phi = \phi_c Z \geq \sqrt{X^2 + Y^2} \quad , \quad (1.21)$$

где : P_ϕ – сила сцепления колеса с дорогой;

ϕ_c – коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью;

Z – нормальная реакция дороги на колесо;

X, Y – результирующие поперечных и касательных реакций дороги на колесо.

Отсюда качение колеса без скольжения возможно при условии

$$Y \leq \sqrt{\phi_c^2 Z^2 - X^2} \quad . \quad (1.22)$$

Чем больше сила сцепления колёс с дорогой, меньше касательная реакция дороги, тем будет больше поперечная сила, которую можно приложить к колесу, не вызывая его скольжения.

Устойчивость повышается при малой касательной реакции на колесо, именно поэтому более устойчивее в боковом направлении ведомое колесо. Ведущие колесо хуже противостоит заносу, чем свободно катящиеся

колесо и приложенное небольшое дополнительное усилие может вызвать поперечное скольжение колёс [110].

В связи с тем, что при движении трицикла в поперечном направлении склона происходит перераспределение нагрузки, поперечная нагрузка приходившееся на два задних колеса в этом случае будет больше действовать на нижнее по склону колесо задней оси трицикла. Поток мощности от двигателя будет, разветвляется между двумя колесами, который приведёт к вращению колес с разной частой, т.е. верхнее по склону колесо задней оси будет пробуксовывать, что в свою очередь будет вызывать сползание трицикла во время движения по поперечному склону.

На катящиеся в поперечном направлении склона жесткое колесо, действует боковая сила, колесо будет находиться в плоскости своего вращения пока боковая реакция от опорной поверхности не станет равной силе сцепления шин с опорной поверхностью. В случае рассмотрения качения пневматического колеса в поперечном направлении наклонной опорной поверхности, под действием боковой силы будет происходить увод шины, т.е., колесо будет катиться под некоторым углом к плоскости вращения. При уводе, шина деформируется не только радиальном направлении, но и в поперечном, это нарушает нормальное качение колес тем самым и вызывает их скольжение [110].

В случае низкого сцепления шин с опорной поверхностью вероятность проскальзывания шин возрастает и может привести к скольжению колес относительно дороги. Скольжение колес в поперечной плоскости дороги можно исключить, если сила сцепления шины с опорной поверхности будет превосходить по величине касательную и боковую реакцию опорной поверхности [43]. Изменение параметров качения эластичного колеса связано с перераспределением нагрузок по бортам трицикла, т.е., увод эластичного колеса в боковом направлении, при нахождении трицикла на поперечном склоне, может возрастать в результате действия составляющей силы тяжести трицикла параллельной

опорной поверхности $G \sin \alpha$. В случае достижения поперечных реакций дороги, сил сцепления шин с дорогой, то до начала потери устойчивости достаточно приложить к колесу небольшое усилие, причем при низких значениях коэффициента шин с дорогой произойдет боковое скольжения, а при высоких опрокидывания трицикла.

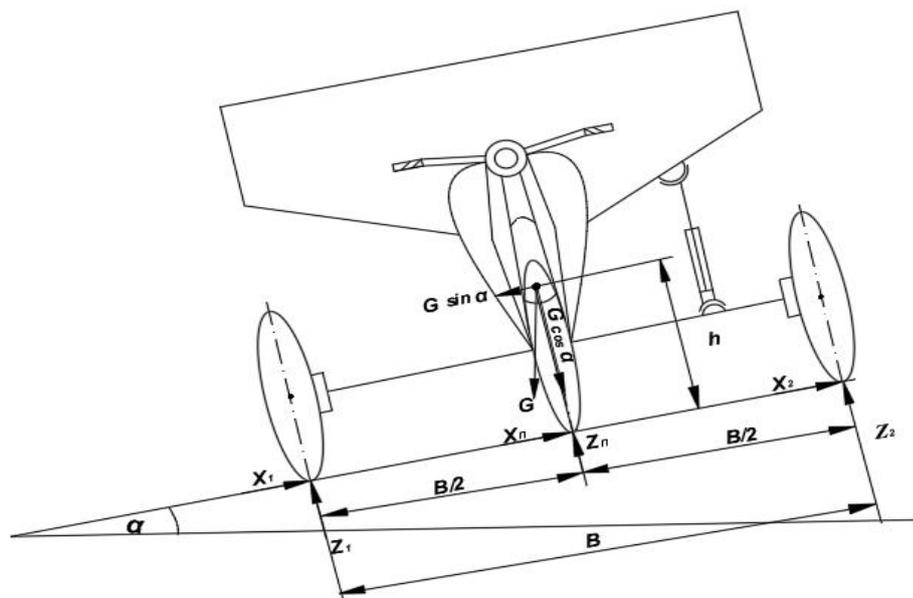


Рисунок 1.11 – Схема сил и реакций, действующих на трицикл при движении в поперечном направлении склона.

Для получения теоретически достоверных результатов статической и динамической устойчивости трицикла на косягоре, разложим силу тяжести трицикла G на две составляющие – параллельную опорной поверхности $G \sin \alpha$, которая стремится нарушить устойчивость трицикла и нормальную к ней $G \cos \alpha$ которая стремится восстановить устойчивость трицикла (рис. 1.11). Тогда условие недопущение сползание колесной машины запишется как:

$$G \sin \beta \leq \sum X = \varphi \sum Z = \varphi_c G \cos \beta \quad , \quad (1.23)$$

где X -поперечная реакция опорной поверхности, действующая на колесо; Z -нормальная реакция опорной поверхности, действующая на колесо.

Движение и пребывания трицикла на косогоре (дороге с поперечным уклоном) без сползания возможно до тех пор, пока составляющая силы тяжести, параллельная опорной поверхности не превысит поперечных реакции дороги. Для предотвращения сползания трицикла необходимо чтобы выполнялось условие, которое одинаково для всех колесных машин:

$$G \sin \alpha \leq \varphi_c G \cos \alpha, \quad (1.24)$$

где G -вес трицикла; $G \sin \alpha$ - составляющая веса трицикла, параллельная поверхности; $G \cos \alpha$ - составляющая веса трицикла, нормальная к этой поверхности; α - угол косогора; φ_c -коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой.

1.7 Существующие способы повышения курсовой устойчивости колесных машин на склонах.

С точки зрения устойчивости и безопасности наиболее благоприятна работа колесных машин в продольном направлении склонов, однако при этом происходит интенсивное развития эрозии, что приводит к невосполнимым потерям плодородия почв. Поэтому с точки зрения агротехнических и энерготехнических показателей наиболее целесообразна работа колесных машин поперек склонов.

При движении вдоль горизонталей склона у колесных машин может произойти нарушения устойчивости движения, возникает опасность поперечного опрокидывания и отклонения от заданного курса за счет влияния эксплуатационных и конструктивных факторов, создающих отклоняющий и опрокидывающий момент, что нарушает его устойчивость [Цит. по139].

Поперечное опрокидывание и отклонение от заданного курса при движении поперек склона происходит за счет действия отклоняющего и опрокидывающего момента, вызванного: боковой составляющей силы тяжести; перераспределением нормальных нагрузок между колесами

трицикла, т.е., верхнее по склону колесо задней оси трицикла будет менее нагружено чем нижнее по склону колесо этой же оси; боковым уводом эластичных шин, а также при недостаточном сцеплении колес с опорной поверхностью и ряда других причин.

Исследования показывают, что устойчивость колесной машины с ростом крутизны склона ухудшается. Снижение устойчивости движения колесных машин ограничивает производительность работы.

Перераспределение нагрузок между колесами машины вызывает отклоняющий момент, влияющий на устойчивость. Это предположение подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями, проведенными рядом авторов. Так авторы Реймер В.В., Стеновский В.С., Черкасов А.А., отмечают, что «при движении транспортного средства поперек склона с незаблокированным дифференциалом возникающее перераспределение вертикальных реакций на его колеса вызывает появление дестабилизирующих моментов наряду с другими моментами, нарушая курсовую устойчивость» [146]. В заявляемом способе по повышению стабилизации положения колесного транспортного средства, авторами которого являются Реймер В.В., Стеновский В.С., Черкасов А.А., это явление используется для обеспечения повышения курсовой устойчивости. У колесного транспортного средства (рис. 1.12) с незаблокированным дифференциалом нагружаются верхние по склону колеса при помощи установленных на него дополнительных грузов 1-2, с возможностью их продольного перемещения параллельно оси мостов транспортного средства, которые занимают положение относительно его продольной плоскости в зависимости от угла наклона опорной поверхности в режиме автоматического управления, таким образом, чтобы вертикальные реакции на верхние по склону колеса были на соответствующую для появления потребных стабилизирующих моментов величину больше вертикальных реакций на нижние по склону колеса. В описанном методе по борьбе с нарушением курсовой устойчивости, авторы отмечают, что возникающие

силы и монеты, которые пытаются стабилизировать курс движения направлены на то, чтобы транспортное средство вписывалась в потребный коридор движения, тем самым повышая курсовую устойчивость [146].

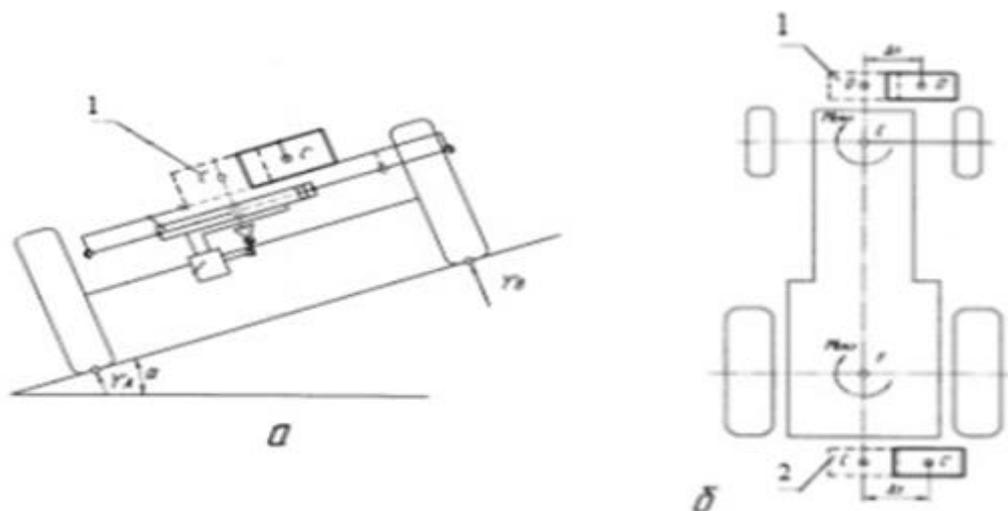


Рисунок 1.12- Транспортного средства с дополнительными грузами для стабилизации положения.

Так в работе Калашьяна Р.Т. [32], предложено противоопрокидывающее устройство для тракторов, представляющее собой выносной противовес перемещающейся по штанге и обеспечивающего смещения центра тяжести вверх по склону. Одновременно устройство можно рассматривать как фактор повышения курсовой устойчивости, так как отмечается, что при этом разность нагрузок на верхних и нижних по склону движителях уменьшается, а это в свою очередь ведет к уменьшению отклоняющего момента. Однако для получения ощутимого эффекта нужны значительные массы противовесов, а это повлечет за собой рост непроизводительных потерь мощности что при работе на склонах не желательно.

В условиях горной эксплуатации колесных машин возникают возмущающие силы, которые направлены на изменения направления движения заданным водителем, отклоняя его от горизонтали склона. Используя определённые свойства колесных машин, можно добивается в

каждом частном случае повышения курсовой устойчивости на поперечном склоне путем влияния на отклоняющий момент. Для обеспечения курсовой устойчивости колёсной машины вдоль горизонталей склона необходимо воздействовать на боковой увод колес таким образом, чтобы его компенсировать, для чего нужно повернуть их верх по склону на угол равный углу увода.

В работе Ягубова Е.В. [158], предложен: «метод обеспечивающий устойчивость движения трактора при работе на склоне заключающийся в автоматизированной системе колесного трактора, основанной на корректирующем изменении углов поворота управляемых колес колесного трактора (подруливание)» [158]. На рисунке 1.13 приведены отклонения траектории движения с учетом требуемого коридора движения $\pm 0,15$ м на склоне 10° [158].

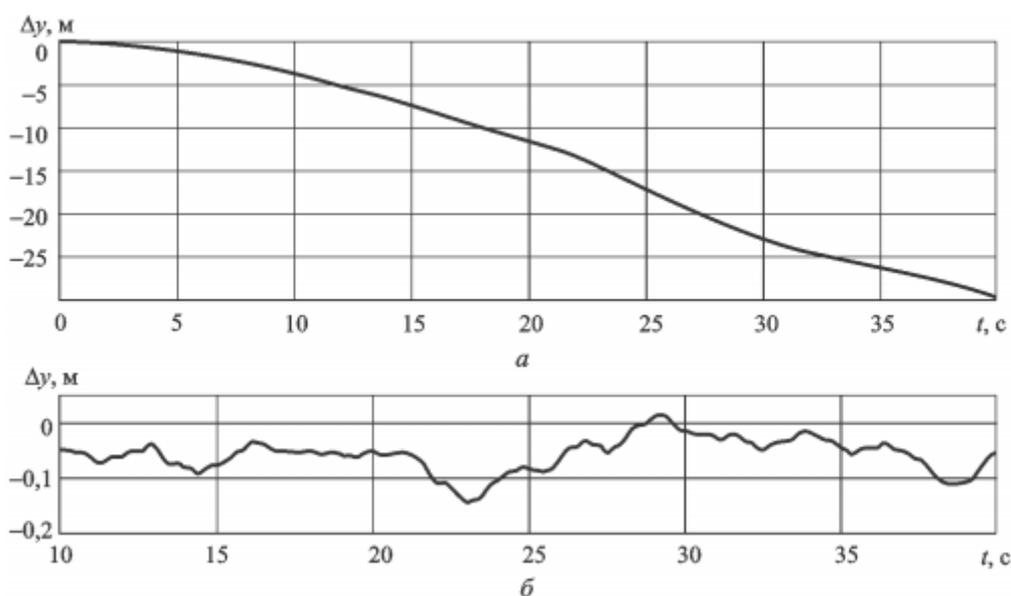


Рисунок – 1.13 Изменение во времени t отклонения Δy трактора от требуемой траектории движения; а – без подруливания; б – при подруливании всеми колесами

Полученные автором результаты показывают, что подруливание является эффективным способом удержания колесного трактора на

требуемой траектории движения. При этом лучшей эффективностью обладает алгоритм подруливание всеми управляемыми колесами [158].

В работе Войткова А.В. [16] предложена конструкция колесного трактора со всеми поворачивающимися колесами. Проведены автором теоретические и экспериментальные исследования, подтверждают эффективность предложенного способа повышения курсовой устойчивости на поперечном склоне. Автор в своей работе отмечает что, исключить отклонения оси симметрии колесного трактора от заданного водителем курса движения, можно подруливанием управляемых колес в сторону возвышенности склона [16]. Однако сам автор отмечает, что: «поворот колес на склоне приводит к росту сопротивления движению до 10%» [16]. Необходимо отметить, что с возрастанием крутизны с клона и угла поворота колес сила сопротивления движению будет расти [16].

Известно транспортное средство квадроцикл «Swincar E-Spider» содержащее остоу, ходовую часть с четырьмя ведущими колесами и управляемыми передними колесами имеющую независимую подвеску. Изобретение относится к французской компании «Mecanroc» (рис. 1.14)

Сочленения частей спроектированы для умного и эффективного реагирования на изменения рельефа. Они обеспечивают оптимальный баланс и сцепление. В отличие от большинства других транспортных средств Swincar использует эффект маятника, чтобы противодействовать силам, возникающим при преодолении препятствий, бездорожья и крутых склонов. Подвеска Swincar полностью механическая, без применения датчиков, гироскопов и электроники. Большой угол наклона, под которым способен ехать квадроцикл, достигается благодаря независимой подвеске, дающей колесам двигаться под большим углом вертикального или углового отклонения, независимо друг от друга. При этом водитель всегда остается более или менее в вертикальном положении. Центр тяжести водителя остается не только между колесами, но и ниже ступиц, что приводит к

устойчивости. Благодаря всему этому квадроцикл способен двигаться по склонам и преодолеть подъем в 50 %.

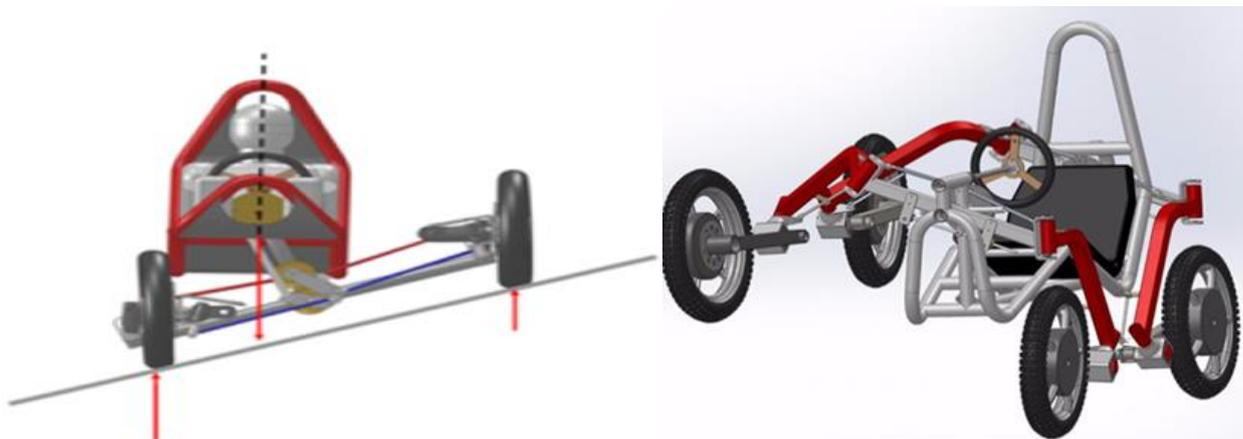


Рисунок 1.14- Движение квадроцикла «Swincar» по уклону.

В работе Стеновского В.С. [143], приводится метод, предназначенный для компенсации боковой составляющей силы тяжести. В заявленном методе на шинах используется специальный рисунок 1, который в свою очередь в ходе контакта с деформируемой полотном дороги, заставляет перемещать податливое основание между протектором шин 2. Возникающие в этом случае реактивные силы направлены на движители колесной машины таким образом, что способствуют ее смещению вверх по косогору [143].

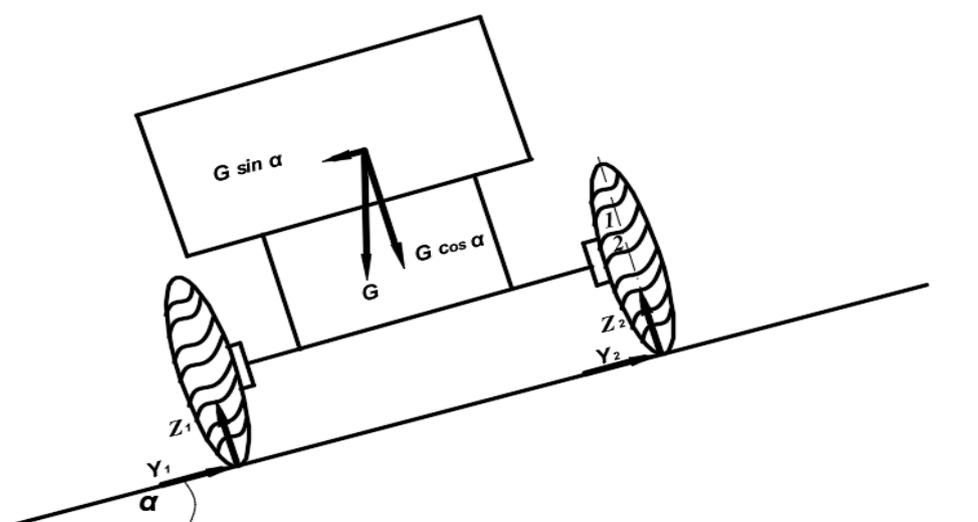


Рисунок 1.15 – Трактор со специализированной конфигурацией протектора движителя при движении по склону

Здесь: G – эксплуатационный вес трактора; Y_1, Y_2 – реакции почвы на ходовую часть трактора, направленные по нормали к почве; Z_1, Z_2 – реакции почвы на ходовую часть трактора, направленные параллельно почве.

Влияния давления в шинах на сползания колесной машины повышается с увеличением крутизны склона. Вопросы влияния давления воздуха в шинах рассматривались в работе Литвинова А.С. [Цит. по 44].

У проф. Литвинова А.С., отмечается, что: «изменение давление в шинах является одним из наиболее существенных факторов по влиянию на коэффициент по боковому уводу, а возможность регулирования давления в процессе эксплуатации позволяет достигать желательного воздействия на сопротивляемость шин уводу» [Цит. по 55]. «Иными словами, на склоне можно добивается некоторого оптимального сочетания давления в шинах верхних нижних по склону колес, обеспечивающее минимальное отклонение машины от горизонтали склонов. Причем, наибольший эффект можно иметь на машинах, имеющих значительное перераспределение нагрузки на верхних и нижних по склону колесах. В целом повышенное давления в шинах до определенных величин можно рассматривать как положительный фактор воздействия на курсовую устойчивость движения» [Цит. по 55].

Известно изобретение для повышения точности поддержания заданного курса движения транспортного агрегата, авторами которого являются В.И. Курсин, И.И. Гуреев, А.Е. Федорченко [3]. Авторами отмечено, что: «Для предотвращения сползания и вписывания в потребный коридор движения, в изобретении используется воздушная тяга (рис. 1.16). В процессе перемещения транспортного средства постоянно контролируется угол наклона её с помощью датчика крена, и в случае отклонения датчика от нулевого значения включается винт, создающий силу воздушной тяги, по величине равную и по направлению противоположную силе, смещающей транспортный агрегат вниз по склону» [Цит. по 148]. Однако во время

эксплуатации данной конструкции воздействие воздушной загрязненной массы может отрицательно сказаться на водителе

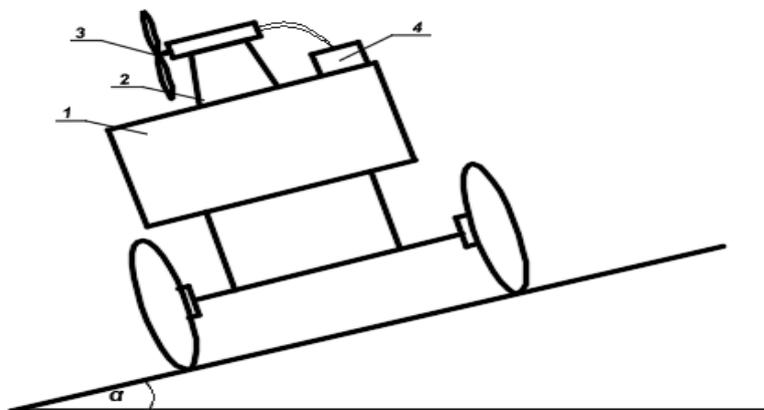


Рисунок 1.16- Схема стабилизации движения транспортного средства посредством воздушной силы тяги: 1– транспортное средство 2 – электродвигатель постоянного тока; 3 –тяговый ведущий винт; 4 – датчик.

Применение стабилизации остова с сохранением вертикальности на трициклах предназначенных для эксплуатации в горных условиях, за счет смещения центра масс трицикла в сторону возвышенности склона и увеличения восстанавливающего момента по отношению к отклоняющему моменту, даст возможность воздействовать на показатели повышения курсовой устойчивости на поперечном склоне.

В известных нам работах, в области повышения курсовой устойчивости трехколесных грузовых машин при движении вдоль горизонталей склона, такие исследования не проводились.

1.8 Существующие способы повышения устойчивости колесных машин против опрокидывания на поперечных склонах.

Один из важных эксплуатационных показателей движения колесной машины на склоне в поперечном направлении, является поперечная

устойчивость, которая характеризует ее способность работать на поперечных уклонах без опрокидывания. Обеспечение надежной поперечной устойчивости колесных машин является важнейшим условием их безаварийной работы [110].

Поперечная устойчивость движения колесной машины на склоне в поперечном направлении зависит от многих факторов обусловленных конструктивными и эксплуатационными факторами, как и самой машины так и физико-механическими свойствами в зонах соприкосновения поверхностей [110].

Поперечное опрокидывание при движении колесной машины на склоне происходит в случае достижения равенства нулю реакций на одном бортов транспортного средства, при воздействии на автомобиль очень больших боковых сил и большом коэффициенте сцепления колес с дорогой, а также при большом поперечном уклоне дороги и ряда других причин.

Вопросами повышения устойчивости и предотвращения опрокидывания мобильной техники занимался ряд авторов [1; 17; 26; 35; 42; 47; 58; 63; 116; 132; 143; 148; 158] и др. Проведенные рядом автором теоретические и экспериментальные исследования показывают, что с увеличением крутизны склона ухудшается поперечная устойчивость колесной машины, которая может привести к боковому опрокидыванию.

Устойчивость движения зависит от многих факторов, но одним из важных факторов напрямую влияющий на устойчивость колесной машины является движения по наклонной опорной поверхности. Данный режим движения является наиболее опасным, так как возникает опасность потери устойчивости, которая выражается в скольжении колес или опрокидывании машины.

Очевидно, что для более безопасного движения в его конструкцию должны быть заложены параметры, не допускающие опрокидывания. Более перспективные в этом отношении колесные машины с возможностью сохранения вертикальности остова на склоне, за счет перераспределения

вертикальных реакций между бортами машины и смещением центра масс в сторону возвышенности склона, повышается устойчивость колесной машины. Данный метод повышения поперечной устойчивости был исследован рядом авторов: Амельченко П. А., Грушецкая К.И., Дзагания К.В., Зеленый П.В., Ксиневич И. П., Калашян Р.Т., Льянов М.С., Мамити Г.И., Зимагулова А.Х., Шакирзянова Д.М., Нуруллина Р.Г. Мшвилдадзе О.П., Салия З.С. и др.

Трудность работ колесных машин на склонах состоит в значительном уменьшении продольной и поперечной устойчивости, в ухудшении тягово-сцепных свойств машин. Условия недопущения опрокидывания колесной машины на склоне можно выразить как не равенство моментов сил, стремящихся прижать машину к опорной поверхности и опрокинуть ее, то есть для устойчивости колесной машине против опрокидывания необходимо и достаточно, чтобы момент устойчивости был больше опрокидывающего момента.

Рядом авторов предлагается в качестве средств повышающих поперечную устойчивость колесной машины на склоне, устройства представляющее собой выносной противовес, перемещающейся по штанге и обеспечивающего дополнительное нагружение верхнего по склону борта, а также смещения центра тяжести вверх по склону.

В работе авторов Зимагулова А.Х., Шакирзянова Д.М., Нуруллина Р.Г. [118], приводится описание такого устройства, это самоходное транспортное средства, имеющие устройство для предотвращения опрокидывания (рис. 1.17). Сущность изобретения заключается в следующем: «на остова 1, трактора выполнено устройство для предотвращения опрокидывания в виде несущего элемента в форме изогнутого по окружности бруса 2, с закрепленным на нем грузом 6. Несущий элемент установлен на направляющих кронштейнах, на выходных концах которых установлены опорные и упорные ролики» [118].

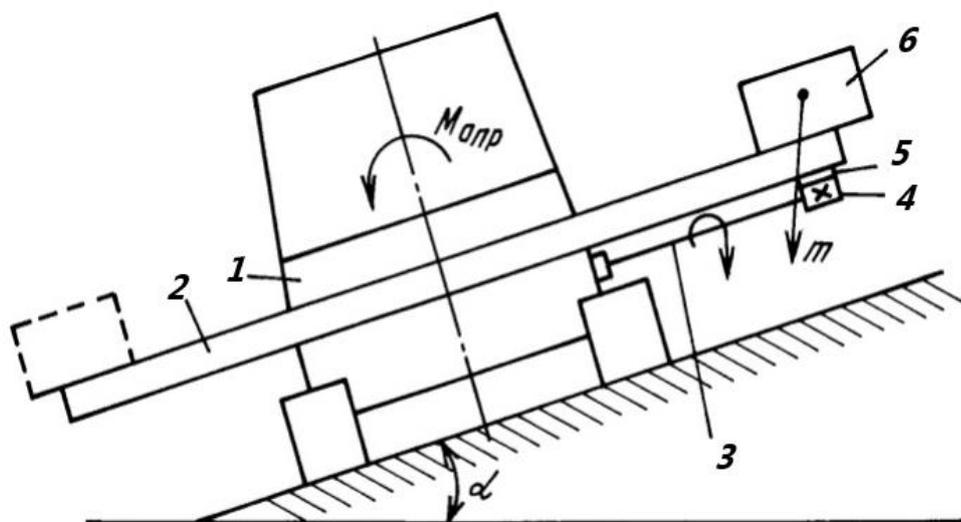


Рисунок 1.17- Самоходное транспортное средства, с устройством для предотвращения опрокидывания.

В данном методе авторы отмечают, что в процессе перемещения транспортного средства по косогору в поперечном направлении, возникают силы и моменты, которые стремятся опрокинуть его вниз по склону. Для того что бы оказать сопротивление опрокидывающему моменту, на транспортном средстве установлены противовесы с возможностью смещения в сторону возвышенности косогора. Авторами описан принцип работы данного устройства: «...для этого включается привод брусов и через приводной вал 3, и приводное звено 4, вращение передается элементу зацепления 5, брус 2, перемещается с контргрузом 6, опираясь на ролики. Контргрузы при этом создают момент, противоположный моменту опрокидывания» [119].

Так аналогичный метод рассмотрен в работе Р.Т. Калашяна [32], где предложено противоопрокидывающее устройство для тракторов, представляющее собой выносной противовес, перемещающейся по штанге и обеспечивающего смещения центра тяжести верх по склону. Однако для получения ощутимого эффекта нужны значительные массы противовесов, а это повлечет за собой рост непроизводительных потерь мощности, что при работе на склонах не желательно [32].

Так же известно трёхколёсное транспортное средство для работы на горных склонах с противоопрокидывающим устройством [4] (рис. 1.18) Цель достигается тем, что во время перемещения по склону трехколесного транспортного средств опорное колесо (4) устанавливается со стороны склона и фиксируется. По мнению автора, недостатком данного трехколесного транспортного средства является то, что: «...оно при работе на склонах перемещается с положением подкатанного колеса внизу или вверх по отношению к основной раме. При работе с положением опорного колеса вверх по отношению к основной раме создаются условия динамической неустойчивости трактора, что вызывает его опрокидывание. Кроме того, создавая при езде поворотный момент, опорное колесо мешает достижению практической, приемлемой транспортной скорости при передвижении от участка к участку, а это лишает автономности, ставит его в зависимость от транспортных средств для перевозки» [4].

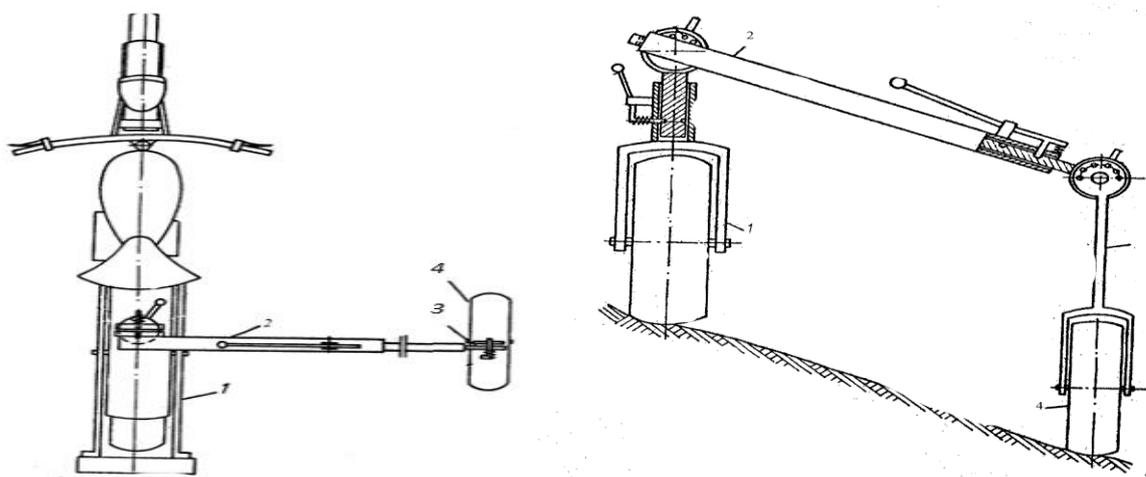


Рисунок 1.18 -Трёхколёсное транспортное средство для работы на горных склонах с противоопрокидывающим устройством.

Известно также изобретение относящиеся к устройствам для стабилизации поперечной устойчивости транспортных средств [5] (рис. 1.19). В заявленном способе [5] «Стабилизация поперечной устойчивости достигается тем, что устройство для стабилизации поперечной устойчивости

транспортных средств содержит неподдресоренную массу 1, на которой размещены рессорные подвески 2, поддресоренную массу 3. Согласно изобретению, поддресоренная масса правой стороны каждой оси транспортного средства поднята над левой на высоту, равную произведению расстояния между осями рессорной подвески на поперечный уклон покрытия проезжей части на прямом участке дороги. При этом осуществление «устройства» возможно, выполнить следующими конструктивными решениями: поддресоренная масса правой стороны поднята над левой за счет дополнительной опорной части рессорной подвески, установленной на поддресоренной массе; поддресоренная масса правой стороны поднята над левой за счет дополнительной опорной части 4 рессорной подвески, установленной на неподдресоренной массе» [5].

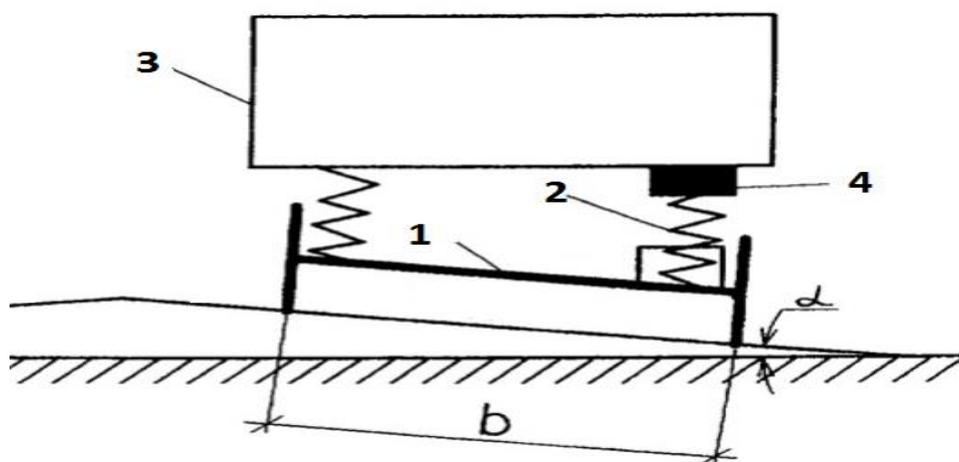


Рисунок 1.19 - Схема размещения транспортного средства на наклонной плоскости.

1.9 Обзор методов повышения устойчивости и управляемости треколесных мотоциклов.

Трициклы классической компоновки необходимыми свойствами повышенной устойчивости и управляемости не обладают. Устойчивость и

управляемость движения является одним из основных свойств машин, характеризующих их эффективность и безопасность работы.

Решения вопросов по повышению устойчивости и управляемости трициклов приводится рядом авторов.

В работе Гагкуева А.Е. [17], рассматриваются вопросы управляемости и устойчивости трициклов. Так, по мнению автора: «основным недостатком трицикла является меньшая по сравнению с четырехколесным транспортным средством (квадрациклом) боковая устойчивость» [17].

Автор Гагкуев А.Е., отмечает что: «впервые получены аналитические выражения в общем виде для определения критических скоростей трициклов различных типов, производимых в мире, по заносу и опрокидыванию с учетом эластичности шин» [17]. Как отмечает автор Гагкуев А.Е.: «разработанные принципы и методы формирования устойчивости и поворачиваемости трициклов позволяют на стадии проектирования формировать максимально возможную потенциальную устойчивость и требуемую в наиболее тяжелых условиях эксплуатации трициклов» [14].

В работе автора Огороднова С.М. [117], основной целью является: «...разработка на основании теоретических и экспериментальных исследований методики расчета характеристик прямолинейного движения мототранспортного средства и выбор на ее основе конструктивных параметров и размеров, обеспечивающих повышение устойчивости прямолинейного движения» [117].

При проведении теоретических и экспериментальных исследований автором установлено, что: «курсовая устойчивость прямолинейного движения, оцениваемая по скорости бокового смещения, может быть повышена при ограничении момента трения в демпфере рулевого управления» [117].

Автор в своей работе отмечает, что «конструкция шины колеса не оказывает существенного влияния на устойчивость движения». «Попытки добиться повышения эксплуатационных свойств в этом направлении

неэффективны, параметры подвески, изменяемые в технически возможных пределах, не влияют на устойчивость движения, выбор их значений должен осуществляться из соображений плавности. Снижение положения центра масс представляется целесообразным, а только лишь из соображений устойчивости к опрокидыванию» [117].

Вопросы повышения устойчивости трехколесных мотоциклов рассматриваются в работе Кониева К.Е. [35]. Автор отмечает что, «повышение устойчивости мототранспортных средств путем выбора оптимальных конструктивных параметров, закладываемых при проектировании, имеет большое социальное и народно-хозяйственное значение, так как способствует повышению безопасности движения и предотвращению материальных потерь от дорожно-транспортных происшествий» [35]. Основной целью работы Кониева К.Е., является: «...разработка методов расчета устойчивости движения мотоциклов, обеспечивающих повышение потенциальной устойчивости мотоциклов, выбором конструктивных параметров при проектировании» [35].

Научная новизна работы автора Кониева К.Е., заключается в том, что: «Впервые проведены исследования по оценке устойчивости движения трехколесного мотоцикла и мотоцикла с коляской с более полным учетом влияющих на нее параметров. Разработаны конкретные рекомендации, позволяющие повысить потенциальную устойчивость мотоциклов на стадии проектирования и в процессе эксплуатации, и тем самым увеличить безопасность движения» [35]. Автором установлено что, «влияние геометрических параметров, координат центра масс, углов поворота управляемого колеса не всегда учитывается при оценке устойчивости движения мотоциклов» [35].

Для достижения поставленной цели автором Кониева К.Е., были разработаны: «методы расчета устойчивости и управляемости трехколесного мотоцикла с симметричным расположением задних колес, позволяющие установить на какие параметры и в каком направлении необходимо влиять,

чтобы увеличить их потенциальную устойчивость по опрокидыванию и заносу» [35].

Расчетом движения трицикла при автотехнической экспертизе дорожно-транспортных происшествий занимался в своей работе Тедеев В.Б. [149]. Автор отмечает, что «совершенствование методов расчета параметров движения трицикла несомненно, будет способствовать выявлению особенностей управления трицикла» [149].

Основной целью работы автора Тедеева В.Б., является: «...совершенствование методов расчета движения трициклов для повышения достоверности результатов автотехнической экспертизы ДТП» [149].

Научная новизна результатов исследования автора Тедеева В.Б., заключается: «...в разработке методов расчета движения трициклов различных конструктивных схем путем учета влияющих на безопасность движения параметров трицикла и дороги» [149].

Автором Тедеевым В.Б., получены «...расчетные формулы для критического угла опрокидывания, максимально возможных скоростей движения трициклов в заданных условиях и требуемых для их достижения мощностей двигателя, позволяющие оценить достоверность результатов автотехнической экспертизы» [149].

В работе Зокоева А.О. [25], отмечено, что «разработка специальной подсистемы активной безопасности, управляющей наклоном остова трицикла, является важной научной задачей, решение которой позволит значительно повысить безопасность движения трхколесных транспортных средств» [25]. Основной целью работы автора Зокоева А.О., является, «повышение безопасности движения применением специальной подсистемы активной безопасности, управляющей наклоном остова трицикла при движении в повороте» [25].

Для достижения цели автором Зокоева А.О. [25], разработана подсистема активной безопасности для трицикла с наклоняющимся остовом. В случае движения трицикла в повороте, за счет влияния боковых сил

критическая скорость по опрокидыванию снижается, повлиять на увеличения критической скорости можно наклоном кузова трицикла относительно заднего моста в сторону поворота [25].

1.10 Обзор методов проведения дорожных испытаний мототранспортных средств

«В государственном стандарте «Мотоциклы, мотороллеры, мопеды, мотовелосипеды. Методы испытаний ГОСТ 6253-78. издание официальное» предусмотрены методы испытаний, следующие из которых, соответствуют теме диссертационной работы: определение масс (сухой, снаряженной и полной); определение координат центра масс; определение удельного статического давления шин на опорную плоскость» [Цит. по 35].

В соответствии с указанным стандартом перечисленные параметры будут определяться при следующих условиях:

масса снаряженной для испытаний машины с водителем;

координаты центра масс снаряженной для испытаний машины (с водителем) и рекомендуемым давлением в шинах.

Что касается испытаний по определению параметров курсовой устойчивости, то такие виды испытаний стандартом не предусмотрены. Однако нами будут проведены испытания по определению отклонений трицикла от заданного курса движения при фиксированном положении управляемого колеса при различных углах наклона остова на склонах различной крутизны.

«В приложении D международного стандарта «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мототранспортных средств в отношении торможения» ГОСТ 28429-97 (Правила ЕЭК ООН № 78-88) приведена классификация механических транспортных средств в которой: L_5 – транспортное средство с тремя колесами, симметричными по отношению к средней продольной плоскости, рабочий объем которого

превышает 50 см³ или максимальная расчетная скорость которого при любом двигателе превышает 50 км/ч» [Цит. по 35].

1.11 Цель и задачи исследования.

Следует отметить что многие задачи по повышению устойчивости на негоризонтальной опорной поверхности остаются не решенными. Существующие методы повышения устойчивости грузовых трициклов применяемых на склонах нуждаются в конструктивном усложнении, повышении металлоёмкости, что ведет к непроизводительным потерям мощности.

Поскольку использование существующих конструкций мототранспортных средств, в том числе трициклов с точки зрения, как опрокидывания, так и курсовой устойчивости на склонах опасно и непродуктивно возникает потребность в конструкциях с меняющейся геометрией, позволяющей решить проблемы устойчивости по опрокидыванию транспортного средства и по его курсовой устойчивости.

Таким образом повлиять конструктивными мероприятиями на показатели устойчивости трицикла с целью недопущения нарушения прямолинейности движения и его дальнейшего опрокидывания является объективной необходимостью.

Цель данной работы: Повышение курсовой устойчивости и устойчивости против бокового опрокидывания трицикла при движении по горному склону, за счет рационального выбора углов наклона остова.

Задачи исследования. Для достижения цели работы были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать и обосновать требования к существующим конструкциям мототранспортных средств, в том числе трициклов для работы на склонах.
2. Разработать способ работы системы стабилизации, направленной на повышения курсовой устойчивости и устойчивости против

опрокидывания при движении трицикла в поперечном направлении склона.

3. Разработать математическую модель курсового движения трицикла с наклоняющимся остовом в поперечном направлении склона и создать ее программную реализацию.
4. Провести теоретические и экспериментальные исследования устойчивости трицикла при движении вдоль горизонталей склонов.

Выводы по главе 1

Изучение состояния вопроса говорит, что многие пункты остаются нерешенными. Существующие методы повышения устойчивости трициклов применяемых на горных склонах нуждаются в конструктивном усложнении, повышении металлоёмкости, что ведет к непроизводительным потерям мощности. Отмечено что, повышение устойчивости трицикла при движении в поперечном направлении горных склонов можно достичь применением стабилизации остова.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРИЦИКЛА С НАКЛОНЯЮЩИМСЯ ОСТОВОМ НА СКЛОНЕ

2.1. Математическое моделирование курсового движения трицикла с наклоняющимся остовом на склоне

«Под моделированием понимается способ изучения системы или явления путем замены реальной системы ее физической или математической моделью, более удобной для изучения, но сохраняющей все существенные черты оригинала» [62].

Для решения задачи повышения устойчивости трициклов на склонах необходимо выявить теоретическую зависимость влияния факторов, обуславливающих отклонение объекта от заданного курса движения, и тем или иным образом воздействовать на них.

Моделирование движения трицикла на склоне, возможно на основе пространственной или плоской расчетных схем. Трицикл, как и автомобиль представляет собой механическую систему с разнообразным характером связей отдельных элементов и сложными законами их отдельных перемещений. При решении различных задач можно пренебрегать теми или иными относительными перемещениями элементов системы. При определении понятий «управляемость» и «устойчивость» можно считать трицикл не системой, а твердым телом. Анализ показывает, что для исследования прямолинейного установившегося движения объекта целесообразно и достаточно рассмотреть плоскую расчетную схему. На рисунке 2.1 представлена расчетная схема сил и реакций, действующих на трицикл, при установившемся движении в поперечном направлении склона крутизной α .

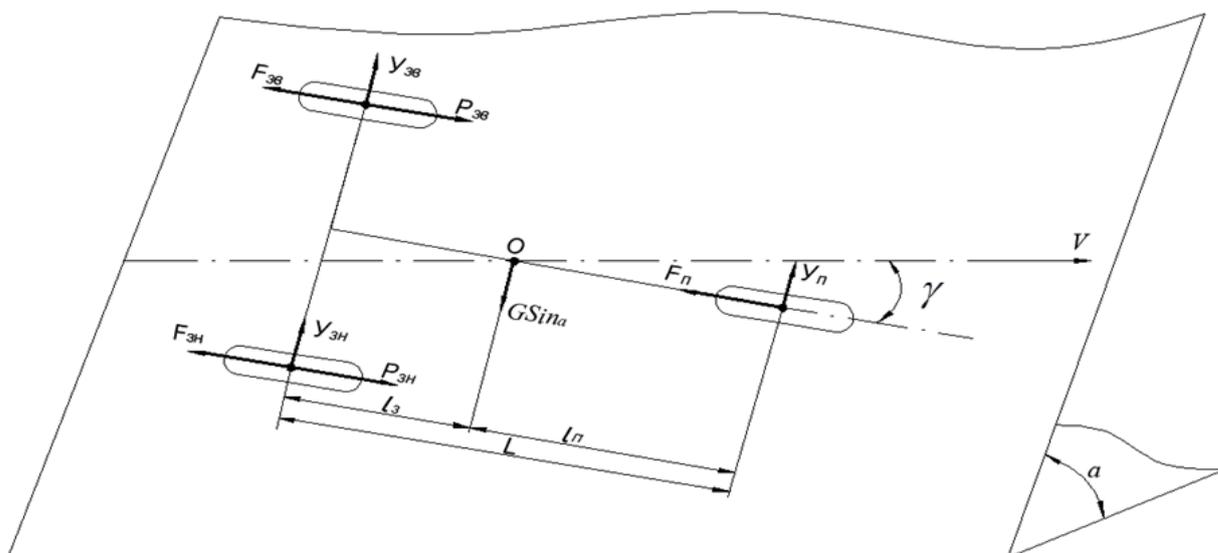


Рисунок 2.1 – Схема сил, действующих на трицикл при движении в поперечном направлении склона (вдоль горизонталей склона).

Расположение силы тяжести G определяется координатами $B/2$ и h , где B – колея трицикла; h – расстояние по нормали до плоскости склона. При этом исключен поворот управляемого переднего колеса, то есть трицикл движется с зафиксированным рулевым управлением. В таком случае отклонение объекта от заданной горизонтали склона возможно от действия трех определяющих факторов: отклоняющего момента, бокового увода пневматических шин и сползания (поперечного скольжения движителей при недостаточном их сцеплении с опорной поверхностью).

При движении трицикла в поперечном направлении склона, со стороны опорной поверхности на колесо действуют силы и моменты, пытающиеся нарушить устойчивость его движения, которая также может сказаться в конструктивных особенностях эластичного колеса и физико-механических свойствах опорной поверхности (рис. 2.2).

Рассматривая перемещения исследуемого объекта в поперечном направлении склона с эластичными движителями, то возникающие боковые силы стремятся изменять траекторию качения колеса, что в свою очередь влияет на курсовой угол.

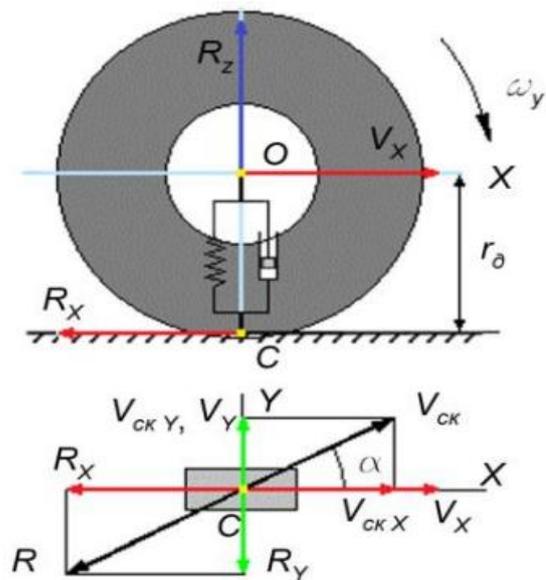


Рисунок 2.2 – Схема модели взаимодействия шины с опорной поверхностью.

Здесь R_Z, R_X, R_Y - реакции дороги;

V_{CK} - скорость скольжения колеса;

r_0 - динамически радиус колеса.

При движении трицикла в поперечном направлении склона, вдоль горизонталей, на его движители действует касательная сила тяги P , сила сопротивления качению F , нормальные реакции Z , боковая реакция Y возникающая от составляющей силы тяжести $G \sin \alpha$.

Ввиду перераспределения веса трицикла при наклоне его остова для каждого из трех колес, названные силы и реакции имеют отличные друг от друга значения:

$P_{зв}, F_{зв}, Z_{зв}, Y_{зв}$ – силы и реакции, действующие на заднее верхнее колесо;

$P_{зн}, F_{зн}, Z_{зн}, Y_{зн}$ – силы и реакции, действующие на заднее нижнее колесо;

P_n, F_n, Z_n, Y_n – силы и реакции, действующие на переднее колесо;

Трицикл с зафиксированным рулевым управлением на склоне движется по криволинейной траектории из-за действия факторов, создающих отклоняющий момент M .

Следует также отметить, что при установившемся движении инерционные силы равны нулю, а значение силы сопротивления воздуха не существенно, поскольку речь идет о перемещении по склону объекта, скорость которого ограничена и не превышает 3-5 м/с. При расчетах пренебрегают сопротивлением воздуха при скоростях до 8 м/с.

Трицикл, двигаясь поперек склона, отклоняется от заданного направления движения (горизонтали склона) на угол φ . Для того, чтобы установить зависимость φ , от конструктивных и эксплуатационных параметров трицикла, составим следующие уравнения:

уравнение моментов относительно точки O :

$$\sum M_0 = Y_3 l_3 - Y_n l_n + [(P_{3в} - F_{3в}) - (P_{3н} - F_{3н})] \cdot B/2 = 0, \quad (2.1)$$

где $Y_3 = Y_{3в} + Y_{3н}$.

Уравнение сил (вдоль оси OY):

$$\sum Y_3 = Y_3 + Y_n - G \sin \alpha. \quad (2.2)$$

Выразим углы бокового увода задних и передних колес через боковые реакции:

$$S_3 = Y_3 / K_3, \quad (2.3)$$

$$S_n = Y_n / K_n, \quad (2.4)$$

где K_3 и K_n – коэффициенты сопротивления боковому уводу задних и переднего колес; Y_3 и Y_n – суммарные боковые реакции задних и переднего колес.

Углы бокового увода могут быть определены при помощи схемы движения шасси на склоне (рис. 2.3).

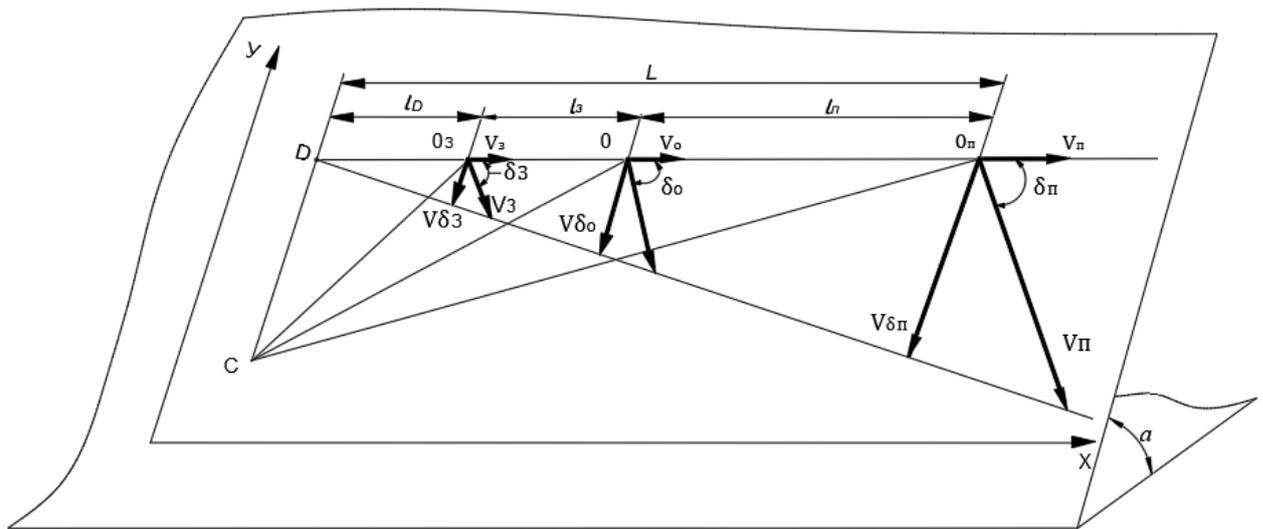


Рисунок 2.3 – Схема движения трицикла в поперечном направлении склона с учётом бокового увода колёс

Для задних колёс:

$$V\delta_3/V_3 = DO_3/CO_3,$$

откуда

$$V\delta_3 = V_3/CO_3 \cdot DO_3 = \omega \cdot l_\partial = \omega(l_0 + l_3) - \omega l_3 = V\delta_0 - \omega l_3, \quad (2.5)$$

Для переднего колеса:

$$V\delta_3/V_n = DO_n/CO_n, \quad (2.6)$$

откуда

$$V\delta_3 = V_n/CO_n \cdot DO_n = \omega \cdot DO_n = \omega(l_\partial + L) = \omega \cdot l_\partial + \omega(l_3 + l_\partial) = \omega \cdot l_\partial + V\delta_0.$$

Пользуясь приведенной схемой, получим:

$$V\delta_3 = V \cdot \operatorname{tg} \delta_3; \quad (2.7)$$

$$V\delta_n = V \cdot \operatorname{tg} \delta_n. \quad (2.8)$$

Решая совместно (2.5), (2.6), (2.7), (2.8) получим:

$$\operatorname{tg} \delta_3 = V\delta_0 - \omega l_3 / V; \quad (2.9)$$

$$\operatorname{tg} \delta_n = V\delta_0 - \omega l_n / V. \quad (2.10)$$

Принимая углы малые по величине, приближенно получим:

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \delta_3;$$

$$tg\delta_n = \delta_n.$$

Тогда соотношения (2.9) и (2.10) примут вид:

$$\delta_3 = V\delta_0 - \omega l_3 / V; \quad \delta_n = V\delta_0 - \omega l_n / V. \quad (2.11)$$

Подставляя значения δ_3 и δ_n в (3) и (4), получим:

$$Y_3 = K_3 \cdot V\delta_0 - \omega l_3 / V; \quad Y_n = K_n \cdot V\delta_0 - \omega l_n / V. \quad (2.12)$$

Если в выражении (2.1) провести некоторые преобразования, то получим:

$$Y_3 l_3 - Y_n l_n + M = 0,$$

где $M = [(P_{3\theta} - F_{3\theta}) - (P_{3n} - F_{3n})]B/2$ отклоняющий момент,

примем:

$$(P_{3\theta} - F_{3\theta})B/2 = Q;$$

$$(P_{3n} - F_{3n})B/2 = Q.$$

Если $Q > C$, то отклоняющий момент M имеет положительный знак, а это означает, что отклоняющий момент $M_{откл}$ трицикла преобладает над моментом сопротивления уводу $M_{ув}$. В случае $Q < C$ отклоняющий момент M имеет отрицательный знак и это означает, что $M_{ув}$ превосходит $M_{откл}$.

Перепишем:

$$Y_3 + Y_n - G \sin \alpha = 0;$$

$$Y_3 l_3 + Y_n l_n + M = 0.$$

Подставляя в эту систему уравнений значения Y_3 и Y_n получим:

$$K_3 \cdot V\delta_0 - \omega l_3 / V + K_n \cdot V\delta_0 + \omega l_n / V - G \sin \alpha = 0; \quad (2.13)$$

$$K_3 \cdot V\delta_0 - \omega l_3 / V \cdot l_3 + K_n \cdot V\delta_0 + \omega l_n / V \cdot l_n + M = 0.$$

или

$$V\delta_0(K_3 + K_n) - \omega(K_3 l_3 + K_n l_n) - V \cdot G \sin \alpha = 0; \quad (2.14)$$

$$V\delta_0(K_3 l_3 + K_n l_n) - \omega(K_3 l_3^2 + K_n l_n^2) + M = 0. \quad (2.15)$$

Подставляя значения $V\delta_0$ из уравнения (2.14) в уравнение (2.15) получим:

$$[V \cdot G \sin \alpha + \omega(K_3 l_3 - K_n l_n)] - (K_3 l_3 - K_n l_n) / (K_3 + K_n) - \omega(K_3 l_3^2 - K_n l_n^2) + M \cdot V = 0.$$

Упростим выражение:

$$\omega[(K_3 l_3 - K_n l_n)^2 - (K_3 l_3^2 + K_n l_n^2)(K_3 + K_n)] + VG \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n) = MV(K_3 + K_n).$$

или

$$\begin{aligned} & \omega[(K_3 l_3 - K_n l_n)^2 - (K_3 l_3^2 + K_n l_n^2)(K_3 + K_n)] + V \cdot G \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n) = \\ & = M \cdot V (K_3 + K_n). \end{aligned} \quad (2.16)$$

Упростим первый член левой части уравнения (2.16)

$$\begin{aligned} & \omega[(K_3 l_3^2 + K_n l_n^2)^2 (K_3 + K_n) - (K_3 l_3 - K_n l_n)^2] = \\ & = \omega(K_3^2 l_3^2 + K_3 l_3^2 K_n + K_n l_n^2 K_3 + K_n^2 l_n^2 - K_3^2 l_3^2 + 2K_3 l_3 K_n l_n - K_n^2 l_n^2) = \\ & = \omega K_3 K_n (l_3 + l_n)^2 = \omega K_3 K_n L^2. \end{aligned}$$

тогда

$$\omega K_3 K_n L^2 - VG \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n) = M \cdot V (K_3 + K_n). \quad (2.17)$$

Разделив все члены уравнения на величину $VG \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n)$ получим:

$$K_3 K_n L^2 / VG \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n) \omega - l = M \cdot V (K_3 + K_n) / VG \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n). \quad (2.18)$$

Введем обозначения:

$$K_3 K_n L^2 / VG \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n) = T; \quad MV(K_3 + K_n) / VG \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n) = K.$$

Тогда выражение переписется:

$$T \cdot \omega - l = K \quad (2.19)$$

или в дифференциальной форме:

$$d\varphi / dt \cdot T - l = K. \quad (2.20)$$

Полученное соотношение является дифференциальным уравнением курсовой устойчивости трицикла с зафиксированным рулевым управлением на склоне.

Временная характеристика этого уравнения имеет вид:

$$\gamma = (1 + K)t / T. \quad (2.21)$$

С учетом значений T и K получим:

$$\varphi = Vt[G \sin \alpha (K_3 l_3 - K_n l_n) + M(K_3 + K_n)] / (K_3 K_n L^2). \quad (2.22)$$

Для определения влияния касательных сил и сил сопротивления качению на курсовой угол раскром в выражении (2.22) значение момента M . Тогда находим:

$$\gamma = Vt\{G\sin\alpha(K_3l_3 - K_nl_n) + [(P_{36} - F_{36}) - (P_{3н} - F_{3н})]B/2(K_3 + K_n)\}/(K_3K_nL^2) \quad (2.23)$$

Суммарная касательная сила тяги ведущей оси трицикла при простом неблокируемом дифференциале, распределяется одинаково на каждом колесе. Следовательно, $P_{3н} = P_{36}$.

С учетом этого имеем:

$$\gamma = Vt[(K_3l_3 - K_nl_n)G\sin\alpha + (F_{3н} - F_{36})B/2(K_3 + K_n)]/(K_3K_nL^2). \quad (2.24)$$

Раскрывая в уравнении (2.24) значения сил сопротивления качению колес:

$$\text{- заднее верхнее } F_{36} = f_3Gl_n / L(\cos\alpha/2 - h/B \cdot \sin\alpha);$$

$$\text{- заднее нижнее } F_{3н} = f_3Gl_n / L(\cos\alpha/2 + h/B \cdot \sin\alpha),$$

и вводя их в выражения (2.24) после некоторых преобразований имеем:

$$\gamma = VtG\sin\alpha[(K_3l_3 - K_nl_n) + (f_3l_n + f_nl_3)(K_3 + K_n)h/L]/(K_3K_nL^2). \quad (2.25)$$

Однако в таком виде формула не учитывает фактор сползания, что при не достаточном сцеплении колес с опорной поверхностью может привести к существенной ошибке при определении курсового угла для склонов, крутизна которых превышает 0,21 рад.

На горизонтальном участке в виду отсутствия боковой силы ($G \cdot \sin\alpha = 0$) даже при значительном буксовании колес, сползание не ощутимо. Однако на склоне имеет место прямая зависимость величины сползания трицикла от буксования его колес. Кроме того, теоретическое определение численного значения величины сползания затруднено ввиду множество факторов, влияющих на сцепные свойства ведущих колес с опорной поверхностью: тип и конструкция движителей, сцепной вес, физико-механические свойства и состояние опорной поверхности, растительный покров и др. Поскольку отклонение объекта от курса при движении поперек склона происходит от действия трех основных факторов: отклоняющего

момента, бокового увода, сползания, то величина последнего, с некоторым приближением, поддается экспериментальному определению методом исключения из общей величины курсового отклонения – влияние отклоняющего момента, действующего на трицикл в плане, и влияния бокового увода шин на курсовой угол, величина которого в каждом конкретном случае может быть определена теоретически.

С увеличением буксования увеличивается сползание ведущих колес, так как направление движения буксующего колеса, в соответствии с основной аксиомой трения – скольжения, совпадает с равнодействующей двух сил: касательной силы тяги P и поперечной силы $G\sin\alpha$, вызывающих сползание. При этом поступательная скорость движения трицикла уменьшается, поскольку

$$V_{\delta} = V(1 - \delta),$$

где V_{δ} – действительная скорость трицикла; δ – буксование.

С учетом влияния буксования формула для определения курсового угла принимает следующий вид:

$$\gamma = V_{\delta} t G \sin \alpha \left[(K_3 l_3 - K_n l_n) + (f_3 l_n + f_n l_3)(K_3 + K_n) \frac{h}{L} \right] / [K_3 K_n L^2 (1 - \delta)]. \quad (2.26)$$

Таким образом, полученная формула курсового угла в общем виде определяет его зависимость от основных силовых, конструктивных и эксплуатационных параметров.

Поскольку наиболее благоприятным, с точки зрения энергетических затрат и эрозионных процессов при движении в поперечном направлении склона, является движение транспортного средства вдоль горизонталей склонов, то есть исходя из математической модели курсовой устойчивости объекта, когда имеет место $\gamma = 0$, то возвращаясь к выражению (2.23) получаем, что оговоренное условие выполняется при следующем равенстве:

$$(K_3 l_3 - K_n l_n) G \sin \alpha + M(K_3 - K_n) = 0.$$

или

$$M = [(K_n l_n - K_3 l_3) / (K_3 - K_n)] G \sin \alpha, \quad (2.27)$$

где K_3 и K_n – коэффициент сопротивления уводу задних и переднего колес;
 l_3 и l_n – расстояние от центра тяжести до задней и передней осей трицикла;
 $G \sin \alpha$ – боковая составляющая веса трицикла.

Полученное соотношение позволяет сделать вывод о том, что для мототранспортных средств, предназначенных для работы на склонах, с точки зрения курсовой устойчивости, следует рекомендовать конструктивные параметры $K_3 l_3 = K_n l_n$. В этом случае курсовое отклонение уменьшается. Кроме того, если принять в выражении (2.26) $K_3 = K_n = K$ и $l_3 = l_n = l$, то справедливо $f_3 = f_n = f$, и тогда курсовой угол определяется так:

$$\gamma = [2V \cdot t \cdot G \sin \alpha \cdot f \cdot h] / (KL^2), \quad (2.28)$$

где V – скорость движения трицикла;

t – время, через которое определяется курсовой угол;

f – коэффициент сопротивления качению;

h – расстояние от центра масс до опорной поверхности по нормали;

K – коэффициент сопротивления уводу;

L – продольная база трицикла.

Одним из важных параметров от которого напрямую зависит устойчивость трицикла является положения центр масс относительно точек контакта его с опорной поверхностью. Отклоняющий момент, вызванный составляющей силы тяжести, разностью сил сопротивления перекачивания нижнего и верхнего по склону колеса задней оси трицикла, можно компенсировать смещением центра масс относительно точек контакта шин с опорной поверхностью. При пребывании и движении трицикла по косогору, можно достичь улучшения характеристики курсовой устойчивости движения, за счет смещения центра масс трицикла от продольной оси, в сторону возвышенности склона.

Достичь перемещения центра масс трицикла от продольной оси с целью повышения курсовой устойчивости, можно наклонам остова в сторону возвышенности склона (рис. 2.6). При наклоне остова центр масс будет смещается в сторону возвышенности склона, тем самым увеличивая

расстояния от оси симметрии трицикла до прямой соединяющей центры контактов колеса нижнего по склону, в таком случае восстанавливающий момент (M_B) будет возрастать по отношению к отклоняющему моменту ($M_{откл}$) что будет способствовать возрастанию курсовой устойчивости.

Если остов трицикла не сохраняет вертикальность на склоне и находится в естественном положении, то в этом случае получим наименьшее плечо $n = a \cdot \sin \beta$ силы тяжести трицикла относительно его оси опрокидывания. Наклон остова трицикла в сторону возвышенности оправдан, так как центр масс расположен выше оси наклона кузова. Только в этом случае при наклоне остова трицикла на угол ν , центр тяжести кузова трицикла переместится в сторону возвышенности склона на определенное расстояние d , что будет содействовать большей устойчивости трицикла против опрокидывания, а также способствует уменьшению отклоняющего момента.

Если остов трицикла наклонен на угол ν , в сторону возвышенности склона, промежуточные параметры примут определённые значения:

$$h_0 = (r_2 a + r_1 b \cos \nu) / L; \quad (2.29)$$

$$d = (h - h_0) \sin \nu . \quad (2.30)$$

Если учитывать перемещение центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона $d = (h - h_0) \sin \nu$, т.е. наклона остова в сторону возвышенности на угол ν , курсовой угол определяется так:

$$\gamma = [2V \cdot t \cdot G \sin \alpha \cdot f \cdot (B/2 - d)] / (KL^2), \quad (2.31)$$

где V – скорость движения трицикла;

t – время, через которое определяется курсовой угол;

f – коэффициент сопротивления качению;

K – коэффициент сопротивления уводу;

L – продольная база трицикла.

$G \sin \alpha$ – составляющие силы тяжести трицикла;

$B/2$ – расстояние от расположения центра масс до верхнего по склону колеса задней оси трицикла.

d – смещение центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона;

ν – угол наклона остова трицикла.

При наклоне кузова на угол ν , центр масс переместится в сторону возвышенности склона на расстояния d :

$$d = [h - (ar_1 + br_2 \cos \nu / L)] \cdot \sin \nu, \quad (2.32)$$

где r_1, r_2 – радиус качения переднего и заднего колеса трицикла.

Таким образом если рассматривать движение трицикла на косогоре с учетом смещения центра масс от продольной оси, в сторону возвышенности склона получим:

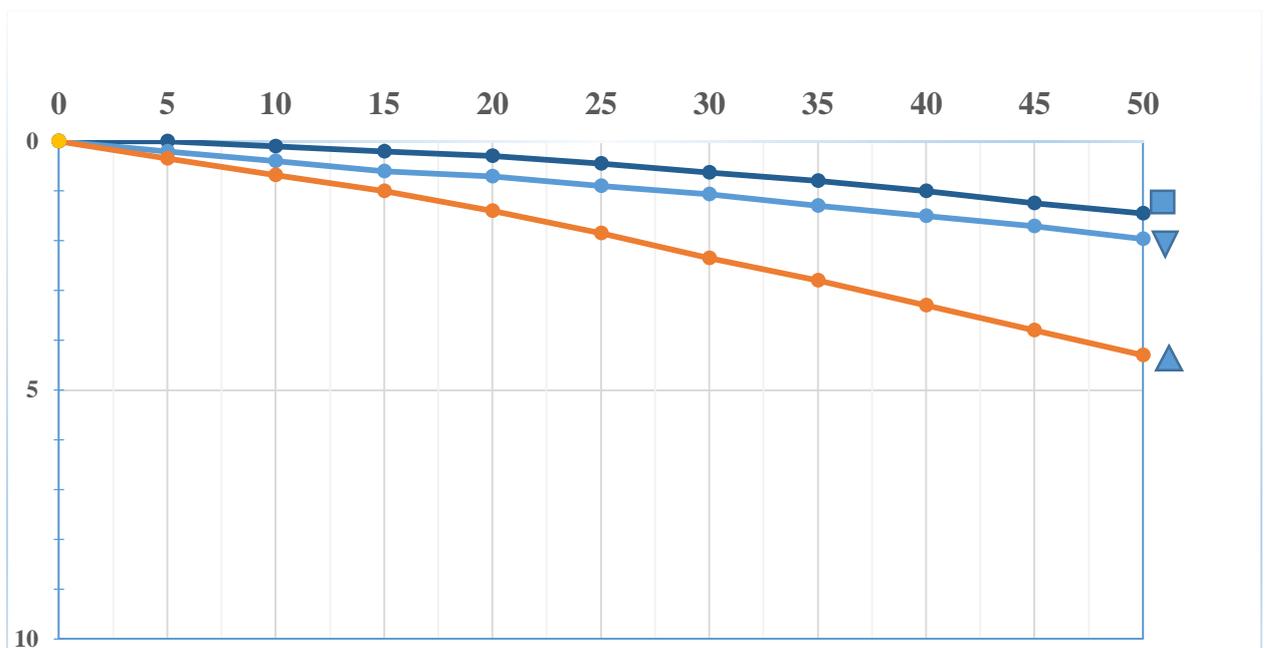


Рисунок 2.4 - Отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.209 рад. (Результаты аналитических решений).

- - отклонение трицикла (положение остова вертикальное)
- ▼ - отклонение трицикла (остов наклонен в сторону возвышенности на 6°)
- ▲ - отклонение трицикла (положение остова естественное)

На рисунке 2.4 приведены результаты аналитических решений, как видно из рисунка, отклонения трицикла от горизонтали склона с естественным положением остова на склоне 0.209 рад., в конце пути составляют 4.3 м., при сохранении вертикальности остова отклонение в конце пути уменьшаются и составляют 1.6 м.

Повышение курсовой устойчивости трицикла при движении в поперечном направлении склона, можно достичь смещением центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона.

Курсовой угол или угол между фактическим и заданным направлением движения на склоне, находится в прямой зависимости от скорости движения, времени, составляющей веса, сопротивления качению колёс, расположения центра тяжести объекта и в обратной зависимости от жесткости шин и квадрата его продольной базы.

2.2 Влияние стабилизации остова трицикла на величину курсового угла при движении на податливом основании склона

При движении трицикла вдоль заданной горизонтали склона может произойти курсовое отклонение, одним из факторов который может повлиять на величину курсового угла, это сопротивления качению колеса, на которое в свою очередь оказывает влияние податливость грунта под колесами трицикла.

Таким образом при движении трицикла по деформируемой поверхности склонов, под влиянием внешних механических воздействий возникает напряжённо-деформируемое состояние почвы, которое может оказать влияние на нарушение курсовой устойчивости и величину курсового угла.

Рассмотрим движение трицикла вдоль заданной горизонтали склона крутизной 12° на суглинистых почвах (стерня озимых, где приведённый коэффициент смятия грунта $k = 0.15 \cdot 10^4$).

Имея математическую модель (2.28), определим величину курсового угла:

$$\gamma = (2V \cdot t \cdot G \sin \alpha \cdot f \cdot h) / (KL^2), \quad (2.33)$$

где V – скорость движения трицикла, м/с;

t – время, через которое определяется курсовой угол, с;

f – коэффициент сопротивления качению;

h – расстояние от центра масс до опорной поверхности по нормали, м;

K – коэффициент сопротивления уводу, кН/рад;

L – продольная база трицикла, м.

Коэффициента сопротивления качению f согласно [134] определяется из выражений:

$$f = \frac{1}{2} \sqrt[3]{G / (\kappa \cdot b \cdot D_{np}^2)}, \quad (2.34)$$

где G – вертикальная нагрузка на колесо, кН;

κ – приведённый к размерам колес, коэффициент смятия грунта, Н/м³;

b – ширина колеса, м;

D_{np} – диаметр колеса, м.

Определим курсовой угол γ , а, следовательно, и местонахождения объекта, в данной точке на пути движения согласно математической модели курсового угла (2.28), (где $k = 0.15 \cdot 10^4$):

$$\gamma = (2 \cdot 4 \cdot 12.5 \cdot 3.43 \cdot 0.207 \cdot 0.25 \cdot 0.73) / (40 \cdot 2.05^2) = 0.077 \text{ рад.}$$

Имея значения курсового угла, определим отклонения трицикла от заданной горизонтали склона:

$$L_{отк} = L \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (2.35)$$

где $L_{отк}$ – отклонения трицикла от заданного курса движения;

L – заданное расстояние.

$$L_{отк} = 50 \cdot 0.076 = 3.8 \text{ м.}$$

Определим курсовой угол γ а, следовательно, и местонахождения объекта, в данной точке на пути движения согласно математической модели курсового угла (2.28) на склоне крутизной 12° , на супесчаных почвах (стерня зерновых) где $k = 0.07 \cdot 10^4$:

$$\gamma = (2 \cdot 4 \cdot 12.5 \cdot 3 \cdot 3.43 \cdot 0.207 \cdot 0.328 \cdot 0.73) / (40 \cdot 2.05^2) = 0.101 \text{ рад.},$$

$$L_{отк} = 50 \cdot 0.098 = 4.9 \text{ м.}$$

Таким образом при движении трицикла вдоль горизонталей склонов, на величину курсового угла существенное влияние оказывает податливость основания. Полученные данные показали, что увеличение деформируемости почвы приведет к увеличению отклонения объекта от заданного курса движения.

Уменьшения курсового отклонения трицикла при движении вдоль заданной горизонтали склона, на податливом основании, можно достичь смещением центра масс трцикла в сторону возвышенности склона, за счет наклона остова трицикла в сторону возвышенности склона относительно заднего моста в перпендикулярной, относительно направления движения плоскости, что приведет к повышению восстанавливающего момента относительно отклоняющего.

Рассмотрим движении трицикла вдоль заданной горизонтали склона крутизной 12° на суглинистых почвах (стерня озимых, где $k = 0.15 \cdot 10^4$), с учетом смещения центра масс в сторону возвышенности склона и сохранением вертикальности остова трицикла.

Имея математическую модель (2.28), определим величину курсового угла с учетом, смещения центра масс d , в сторону возвышенности склона:

$$\gamma = [2V \cdot t \cdot G \sin \alpha \cdot f \cdot (n - d)] / (KL^2), \quad (2.36)$$

где $d = (h - h_0) \sin \nu$ – перемещение центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона;

$n = a \cdot \sin \beta$ – плечо приложения составляющей силы тяжести по нормали к опорной поверхности трицикла.

$$\gamma = [2 \cdot 4 \cdot 12.5 \cdot 3.43 \cdot 0.207 \cdot 0.25 \cdot (0.389 - 0.102)] / (40 \cdot 2.05^2) = 0.031 \text{ рад.};$$

$$L_{\text{отк}} = 50 \cdot 0.030 = 1.5 \text{ м.}$$

Определим курсовой угол γ , согласно математической модели курсового угла (2.36) на склоне крутизной 12° , на супесчаных почвах (стерня зерновых) где $k = 0.07 \cdot 10^4$, с учетом смещения центра масс в сторону возвышенности склона и сохранением вертикальности остова:

$$\gamma = [2 \cdot 4 \cdot 12.5 \cdot 3.43 \cdot 0.207 \cdot 0.328 \cdot (0.389 - 0.102)] / (40 \cdot 2.05^2) = 0.039 \text{ рад.},$$

$$L_{\text{отк}} = 50 \cdot 0.038 = 1.98 \text{ м.}$$

На рисунке 2.5 приведены данные результатов исследований отклонений трицикла с наклоняющимся остовом при движении на склоне с податливым основанием, без учета и с учетом стабилизации остова.

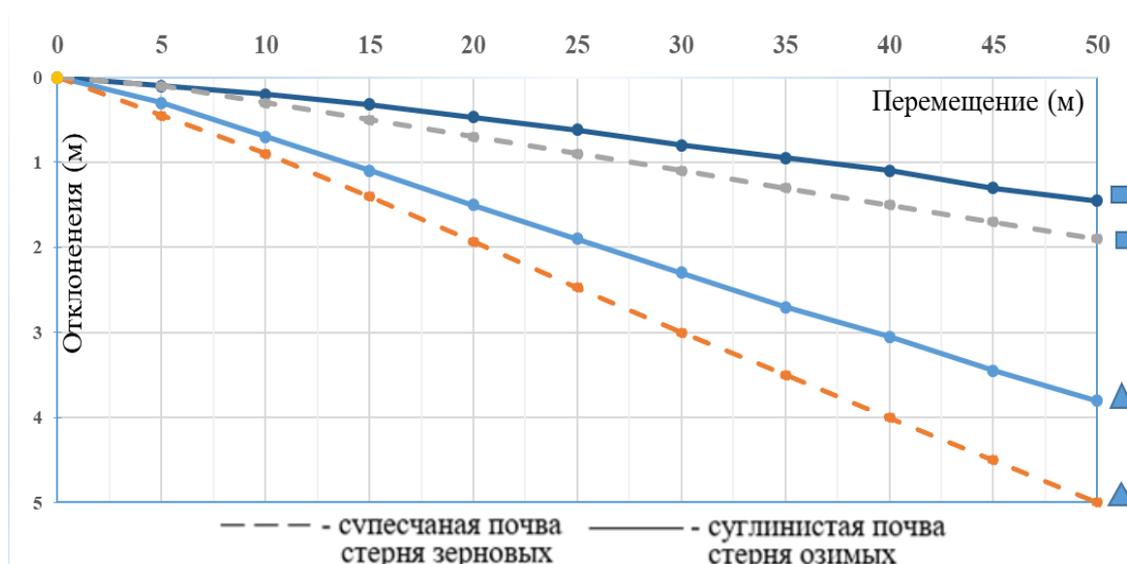


Рисунок 2.5 – Отклонение трицикла с наклоняющимся остовом при движении по склону с податливым основанием крутизной 0.209 рад.

▲ - движения трицикла без стабилизации остова

■ - движение трицикла со стабилизацией остова

С увеличением деформируемости почвы, возрастает величина коэффициента сопротивления качения, что в свою очередь влияет на

увеличения отклоняющего момента. Анализируя результаты данных прослеживается четкая тенденция, величина курсового угла трицикла возрастает с увеличением деформируемости почвы, что ведет к нарушению курсовой устойчивости, при смещении центра масс трицикла от продольной оси в сторону возвышенности склона, т.е. с сохранением вертикальности остова трицикла, отклонение от заданного курса движения уменьшаются. Так при движении трицикла по податливому основанию склона (стерня озимых, где приведённый коэффициент смятия грунта $k = 0.15 \cdot 10^4$) без стабилизации величина курсового отклонения составила 3.8 м., с учетом стабилизации остова, величина отклонения составила 1.5 м.

Повышение курсовой устойчивости трицикла при движении в поперечном направлении склона с податливым основанием, можно достичь смещением центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона, такое изменение параметров способствует повышению курсовой устойчивости, так как восстанавливающий момент (M_B) будет возрастать по отношению к отклоняющему моменту ($M_{откл}$).

2.3 Повышения устойчивости трицикла против опрокидывания на склоне

На рисунке 2.6 представлена расчетная схема сил и реакций, действующих на трицикл, при установившемся движении в поперечном направлении склона крутизной α .

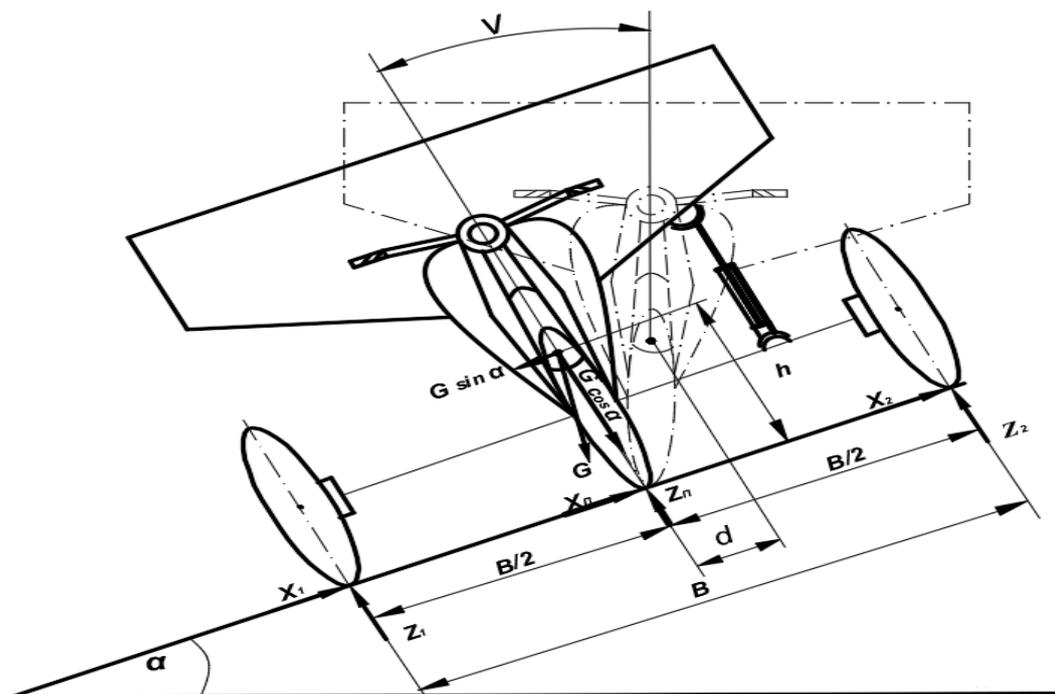


Рисунок 2.6 – Схема сил и реакций, действующие на трицикл при движении в поперечном направлении склона

Здесь Z_1 X_1 - реакции, действующие на заднее нижнее колесо;

Z_2 , X_2 - реакции, действующие на заднее верхнее колесо;

Z_n , X_n - реакции, действующие на переднее колесо;

a , b , h - координаты центра масс;

G – сила тяжести;

$G \sin \alpha$, $G \cos \alpha$ – составляющие силы тяжести;

ν - наклон остова трицикла;

d - перемещение центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона.

Для предотвращения опрокидывания трицикла при пребывании или прямолинейном движении по косогору должно выполняться условие:

$$G \sin \alpha \cdot h \leq G \cos \alpha \cdot a \sin \beta \quad (2.37)$$

где: $G \sin \alpha$ - составляющая веса трицикла, параллельная поверхности

косогоора; $G \cos \alpha$ - составляющая веса трицикла, нормальная к этой

поверхности; G -вес трицикла; h - высота расположения центра масс трицикла,

$n = a \cdot \sin \beta$ - плечо приложения нормальной к опорной поверхности,

составляющей силы тяжести, в случае если остов находится в естественном положении ; α - угол косогора; β - угол между осью симметрии и осью опрокидывания; a - расстояния от передней оси трицикла до центра масс.

Таким образом если брать за основу необходимы конструктивные данные исследуемого объекта:

$a = 1.53$ м. - расстояние от центра тяжести до передней оси;

$G = 3.43$ кН - вес трицикла;

$h = 0.73$ м - высота расположения центра масс трицикла;

$\beta = 14.74^\circ$ - угол между осью симметрии и осью опрокидывания трицикла;

$r_1 = 0.265$ м.; $r_2 = 0.225$ м. – радиус переднего и заднего колес трицикла.

Если учитывать смещение центра масс трицикла от продольной оси в сторону возвышенности склона, то условие предотвращения опрокидывания трицикла при пребывании или прямолинейном движении по косогору будет соблюдаться на склонах крутизной до 29° :

$$G(h - h_0) \sin v \cdot \cos \beta \leq Gn' \cdot \cos \alpha, \quad (2.38)$$

где h_0 – высота расположения оси наклона остова;

v - наклон остова трицикла;

n' - плечо приложения силы тяжести, в случае если трицикл на склоне с вертикальным положением остова.

Если остов трицикла наклонен на угол v , в сторону возвышенности склона, промежуточные параметры примут определённые значения:

$$h_0 = (r_2 a + r_1 b \cos v) / L; \quad (2.39)$$

$$d = (h - h_0) \sin v; \quad (2.40)$$

$$\xi = r_1 \cdot \sin v / \sqrt{(B/2)^2 + L^2}; \quad (2.41)$$

$$n' = (d + atg \cdot \beta) \cdot \cos(\beta - \xi) + b \cdot \sin \xi / \cos \beta, \quad (2.42)$$

где h_0 -высота расположения оси наклона остова; d - перемещения центра масс от продольной оси в сторону возвышенности склона; ξ - угол

соответствующий перемещению центра пятна контакта шины; n^1 - плечо приложения силы тяжести трицикла, в случае если остов наклонен.

Необходимо отметить, что трицикл без стабилизации остова может прибывать и движется прямолинейно на склонах крутизной до 29° без опрокидывания, а при смещении центра масс d , от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона, т.е. наклона остова в сторону возвышенности на угол ν , трицикл может прибывать и движется прямолинейно на склонах крутизной до 0.786 рад. (45°) без опрокидывания т.е. устойчивость против опрокидывания возрастает.

Если остов трицикла не сохраняет вертикальность на склоне и находится в естественном положении, то в этом случае получим наименьшее плечо приложения силы тяжести трицикла относительно его оси опрокидывания [110]. Наклон остова трицикла в сторону возвышенности оправдан, так как центр масс расположен выше оси наклона кузова. Только в этом случае при наклоне остова трицикла на угол ν , центр тяжести кузова трицикла переместится в сторону возвышенности склона на определенное расстояние, что будет содействовать большей устойчивости трицикла против опрокидывания, а также способствует уменьшению отклоняющего момента.

2.4 Влияние податливости грунта под колесами трицикла на величину угла поперечной устойчивости.

В случае движения колесной машины по деформируемой опорной поверхности, чаще всего со стороны движителей оказывается на податливое основание эффект расклинивания почвы. В этом случае возникает колея, где глубина будет зависеть от веса колесной машины, геометрических параметров и давления колеса, а также характеристик почвы [156].

Также существенное влияние на глубину колеи оказывает угол наклона опорной поверхности, который в свою очередь вызывает дополнительное смещение направления результирующей нагрузки на грунт

со стороны движителя по нормали к поверхности. Эти факторы влияют на снижение несущей способности грунта и как следствие, увеличение глубины колеи.

При нахождении трицикла на поперечном склоне составляющие силы тяжести $G\cos\alpha$ и $G\sin\alpha$ по-разному нагружают шины колес (рис. 2.6.). Составляющая силы тяжести параллельная опорной поверхности способствует некоторому догрузению колеса нижнего по склону, и снижению нагрузки с верхнего по склону колеса.

В связи с тем, что нормальная нагрузка на движители трицикла, находящегося на негоризонтальной опорной поверхности распределена не в равных пропорциях, колесо нижнее по склону задней оси трицикла за счет большей нормальной нагрузки на опорную поверхность, стремится дополнительно деформировать грунт на определённую величину h_k (рис.2.7).

Известно, что для сохранения устойчивости против опрокидывания необходимо чтобы вектор центра масс не проходил через критические точки опрокидывания колесной машины. Здесь же если рассматривать нормальную деформацию грунта под колесами трицикла, то она вызывает смещения вектора центра масс трицикла в сторону оси опрокидывания, причем нормальная деформация грунта способствует дополнительному углу поворота транспортного средства в поперечной плоскости, что в свою очередь будет способствовать уменьшению устойчивости против опрокидывания.

При поперечном крене нижнее по склону колесо трицикла нагружается не только силой $G\sin\alpha$, но и моментом вызванным в результате действия составляющей $G\sin\alpha$. Центр масс будет смещаться в сторону действия составляющей силы тяжести $G\sin\alpha$, такое изменение параметров будет способствовать уменьшению расстояния от вектора центра масс до прямой соединяющей центры контактов переднего одиночного колеса и нижнего по склону колеса задней оси трицикла. В таком случае плечо опрокидывающего момента $M_{опр}$ увеличивается и будет возрастать по отношению к

восстанавливающему моменту M_B , что будет способствовать росту вероятности опрокидывания.

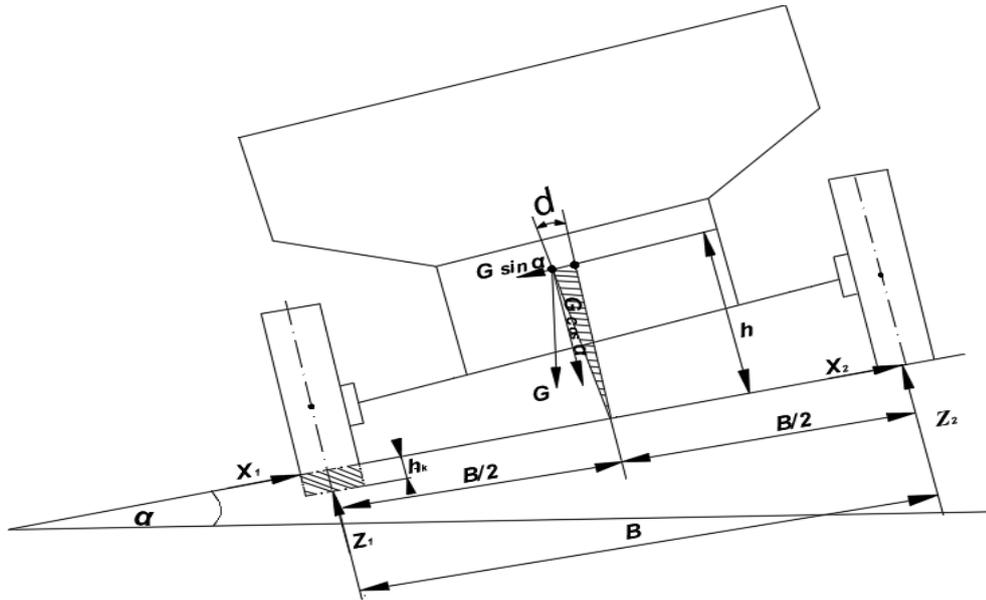


Рисунок 2.7 – Схема сил и реакций, действующих на трицикл при движении по склону с податливым основанием

Где G - сила тяжести трицикла;

$G \sin \alpha$; $G \cos \alpha$ – составляющие силы тяжести трицикла;

Z_1 X_1 - реакции, действующие на заднее нижнее по склону колесо;

Z_2 , X_2 - реакции, действующие на заднее верхнее по склону колесо;

$B/2$, h - координаты центра масс трицикла;

h_k - глубина колеи;

d - смещения центра масс трицикла.

Наиболее значительный вклад в теорию качения колеса и определения его тягово-цепных свойств внесли Беккер М.Г., Покровский Г.И., Кацыгин В.В. и многие другие. Для расчета глубины колеи учеными предложены различные зависимости.

«Для количественной оценки влияния деформации почвы на поперечную устойчивость применим методику расчета глубины колеи, предлагаемую в работе» [156].

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{G_k^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot D}} \quad , \quad (2.42)$$

где G_K – нормальная нагрузка на колесо, кН;

k – коэффициент объемного смятия грунта, Н/м³;

B и D – ширина и диаметр наружного обода жесткого колеса, м.

Рассмотрим характер изменения глубины колеи для шины, установленной на грузовой трицикл с наклоняющимся остовом при изменении нагрузки на нее. Предложенное колесо имеет следующие параметры: ширина и диаметр наружного обода жесткого колеса $D = 0.30$ м., $B = 0.127$ м. В качестве почвенного фона примем целину, стерню зерновых, слежавшуюся пахоту для супесчаных почв ($k = 0,08$ Н/м³, $k = 0,07$ Н/м³ и 0.04 Н/м³ соответственно (таб.2.1).

Таблица 2.1 – Предел прочности (σ_0) и коэффициент объемного смятия (k) грунтов

Грунт	σ_0 , МПа	$k \cdot 10^6, Н/м^3$
Супесь:		
целина	1.29...1.43	0.08...0.11
стерня зерновых	0.80...0.90	0.07...0.08
слежавшаяся пахота	0.45...0.66	0.04...0.06
Суглинок легкий:		
целина	2.42...2.58	0.14...0.17
стерня озимых	1.43...2.09	0.11...0.19
слежавшаяся пахота	0.96...1.16	0.07...0.10

Определим глубину колеи для колеса нижнего по склону задней оси трицикла без стабилизации остова на склоне куртиной 15°.

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{G_K^2}{K^2 \cdot B^2 \cdot D}} = \sqrt[3]{\frac{2.33^2}{(0.08 \cdot 10^6)^2 \cdot 0.127^2 \cdot 0.30}} = 0.005 \text{ м.} \quad (2.43)$$

Таким образом при движении трицикла с естественным положением остова глубина колеи нижнего по склону колеса на супесчаных (целина) почвах составляет 0.005 м. Анализируя полученные данные можно сделать вывод о том, что при нагрузке на колесо 2.33 кН (для рассмотренного трицикла соответствует углу склона 15°) глубина колеи может составить

около 0.005 м., что в свою очередь вызовет дополнительный крен машины примерно равный 0.57° .

Получение данные показали, что углублению колеи приведет к дополнительному углу поворота трицикла в поперечной плоскости, что в свою очередь способствует увеличению плеча, опрокидывающего момента и нарушению устойчивости, однако в данном случае это влияние незначительно.

Определим глубину колеи для колеса нижнего по склону задней оси трицикла со стабилизацией остова на склоне крутизной 15° .

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{1.8^2}{(0.08 \cdot 10^6)^2 \cdot 0.127^2 \cdot 0.30}} = 0.004 \text{ м.} \quad (2.44)$$

Таким образом при движении трицикла с вертикальным положением остова на суглинистых почвах нормальная нагрузка на нижнее по склону колесо, за счет перераспределения веса трицикла уменьшается, глубина колеи нижнего по склону колеса на суглинистых почвах составляет 0.004 м, влияние также незначительно.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о том, что при нагрузке на колесо около 1.8 кН (для рассмотренного трицикла соответствует углу склона 15° , при сохранении вертикальности остова) глубина колеи может составить около 0.004 м. Получение данные показали, что величина углубления колеи h_k при пребывании трицикла на косогоре со стабилизации остова уменьшается $0.004 \text{ м.} < 0.005 \text{ м.}$ Очевидно, чем меньше будет наклон КМ в поперечной плоскости в сторону действия силы $G \sin \alpha$, тем меньше плечо опрокидывающего момента, уменьшение дополнительного наклона трицикла приведет к сохранению устойчивости.

Аналогичные расчеты для определения глубины колеи были проведены для движения трицикла с собственной нагрузкой и полной нагрузкой, на склонах крутизной и 25° на супесчаных грунтах, данные с результатами занесены в таблицу 2.2 и рисунки 2.7-2.8.

Таблица 2.2 – Определение дополнительного угла наклона трицикла на косогоре за счет деформации почвы под колесами

Параметры	Углы наклона косогора, °			
	15°		25°	
	Без стабилизации остова	Со стабилизацией остова	Без стабилизации остова	Со стабилизацией остова
Нормальная нагрузка на нижнее по склону колесо, кН	2.33 кН		1.8 кН	
Глубина колеи h_k , мм	целина	5 мм	4 мм	6 мм
	стерня зерновых	6 мм	5 мм	7 мм
	слежавшаяся пахота	8.8 мм	7 мм	9.8 мм
Дополнительный угол поворота ТС в поперечной плоскости, с учетом h_k	целина	0.57°	0.45°	0.68°
	стерня зерновых	0.67°	0.55°	0.8°
	слежавшаяся пахота	1°	0.8°	1.14°

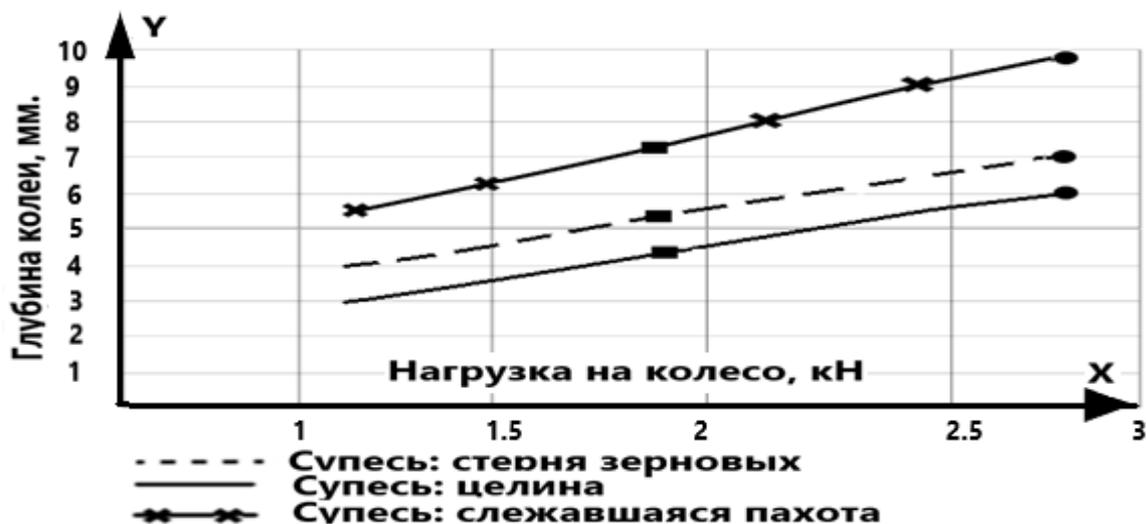


Рисунок 2.8 – Зависимость расчетной глубины колеи для шины трицикла собственной массы от нагрузки на колесо

● - величина глубины колеи для шины трицикла, соответствующая движению трицикла на склоне без стабилизации остова

■ - величина глубины колеи для шины трицикла, соответствующая движению трицикла на склоне со стабилизацией остова

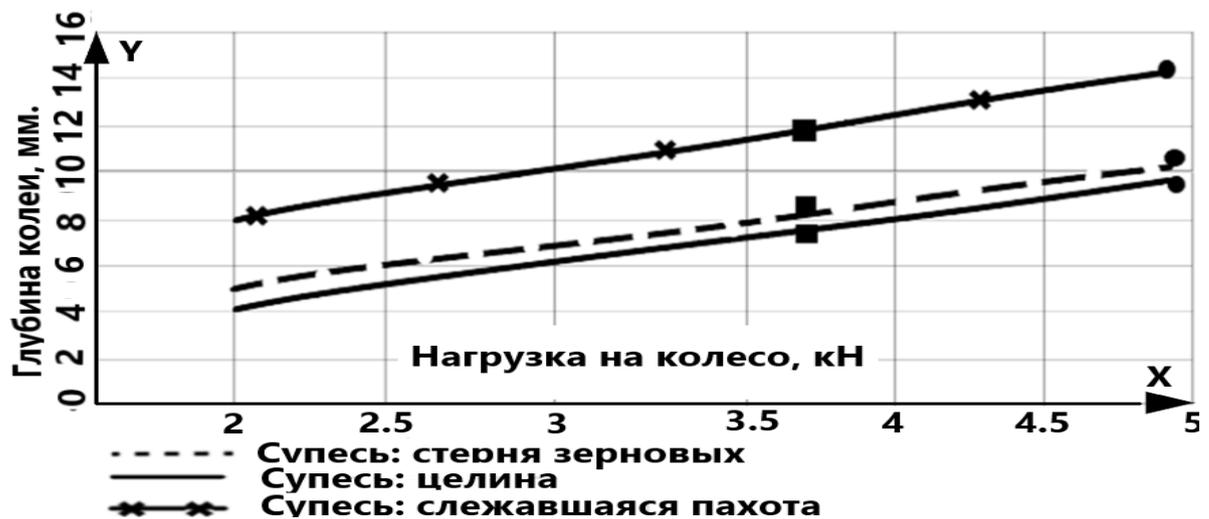


Рисунок 2.9 – Зависимость расчетной глубины колеи для шины трицикла полной массы от нагрузки на колесо

- - величина глубины колеи для шины трицикла, соответствующая движению трицикла на склоне без стабилизации остова
- - величина глубины колеи для шины трицикла, соответствующая движению трицикла на склоне со стабилизацией остова

Таким образом, с увеличением угла косогора, возрастает значение перераспределения нагрузок между движителями трицикла. При этом глубина колеи от нижнего по склону колеса увеличивается и оказывает влияние на величину угла поперечной устойчивости, способствуя нарушению устойчивости против опрокидывания.

При этом уменьшения глубины колеи можно достичь стабилизацией остова трицикла в вертикальном положении, что ведёт к смещению центра масс и восстановлению нагрузок по бортам между движителями. Такое изменение параметров способствует повышению устойчивости против опрокидывания, особенно когда рассматривается тяжелая колёсная техника. Здесь же необходимо отметить, что для рассматриваемой модели исследуемого трицикла, значения полученных результатов незначительны и не окажут существенного влияния на дополнительный угол наклона трицикла в поперечной плоскости.

2.5 Динамическая устойчивость трицикла с наклоняющимся остовом против опрокидывания в повороте на вираже

Условие нарушения устойчивости при котором происходит боковое опрокидывание трицикла на вираже, возникает в случае достижения равенству нулю реакций одного из колес задней оси. Следовательно, чтобы произошло нарушение устойчивости, которое приведёт к опрокидыванию трицикла в поперечной плоскости, необходимо и достаточно, чтобы момент на плече h_y возникающий от боковых сил, был больше момента на плече n , (рис 2.10).

При движении трицикла на вираже это условие запишется как:

$$(F_y \cos \alpha - G \sin \alpha) h_y \geq (G \cos \alpha + F_y \sin \alpha) n, \quad (2.45)$$

где $G \sin \alpha$, $G \cos \alpha$ – составляющие силы тяжести;

$F_y \cos \alpha$, $F_y \sin \alpha$ – составляющие центробежной силы;

h_y – плечо приложения поперечной составляющей центробежной силы инерции;

n – плечо силы тяжести.

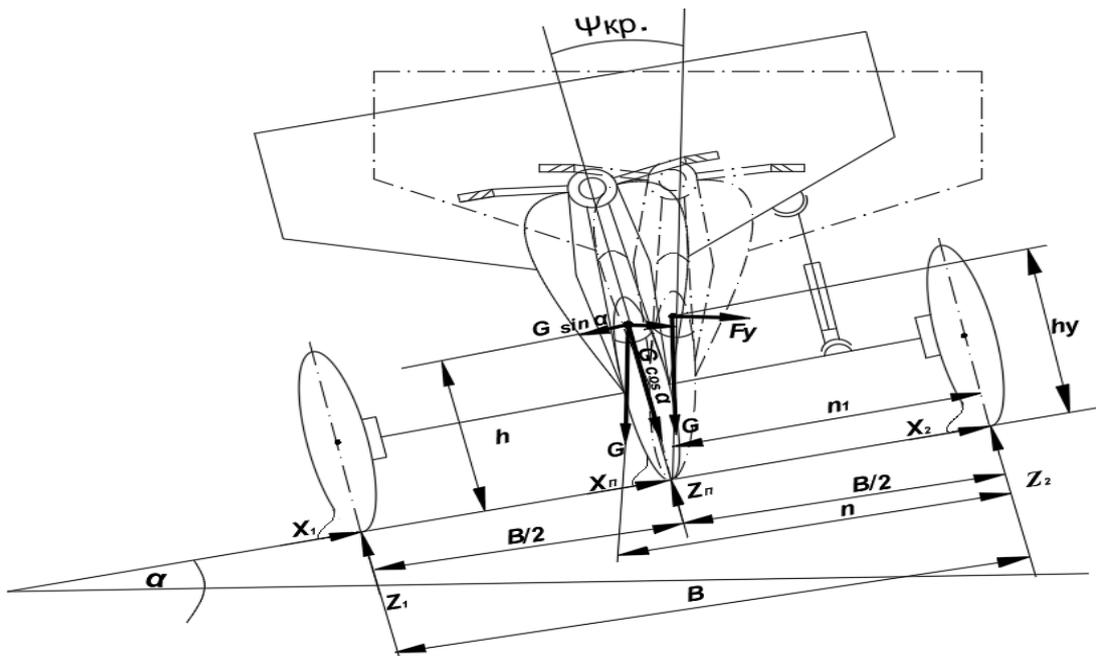


Рисунок 2.10 – Схема сил действующих на трицикл на вираже

Где Z_1, X_1 - реакции, действующие на заднее нижнее колесо;

Z_2, X_2 - реакции, действующие на заднее верхнее колесо;

$Z_{п}, X_{п}$ - реакции, действующие на переднее колесо;

a, b, h - координаты центра масс;

G – сила тяжести трицикла;

$G \sin \alpha, G \cos \alpha$ – составляющие силы тяжести трицикла;

F_y - центробежная сила;

$\Psi_{кр}$ - угол крена;

h_y - плечо центробежной силы;

n - плечо силы тяжести трицикла.

Если $F_y \cos \alpha > G \sin \alpha$, то опрокидывание происходит в сторону действия силы F_y , если $F_y \cos \alpha < G \sin \alpha$, что будет способствовать стремлению к опрокидыванию в сторону действия силы $G \sin \alpha$. В этом случае опрокидывающий момент на плече h_y будет определен как $F_y \cos \alpha - G \sin \alpha$.

При заданных значениях скорости V и радиусе поворота R , критический угол крена $\alpha_{кр}$ при котором опрокидывания еще не происходит, но может произойти в результате любого возмущения направленное в сторону силы F_y , будет тем больше, чем меньше будет V и больше радиус R [110].

Если на движущейся с такой скоростью трицикл воздействует сколько угодно малое возмущение направленное в сторону действия силы F_y , будет происходить смещения поддресоренных масс трицикла на некоторый угол $\Psi_{кр}$ относительно не поддресоренных масс, в сторону действия силы F_y . Увеличение ускорения приведет к возрастанию угла крена $\Psi_{кр}$. Увеличение $\Psi_{кр}$ приведет к дальнейшему уменьшению плеча n до плеча n_1 . В таком случае момент опрокидывания $M_{опр}$, будет больше восстанавливающего момента M_B , что будет способствовать вероятности опрокидывания.

Увеличить критический угол по опрокидыванию $\alpha_{кр}$, можно лишь уменьшив скорость V и увеличив радиус R .

Достичь увеличения критического угла по опрокидыванию и увеличения скорости, не уменьшая радиус поворота можно за счет наклона остова в сторону противоположную центробежной силе F_y , т.е. в сторону поворота, что будет способствовать увеличению плеча силы тяжести G и увеличению восстанавливающего момента M_B , это позволит двигаться трициклу на вираже с большей скоростью без опрокидывания.

Критическую скорость движения в повороте на вираже V_x , после достижения которой начнется опрокидывание трицикла с наклоняющимся кузовом определим из выражения:

$$V_x = R \sqrt{\frac{g(h_y \sin \alpha + n \cos \alpha) \cos \gamma}{(h_y \cos \alpha - n \sin \alpha)(R - d) \cos(\beta - \sigma - \zeta)}}, \quad (2.46)$$

где σ – угол между радиусами R и радиусам вращения центра масс в плане на плоскости;

ν – угол наклона кузова;

r_1, r_2 – радиус качения переднего и заднего колеса;

h_0 – высота расположения оси вращения кузова;

Если остов трицикла не наклонен, то плечо приложения силы тяжести будет определено:

$$n = a \sin \beta = 0.389 \text{ м.} \quad (2.47)$$

Если трицикл наклонен на угол $\nu = 45^\circ$ в сторону поворота, то плечо приложения силы тяжести примет следующее значение:

$$n = (d + atg\beta - \Delta) \cos(\alpha - \xi) + b \sin \xi / \cos \beta \quad (2.48)$$

$$n = (0.347 + 1.53 \cdot 0.263 - 0.003) \cdot 0.988 + 0.52 \cdot 0.108 / 0.967 = 0.795 \text{ м.}$$

Плечо составляющей центробежной силы инерции, $F_y \sin \alpha$ в случае наклона остова в сторону поворота определится как:

$$h_y = h \cos \nu + (ar_1 + br_2 \cos \nu)(1 - \cos \nu) / L \quad (2.49)$$

Тут же заметим, что углом γ , из-за его малости можно пренебречь, так как практически $\cos \sigma = 1$.

При наклоне кузова на угол ν центр масс переместится в сторону центра поворота на расстояния d , если остов трицикла наклонен на угол $\nu=45^\circ$ в сторону поворота, то:

$$d = [h - (ar_1 + br_2 \cos \nu) / L] \cdot \sin \nu;$$

$$d = [0.73 - (1.53 \cdot 0.265 + 0.52 \cdot 0.225 \cdot 0.707) / 2.05] \cdot 0.707 = 0.347 \text{ м.}$$

Определим критическую скорость для движения трицикла на косогоре крутизной 20° без наклона остова в сторону поворота:

$$V_x = \sqrt{agRtg\beta/h} = 1.53 \cdot 9.8 \cdot 8.13 \cdot 0.263 / 0.73 = 6.6 \text{ м/с} = 23.7 \text{ км/ч.} \quad (2.50)$$

Если остов трицикла наклонен на угол $\nu=45^\circ$ в сторону поворота, то критическая скорость возрастает до:

$$V_x = R \sqrt{ng \cos \gamma / [h_y (R - d) \cos(\beta - \sigma - \zeta)]}; \quad (2.51)$$

$$V_x = 8.13 \sqrt{0.795 \cdot 9.8 \cdot 1 / [0.612 (8.13 - 0.347) \cdot 0.933]} = 10.7 \text{ м/с} = 38.7 \text{ км/ч.}$$

Таким образом, если рассматривать движение трицикла в повороте на вираже с учетом смещения центра масс в сторону центра радиуса поворота т.е., при наклоне его остова в сторону поворота, повышается устойчивость трицикла против опрокидывания и возрастает критическая скорость после которой наступает опрокидывание, ($38.7 > 23.7$ км/ч).

Выводы по главе 2

С увеличением угла крутизны косогора, за счет перераспределения нагрузок между движителями трицикла величина курсового угла увеличивается, а критический угол косогора уменьшается, оказывая влияние на устойчивость трицикла. Движения трицикла в поперечном направлении горных склонов может вызвать нарушение курсовой устойчивости и устойчивости против опрокидывания.

Повышение курсовой устойчивости и устойчивости против опрокидывания трицикла при движении по склонам в поперечном направлении, можно достичь смещением центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона с сохранением вертикальности остова трицикла, такое изменение параметров способствует повышению устойчивости трицикла, так как восстанавливающий момент (M_B) будет возрастать по отношению к отклоняющему ($M_{откл}$) и опрокидывающему ($M_{опр}$) моментам.

ГЛАВА 3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРИЦИКЛА С НАКЛОНЯЮЩИМСЯ ОСТОВОМ НА СКЛОНАХ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ДИНАМИКИ СИСТЕМ ТЕЛ «УНЕВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ»

3.1. Общие положение

Под имитационным моделированием понимается метод исследований при котором изучаемая система или явления заменяется физической моделью с достаточной точностью, описывающей реальную систему.

Проведение реальных экспериментов дает возможность получить необходимые данные о исследуемом объекте, но в действительности при проведении экспериментов некоторые поставленные задачи бывает очень трудно получить, а в некоторых случаях и вовсе невозможно. Поэтому существенным преимуществом имитационного моделирования как метода исследований заключается в том, что, модель объекта можно исследовать в самых разных условиях и к тому же занимает это считанные минуты.

Проведения натурных испытаний трицикла связанных с определением статической и динамической устойчивости, в случае движения в поперечном направлении горных склонов, с целью получения необходимых данных об объекте, является сложным и опасным процессом. Объективные данные о режимах движения в заданных условиях эксплуатации могут быть получены при помощи интеллектуальной модели движения.

Натурные испытания мототехники в области устойчивости движения являются крайне опасными, согласно ГОСТу, данный вид испытаний не предусматривается, в связи с выше отмеченным, представляется необходимость обращаться к вычислительному эксперименту.

3.2 Общие сведения о программном комплексе ПК «Универсальный механизм»

Имитационное моделирование движения трицикла в поперечном направлении склонов проводилось в программном комплексе автоматизированного анализа динамики систем тел «Универсальный механизм». Программа Универсальный механизм предназначена для моделирования динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем.

Работа модели механической системы, выполненной в среде «Универсальный механизм» (УМ) поддерживается специальными блоками. Блоки позволяют реализовать режимы совместного моделирования.

Модель механической системы УМ, подключаемая в систему управления, рассматривается как черный ящик, который по некоторому закону преобразует входные величины в выходные. При включении механической системы в модель системы назначаются переменные, которые создаются при помощи «мастера переменных в среде УМ. Входные величины блока «Универсальный механизм» предаются в УМ- модель.

Для реализации управляющих усилий со стороны системы управления в модель механической системы вводятся силы/моменты, значения или характеристики (например, коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью, угол наклона остова) которых задается параметрами модели. Также для анализа были доступны все необходимые величины координаты, скорости, ускорения, силы реакции в шарнирах, усилия в пружинах и т.д. Затем с помощью «мастера экспорта» среды УМ эти параметры связываются с величинами. Механизмы описываются как системы твердых тел, шарниров и силовых элементов. В процессе анализа поддерживается непосредственная анимация движения трехмерной модели в процессе расчёта.

Визуализация работы библиотеки создается в отдельном окне, предоставляется возможность получать визуальную информацию о

движении объекта, его динамических и кинематических характеристиках непосредственно в процессе моделирования.

Модель создается путем создания тел, шарниров, связей, сил и т.д. В модель вносятся все необходимые параметры исследуемого объекта, после создаются графические элементы. В процессе моделирования записываются все необходимые параметры, строятся соответствующие графики.

Система автоматизированной модели уравнений скрыта, есть только реализация модели. Уравнения составляются на базе инженерного описания в виде твердых тел и шарниров. Уравнения в матричном виде не видны и решаются численным методом, после чего программой выдаются готовые результаты и графики.

Полученные результаты в процессе моделирования позволяют получить все необходимые данные исследуемого объекта на стадии проектирования.

3.3. Методика проведения имитационного моделирования

Разработана пространственная нелинейная динамическая модель грузового трехколесного транспортного средства (трицикл). Модель трицикла реализована в программном комплексе автоматизированного анализа динамики систем тел «Универсальный механизм». На основе разработанной имитационной модели проведены исследования динамики трицикла при движении в поперечном направлении склонов. Приведены результаты расчета для движения трицикла вдоль заданных горизонталей склона, которые подтверждают адекватность физического поведения модели. Разработанная динамическая модель может применяться для оценки динамических свойств трицикла на стадии проектирования.

Объектом исследований являлся опытный трицикл с изменяемой геометрией конструкции. За основу были взяты характеристики трицикла

XY250ZH китайского производства (трехколесный мотоцикл с передним управляемым колесом и симметрично расположенными задними ведущими колесами), на котором смонтирован механизм, наклоняющий кузов трицикла относительно ведущего моста влево и вправо.

Для исследуемого объекта была построена физическая модель трицикла с фиксированным положением руля и возможностью наклона остова, в которую вводились следующие параметры:

габаритные размеры = $3240 \times 1285 \times 1030$ мм;

ширина колеи $B = 1,0$ м;

продольная база $L = 2,05$ м;

расстояние от центра тяжести до задней оси $l_3 = 0,52$ м;

до передней оси $l_n = 1,53$ м;

высота центра масс $h = 0,73$ м;

вес колёсной машины $m = 351$ кг;

размер передней шины - 3.50-16;

размер задней шины - 5.00-12;

углы наклона остова - 0.209 рад., 0.104 рад., 0.052 рад., -0.087 рад., -0.174 рад.;

углы наклона склона - 0.209 рад., 0.104 рад., и т.д.

Физическая модель трицикла сохраняла все черты оригинала.

В процессе исследований моделировались следующие типы испытаний:

движение трицикла вдоль горизонталей склона без стабилизации остова;

движение трицикла вдоль горизонталей склона со стабилизацией остова.

В процессе исследований моделировалось движение трицикла, в том числе с наклонённым остовом, на склонах различной крутизны. Заезды проводились на имитируемой травянистой поверхности ($\varphi = 0,4$).

В ходе проведения моделирования определялась курсовая устойчивость и устойчивость против опрокидывания трицикла на склоне, а также возможность влияния на повышение курсовой и устойчивости против опрокидывания стабилизацией остова трицикла.

В процессе испытаний фиксировались пройденное расстояние, скорость, отклонения от заданного курса движения, углы наклона склона, положения остова, и т.д., строились соответствующие графики. Результаты отклонений трицикла от заданной горизонтали склона были сведены в таблицы. Проводилось сопоставление полученных результатов с данными математического моделирования и натурных испытаний, проведенных ранее.

Таким образом моделирование проводилось в программе «Универсальный механизм» для определения отклонения объекта от заданного курса движения и определения критических углов косогора по скольжению и опрокидывания трицикла при движении в поперечном направлении склона, а также возможность влияния стабилизации остова на повышение устойчивости движения.

3.4 Имитационное моделирования курсового движения трицикла вдоль заданных горизонталей склона

Для моделирования курсового движения записывались:

- пройденное расстояние по оси X (м);
- затраченное время в процессе движения t (с);
- отклонение от заданного курса движения по оси Y (м);

В одних условиях каждое испытание проводилось с различным углом наклона остова на склонах различной крутизны. Так для каждого склона курсовое движение моделировалось 5 раз. Из них 1 раз без наклона остова и 4 раз с наклоном остова. Таким образом для двух склонов было смоделировано 10 процессов курсового движения их результаты сведены в таблицы.

Модель трицикла приводилась в движения и двигалась на протяжении 50 метров вдоль заданной горизонтали имитируемого склона, с каждым метром его движения происходили отклонения от горизонтали склона. При

выравнивании кузова трицикла отклонения от горизонтали имитируемого склона уменьшались

На фотографиях изображены: физическая модель трицикла, графики отклонения модели от горизонтали склона.

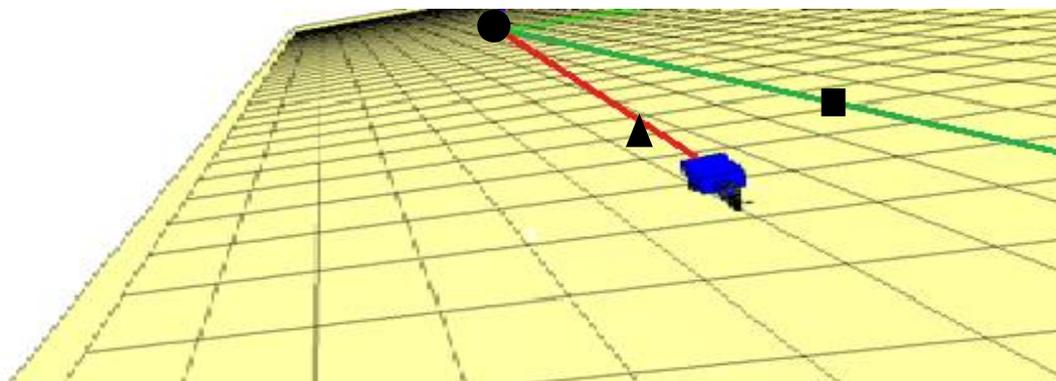


Рисунок 3.1 - Отклонения трицикла без учета стабилизации остова от горизонтали склона крутизной 0.209 рад. (12°)

- - точка начала движения трицикла;
- - горизонталь склона;
- ▲ - отклонение трицикла от горизонтали склона.



Рисунок 3.2 - График отклонения трицикла без учета стабилизации остова от горизонтали склона крутизной 0.209 рад. (12°)

На рисунке 3.1-3.2 изображены результаты имитационного моделирования движения трицикла без стабилизации остова на склоне 0.209 рад. Моделирование наглядно показывает изменение траектории движения трицикла, произвольно меняющего направления нарушая прямолинейность

движения. Таким образом отклонения от заданного курса движения в конце пути составили 7.5 м.

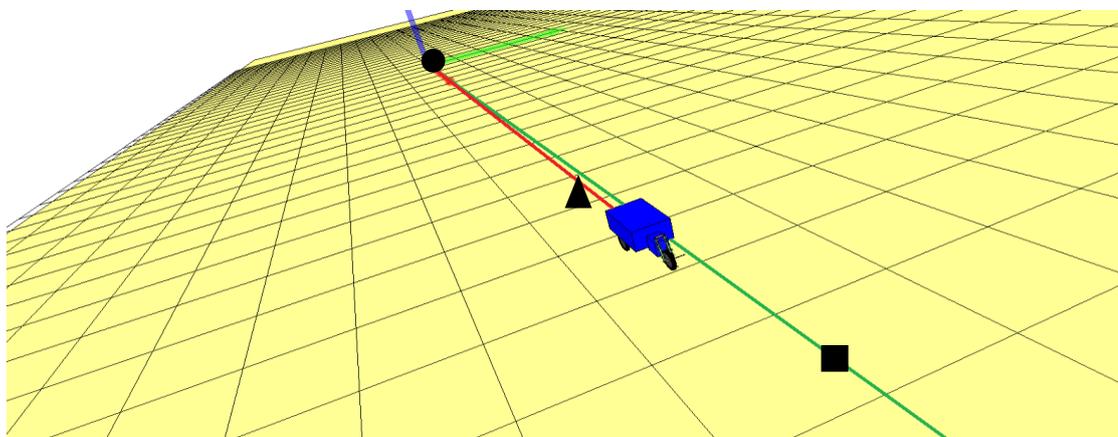


Рисунок 3.3 - Отклонения трицикла с вертикальным положением остова от горизонтали склона крутизной 0.209 рад. (12°)

- - точка начала движения трицикла;
- - горизонталь склона;
- ▲ - отклонение трицикла от горизонтали.



Рисунок 3.4 - График отклонения трицикла с вертикальным положением остова от горизонтали склона крутизной 0.209 рад. (12°)

На рисунке 3.3-3.4 изображены результаты имитационного моделирования движения трицикла со стабилизацией остова на склоне 0.209 рад. Моделирование наглядно показывает, что при сохранении вертикальности остова трицикла отклонения от заданной горизонтали склона

уменьшаются и трицикл движется близко к прямолинейной траектории. Таким образом, отклонение трицикла с сохранением вертикальности остова от заданного курса движения в конце пути составило 2 метра.

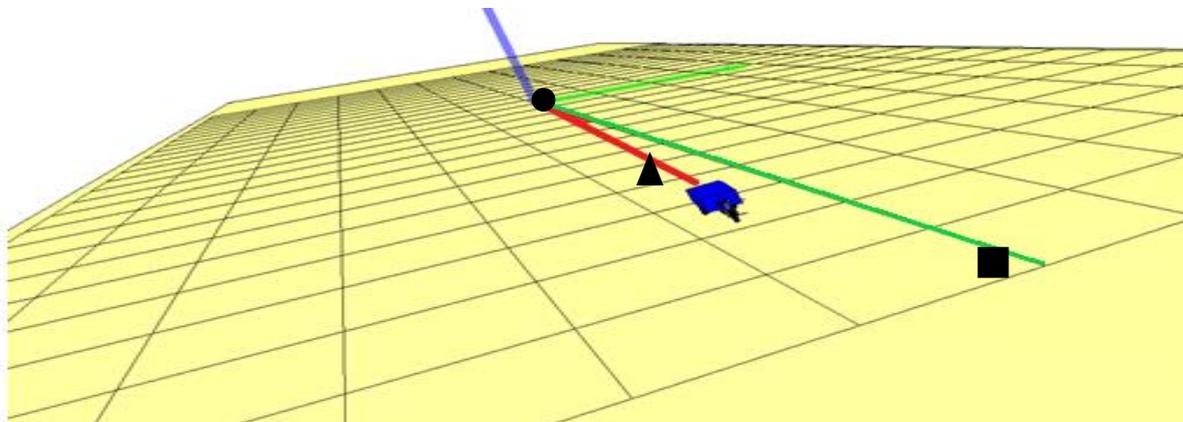


Рисунок 3.5 - Отклонения трицикла без учета стабилизации остова от горизонтали склона крутизной 0.104 рад. (6°)

- - точка начала движения трицикла
- - горизонталь склона
- ▲ - отклонение трицикла от горизонтали склона



Рисунок 3.6 – График отклонения трицикла без учета стабилизации остова от горизонтали склона крутизной 0.104 рад. (6°)

На рисунке 3.5-3.6 изображены результаты имитационного моделирования движения трицикла без стабилизации остова на склоне 0.104 рад. Моделирование наглядно показывает изменение траектории движения трицикла, произвольно меняющего направления, нарушая прямолинейность

движения. Таким образом, отклонения от заданного курса движения в конце пути составили 3.7 м.

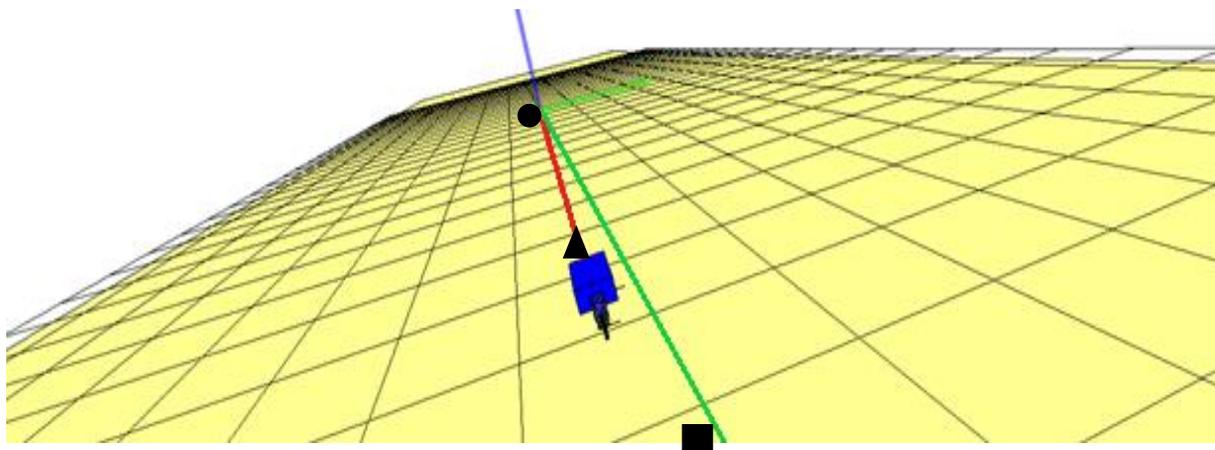


Рисунок 3.7 – Отклонения трицикла от горизонтали склона крутизной 0.104 рад., (6°), с наклоном остова в сторону возвышенности склона на 0.052 рад. (3°)

- - точка начала движения трицикла
- - горизонталь склона;
- ▲ - отклонение трицикла от горизонтали склона.



Рисунок 3.8 – График отклонения трицикла от горизонтали склона крутизной 0.104 рад., положение остова 0.052 рад., (3°)

На рисунке 3.7-3.8 изображены результаты имитационного моделирования движения трицикла со стабилизацией остова на склоне 0.104

рад. Моделирование наглядно показывает, что при выравнивании остова трицикла на 0.052 рад., в сторону возвышенности склона, отклонения от заданной горизонтали склона уменьшаются и трицикл движется близко к прямолинейной траектории. Таким образом, отклонения от заданного курса движения в конце пути составили 1.5 метра.

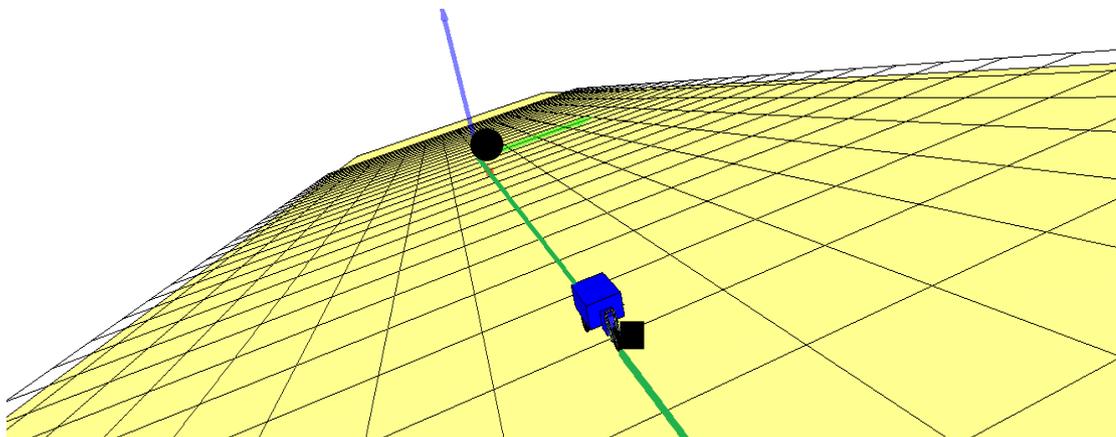


Рисунок 3.9 - Отклонения трицикла с учетом стабилизации остова от горизонтали склона крутизной 0.104 рад. (6°)

● - точка начала движения трицикла

■ - горизонталь склона.



Рисунок 3.10 - График отклонения трицикла от горизонтали склона. Угол склона 0.104 рад., (6°) Положение остова вертикальное.

На рисунке 3.9-3.10 изображены результаты имитационного моделирования движения трицикла со стабилизацией остова на склоне 0.104 рад. Моделирование наглядно показывает, что при сохранении вертикальности остова трицикла отклонения от заданной горизонтали склона уменьшаются и трицикл движется близко к прямолинейной траектории. Таким образом отклонения трицикла с сохранением вертикальности остова от заданного курса движения в конце пути составили 0.5 м.

Движение трицикла по склону является крайне опасным. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов вызывают отклоняющий момент, который в свою очередь ухудшает курсовую устойчивость и трицикл отклоняется от заданного курса движения. Эффективным способом борьбы со сползанием трицикла вниз по склону является наклон его кузова в сторону возвышенности склона.

Так через 12.5 с. после начала движения объекта с естественным положением остова на склоне крутизной 0.204 рад. со скоростью $V = 4$ м/с, т.е. через 50 метров пути, по данным имитационного моделирования отклонения от заданного курса в конце пути составляют 7.5 м. При вертикальном положении остова отклонения от заданного курса составляют 2 м.

Отсюда можно сделать вывод, что отклонения трицикла от заданной горизонтали склона уменьшаются при сохранении вертикальности остова, тем самым повышается его курсовая устойчивость.

3.5 Результаты имитационного моделирования курсового движения трицикла вдоль заданных горизонталей склона.

Приведены результаты имитационного моделирования движения трицикла с наклоняющимся остовом при движении вдоль горизонталей склона.

Таблица 3.1 Отклонения исследуемого трицикла с фиксированным рулевым управлением от заданной горизонтали имитируемого склона крутизной 0.209 рад. (12°)

Угол наклона остова	Отклонение трицикла от заданной горизонтали имитируемого склона крутизной 0.209 рад.										
	Заезды	Пройденное расстояние (м)									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Отклонения трицикла от заданного курса движения (м)										
Естественное положение остова 12°	1	0.5	1	1.5	2	2.6	3.4	4.3	5.4	6.4	7.5
Положение остова 6°	2	0.3	0.7	1	1.5	1.8	2.2	2.6	3	3.4	4
Положение остова вертикальное	3	0.1	0.3	0.6	0.7	1	1.2	1.5	1.7	1.8	2
Положение остова -5°	4	-	0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.5	-1.8	-2.3
Положение остова -10°	5	-0.4	-0.8	-1.3	-1.9	-2.5	-3	-3.6	-4	-4.5	-5

Таблица 3.2 Отклонения трицикла с фиксированным рулевым управлением от заданной горизонтали имитируемого склона крутизной 0.104 рад. (6°)

Угол наклона остова	Отклонение трицикла от заданной горизонтали имитируемого склона крутизной 0.104 рад.										
	Заезды	Пройденное расстояние									
		5м.	10м.	15м.	20м.	25м.	30м.	35м.	40м.	45м.	50 м.
	Отклонения трицикла от заданного курса движения (м)										
Естественное положение остова 6°	1	0.2	0.5	0.9	1.2	1.7	2.1	2.45	2.9	3.35	3.7
Положение остова 3°	2	0.1	0.2	0.35	0.55	0.64	0.8	1	1.23	1.4	1.5
Положение остова вертикальное	3	0.1	0.15	0.2	0.28	0.39	0.42	0.46	0.5	0.52	0.5
Положение остова -5°	4	0	-0.2	-0.6	-1	-1.3	-1.62	-2	-2.4	-2.7	-3
Положение остова -10°	5	-0.7	-1.3	-1.9	-2.5	-3	-3.51	-4	-4.5	-5	-5.5

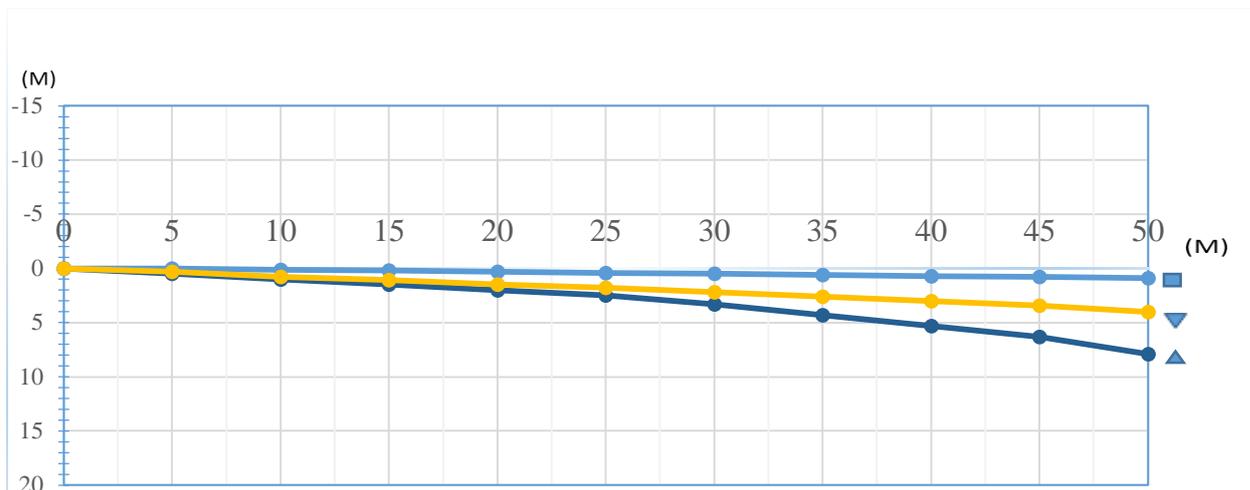


Рисунок 3.11– Отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.204 рад. (Результаты имитационного моделирования).

- -положение остова трицикла вертикальное
- ▼ - угол наклона остова трицикла 0.104 рад.
- ▲ - естественные положения остова трицикла

На рисунке 3.11 изображены результаты имитационного моделирования, отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.204 рад., проведённых для трех значений угла наклона остова.

Как видно из рисунка 3.11 трицикл произвольно меняет направление, нарушая прямолинейность движения, происходит сползание вниз по склону. При этом исключен поворот управляемого переднего колеса, то есть трицикл движется с зафиксированным рулевым управлением.

Прослеживается четкая тенденция, отклонения от заданной горизонтали склона уменьшаются при выравнивании остова трицикла. Так через 12.5 с после начала движения объекта с естественным положением остова на 12° склоне со скоростью $V = 4$ м/с, т.е. через 50 метров пути, по данным имитационного моделирования отклонения от заданного курса в конце пути составляют 7.5 м. При вертикальном положении остова отклонения от заданного курса составляют 2 м.

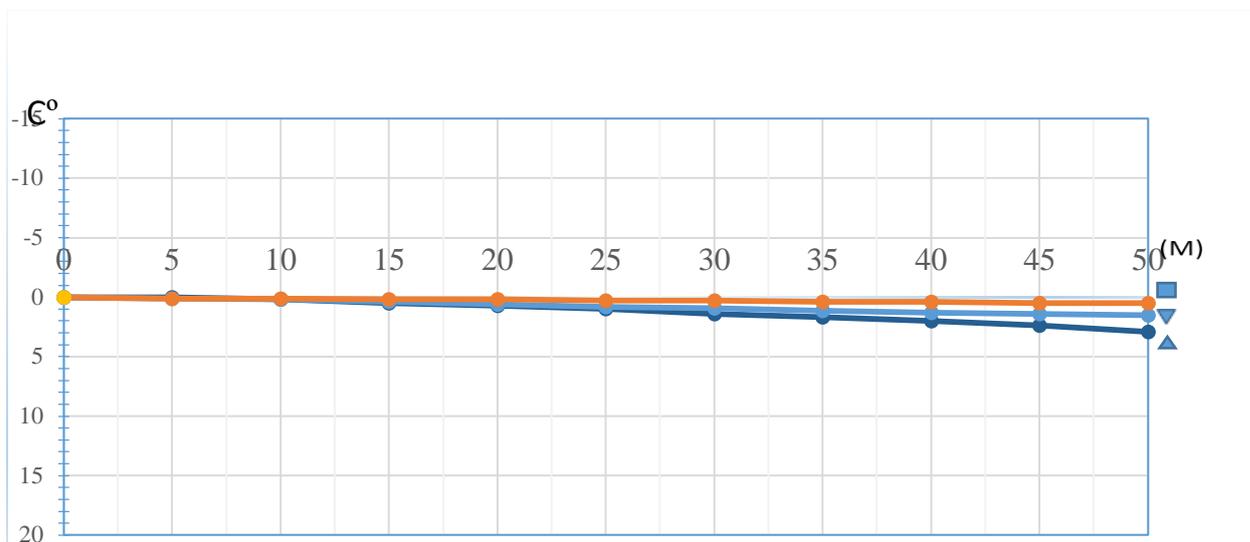


Рисунок 3.12 - Отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.104 рад. (Результаты имитационного моделирования).

- - положение остова трицикла вертикальное
- ▼ - угол наклона остова трицикла 0.052 рад.
- ▲ - естественные положения остова трицикла 0.104 рад.

На рисунке 3.12 изображены результаты имитационного моделирования, отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.104 рад., проведённых для трех значений угла наклона остова.

Как видно из рисунка 3.12 трицикл произвольно меняет направление, нарушая прямолинейность движения, происходит сползание вниз по склону.

При этом исключен поворот управляемого переднего колеса, то есть трицикл движется с зафиксированным рулевым управлением. Прослеживается четкая тенденция, отклонения от заданной горизонтали склона уменьшаются при выравнивании остова трицикла. Так через 12.5 с после начала движения объекта с естественным положением остова на 6° склоне со скоростью $V = 4$ м/с, т.е. через 50 метров пути, по данным имитационного моделирования отклонения от заданного курса в конце пути составляют 3.7 м. При вертикальном положении остова отклонения от заданного курса составляют 0.5 м.

Исходя из результатов проведенного анализа имитационного моделирования, можно сделать вывод, что в случае движения трицикла в

поперечном направлении склона, смещения его центра масс в сторону возвышенности склона (выравнивания остова) эффективно влияет на повышение курсовой устойчивости трицикла. Таким образом, отклонение объекта от заданного курса движения уменьшаются при сохранении вертикальности остова трицикла. Теоретические предположения были подтверждены полученными в ходе исследований результатами вычислительного эксперимента.

3.6 Моделирование устойчивости движения трицикла с наклоняющимся остовом по боковому опрокидыванию на склоне

В процессе вычислительного эксперимента устойчивости движения трицикла по опрокидыванию на склонах 0.437 рад, 0.472 рад., 0.779 рад. записывались:

- перемещение по оси X (м);
- затраченное время в процессе движения t (с);
- отклонение от заданного курса движения по оси Y (м);

В одних условиях каждое испытание проводилось с различным углом наклона остова на склонах различной крутизны. Таким образом, для трех склонов было смоделировано три процесса движения трицикла на склоне без учета стабилизации и со стабилизацией остова, по результатам исследования построены соответствующие графики.

Для определения критического угла косогора, для пребывания и прямолинейного движения трицикла проводилось имитационное моделирование поперечного движение трицикла на склонах. В ходе проведения моделирования определялся момент отрыва колеса от опорной поверхности и критический угол косогора, при котором происходит

опрокидывание трицикла и возможность влияния стабилизацией остова на устойчивость против опрокидывания.

На фотографиях изображены: физическая модель трицикла, графики отклонения модели от горизонтали склона и момент опрокидывания трицикла.

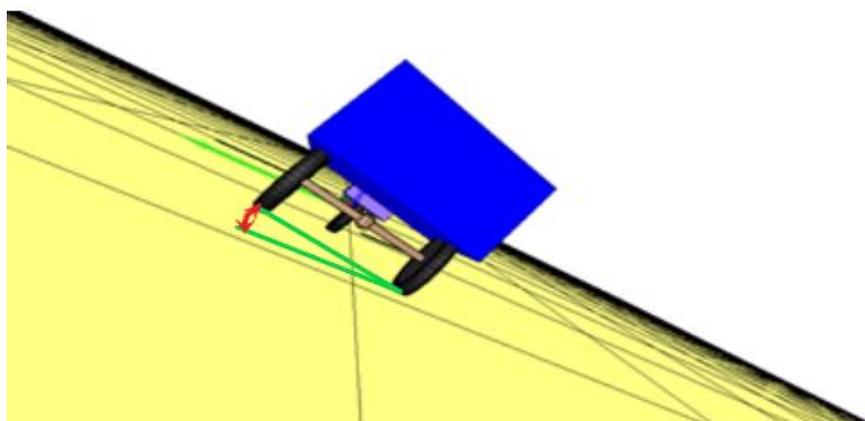


Рисунок 3.13 – Неустойчивое движение трицикла без стабилизации остова на склоне крутизной 0.437 рад. (25°) с моментами отрыва колеса от опорной поверхности.



Рисунок 3.14- График неустойчивого движение трицикла на склоне крутизной 0.437 рад., (25°) с моментами отрыва колеса от опорной поверхности.

- - отрыв верхнего по склону колеса задней оси от опорной поверхности
- - возвращение верхнего по склону колеса задней оси трицикла на опорную поверхность.

На рисунке 3.14 модель трицикла приводится в движения и двигается по имитируемому склону крутизной 0.437 (25°). В начале моделирования появляется нестабильное движение трицикла с отрывом верхнего по склону колеса задней оси и возвращением обратно на опорную поверхность. После чего как видно из рисунка 3.14 через 7-8 метров, движение нормализуется и трицикл движется с существенным отклонением от заданной горизонтали вниз по склону.

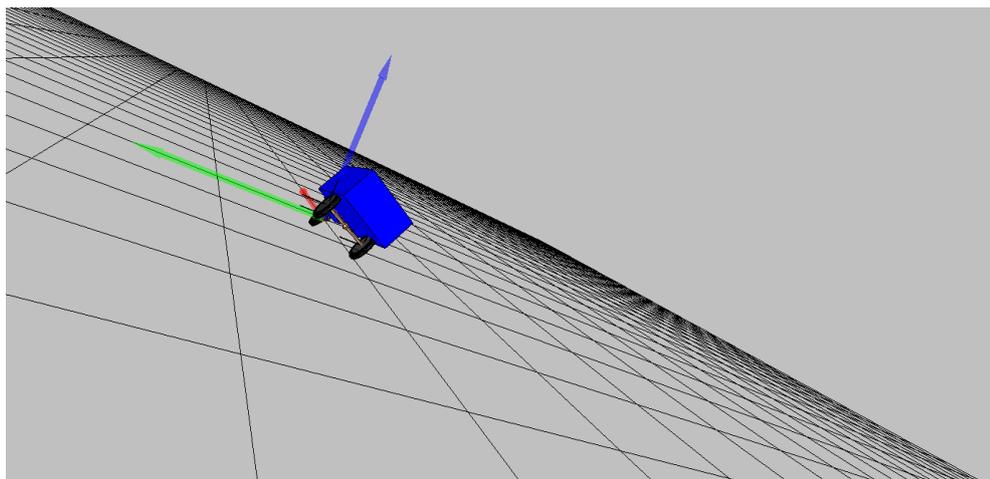


Рисунок 3.15 - Момент отрыва колеса трицикла от опорной поверхности имитируемого склона крутизной 0.472 рад., (27°)

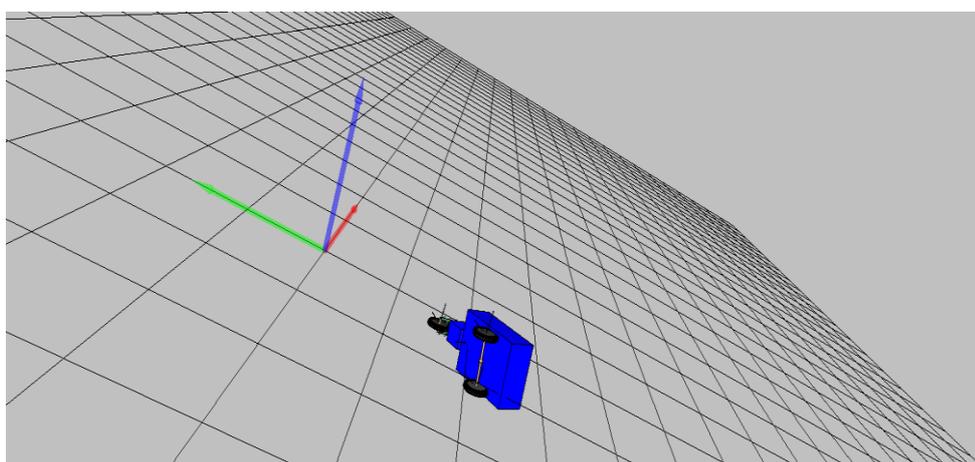


Рисунок 3.16- Поперечное опрокидывание трицикла без стабилизации остова на склоне крутизной 0.472 рад., (27°)

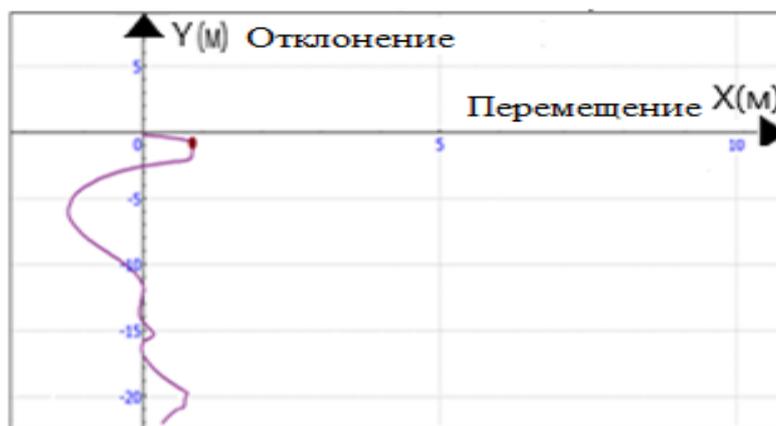


Рисунок 3.17- График траектории опрокидывания трицикла на склоне крутизной 0.472 рад., (27°)

● - начало опрокидывания трицикла.

На рисунке 3.15-3.17 показано моделирование движения трицикла на склоне 0.472 рад., (27°) которое показало, что после начала движения, трицикл находится в состоянии неустойчивого равновесия, которое привело к отрыву верхнего по склону колеса задней оси от опорной поверхности и через 1 метр пути наступило опрокидывание транспортного средства. На рисунке 3.17 приведен график начала и траектории опрокидывания трицикла.

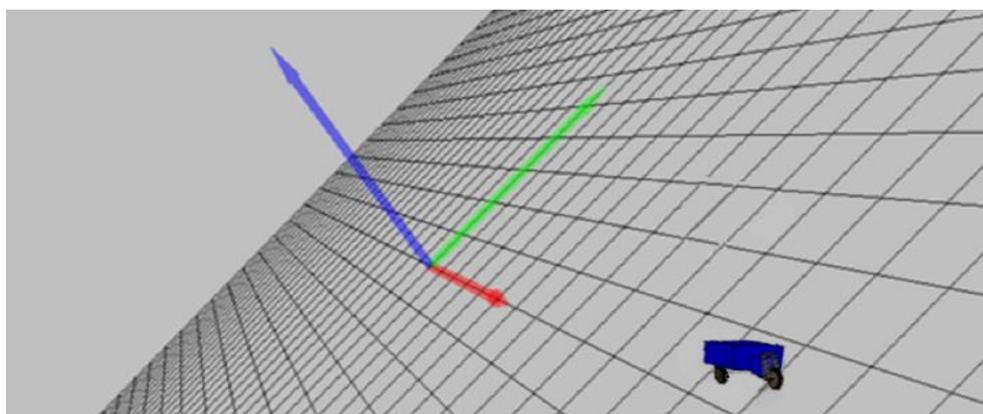


Рисунок- 3.18- Движение трицикла со стабилизацией остова на склоне крутизной 0.779 рад., (45°) без опрокидывания.



Рисунок 3.19- График траектории движения трицикла со стабилизацией остова на склоне 0.779 рад., (45°) без опрокидывания

В процессе исследования моделирование показало эффективность стабилизации остова трицикла на склоне, с целью повышения устойчивости против опрокидывания, так при сохранении вертикальности остова трицикла на склоне объект может уже прибывать и двигаться без поперечного опрокидывания на склонах до 0.779 рад., (45°) (рис. 3.18-3.19).

Определен критический угол косогора, на котором происходит поперечное опрокидывание трицикла. Моделирование показало, что критический угол косогора по опрокидыванию для трицикла без стабилизации остова составил 0.472 рад. (27°), а также возможность влияния на повышение устойчивости против опрокидывания стабилизацией остова.

При взаимодействии шины трицикла с опорной поверхностью, на показатели его устойчивости могут повлиять силы и моменты, действующие на колесо со стороны опорной поверхности.

В разработанной модели взаимодействия шины с опорной поверхностью вычисление сил и моментов, действующих на колесо со стороны дороги реализовалось в программном комплексе (ПК) «Универсальный механизм» (рис. 3.20)

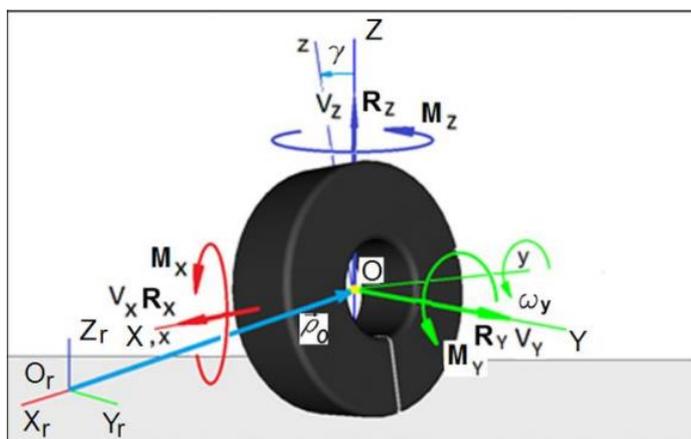


Рисунок 3.20 – Динамическая модель шины в ПК «Универсальный механизм»

В модели колеса использовались две системы координат: подвижная прямоугольная система координат (ПСК) $OXYZ$, где начало приводится в центр эластичного колеса;

неподвижная прямоугольная система координат (НСК) $O_r X_r Y_r Z_r$, связанная непосредственно с дорогой.

Кинематические параметры исследуемой модели колеса при взаимодействии с опорной поверхностью включали: радиус-вектор центра колеса, проекции скорости V_x , V_y , V_z ; векторные величины характеризующие быстроту вращения колеса ω_y , ω_x (рис. 3.21).

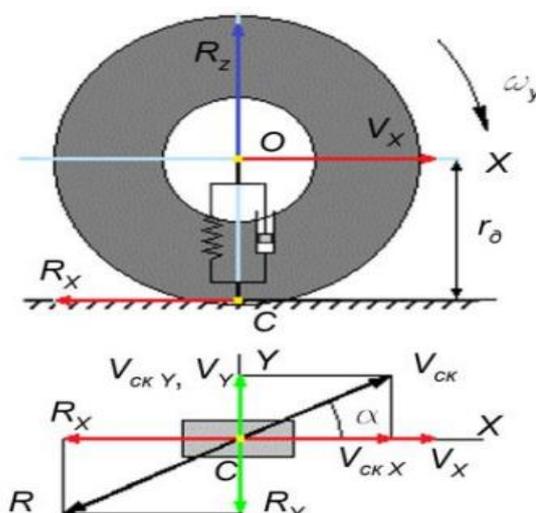


Рисунок 3.21 – Схема модели взаимодействия шины с опорной поверхностью.

Здесь R_Z, R_X, R_Y - реакции дороги;

V_{CK} - скорость скольжения колеса;

r_∂ - динамически радиус колеса.

Вертикальные реакции вычисляются по упругой-вязкой модели [18]:

$$R_Z = P_{Z_st} \cdot \left(\frac{h_z}{h_{z_st}} \right)^{1.5} - b_Z \cdot V_Z, \quad (3.1)$$

P_{Z_st} - статическая нагрузка на колесо, h_z - нормальный прогиб шины, h_{z_st} - статический прогиб шины, b_Z - коэффициент линейного - вязкого сопротивления шины в вертикальном направлении.

Величину силы в плоскости дороги определяют по зависимости [18]

$$R = \mu_s(S_k) \cdot R_Z, \quad (3.2)$$

здесь S_k - коэффициент скольжения; $\mu_s(S_k)$ - коэффициент взаимодействия колеса с опорной поверхностью.

Коэффициент скольжения определяется по формуле [18]

$$S_k = \frac{V_{CK}}{\omega_y \cdot r_{kc}}, \quad (3.3)$$

здесь r_{kc} - радиус качения колеса в свободном режиме.

Скорость скольжения определяется как: [18]

$$V_{CK} = \sqrt{V_{ckX}^2 + V_{ckY}^2}; \quad (3.4)$$

$$V_{CK}Y = V_Y - \omega_x \cdot r_\partial; \quad (3.5)$$

$$V_{CK}X = V_X - \omega_y \cdot r_{kc}. \quad (3.6)$$

Составляющие вектора силы действующие в плоскости дороги определяются как:

$$R_X = -R \cdot \cos \alpha; \quad (3.7)$$

$$R_Y = -R \cdot \sin \alpha. \quad (3.8)$$

Моменты действующие на движитель определяются по следующим формулам: [18]

$$M_X = R_Y \cdot r_\partial - R_Z \cdot r_\partial \cdot \frac{\sin(\gamma)}{\cos(\gamma)}; \quad (3.9)$$

$$M_Y = -R_X \cdot r_\partial + M_f; \quad (3.10)$$

$$M_Z = 0, \quad (3.11)$$

здесь M_f – момент сопротивления качению колеса

Аналогичная модель взаимодействия шины с опорной поверхностью рассматривается в работе [18]. Автором отмечено, что разработанная модель дает возможность оценивать свойства исследуемого объекта по управляемости и устойчивости, а также полученные результаты расчета свидетельствуют об адекватном физическом поведении модели [18].

Выводы по главе 3

1. Проведено имитационное моделирование движения трицикла с наклоняющимся остовом на склонах. Исследованы процессы движения трицикла на склонах различной крутизны с различным углом наклона остова.
2. Установлено, что сохранение вертикальности остова трицикла при движении в поперечном направлении склона существенно уменьшает отклонения от заданной горизонтали склона, а также повышает устойчивость против опрокидывания.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРИЦИКЛА С НАКЛОНЯЮЩИМСЯ ОСТОВОМ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВДОЛЬ ЗАДАННЫХ ГОРИЗОНТАЛЕЙ СКЛОНА

4.1. Цели проведения экспериментальных исследований

Основной задачей натуральных испытаний трицикла с наклоняющимся остовом на курсовую устойчивость при движении в поперечном направлении склона, является проверка эффективности наклона остова в сторону возвышенности склона с целью достижения максимальной курсовой устойчивости трицикла, а также проверка адекватности математической и физической модели курсового движения трицикла.

Цели экспериментальных исследований заключаются в следующем:

- оценка возможности использования системы стабилизации остова трицикла, способного обеспечить устойчивое курсовое движение по склонам;
- сравнение показателей курсовой устойчивости движения трицикла вдоль горизонталей склона, со стабилизацией и без стабилизации остова;
- оценка возможности обеспечения максимальной курсовой устойчивости трицикла за счет стабилизирующего момента, вызванного уменьшением разности нормальных нагрузок по бортам, за счет сохранения вертикальности остова трицикла на склоне;
- получения экспериментальных данных для определения правильности математической и физической моделей курсового движения трицикла на склоне.

4.2 Содержание работы

В период подготовки и проведения натуральных испытаний производились следующие работы:

- определялось вертикальное и горизонтальное положение координат центра масс трицикла относительно точек контакта с опорной поверхностью;
- выбирались склоны с травянистым покровом до 5 см.;
- расставлялись отметки горизонталей склонов;
- фиксировалось положения рулевой колонки в определённом положении;
- настраивалось и подключалось оборудование для фиксации и записи данных.

4.3. Объект испытаний и его техническая характеристика

В качестве объекта испытаний использован трицикл XY250ZH китайского производства (трехколесный мотоцикл с передним управляемым колесом и симметрично расположенными задними ведущими колесами), за остов принята часть несущей системы трицикла вместе с передним управляемым колесом и грузовой платформой, с возможностью поворота относительного заднего моста в перпендикулярной, относительно направления движения плоскости.

В технической характеристике объекта испытаний указаны следующие данные:

- рабочий объем двигателя = 229,2 см³;
- габаритные размеры = 3240×1285×1030 мм;
- ширина колеи $B = 1.0$ м;
- продольная база $L = 2,05$ м;
- расстояние от центра тяжести до передней оси $l_n = 1,53$ м;
- расстояние от центра тяжести до задней оси $l_z = 0,52$ м;
- высота центра масс $h = 0.73$ м;
- вес колёсной машины $m = 351$ кг;
- максимальная нагрузка не более = 400 кг;
- давления в шинах колес (атм.): передней 2;

давления в шинах колес (атм.): задних 2,5;

размер передней шины = 3.50-16;

размер задней шины = 5.00-12.

4.4. Программа и методика испытаний

Программа испытаний включает в себя определение следующих параметров:

- определение отклонений трицикла от заданной горизонтали склона;
- влияние наклона остова трицикла в сторону возвышенности склона на повышение курсовой устойчивости при движении в вдоль заданных горизонталей склона.

В связи с тем, что определяемые в ходе испытаний параметры разноплановы, для их экспериментального исследования потребовались специальные методики испытаний, которые были разработаны в процессе работы над настоящей диссертацией.

4.5. Методика определения центра масс трицикла.

Оценка устойчивости машины является важной задачей и для ее определения необходимо знать некоторые параметры. Часть таких параметров как, величина колеи, база радиусы, колес и т.д. определяется замерах. Одним из важных параметров от которого напрямую зависит устойчивость машины является координаты центра масс (ЦМ) относительно точек контакта ее с опорной поверхностью и высотой над опорной поверхностью.

Определения положения центра масс возможно на стадии проектирования при помощи, компьютерной техники которая позволяет рассчитать результаты с высокой точностью, а также аналитическим

способом определения координат центра масс, однако такой способ является довольно громоздким.

Для тех машин, которые уже произведены, координаты положения центра тяжести рекомендуется выполнять в соответствии с ГОСТ 30570-2001 «Определение положения центра тяжести» [Цит. по 144].

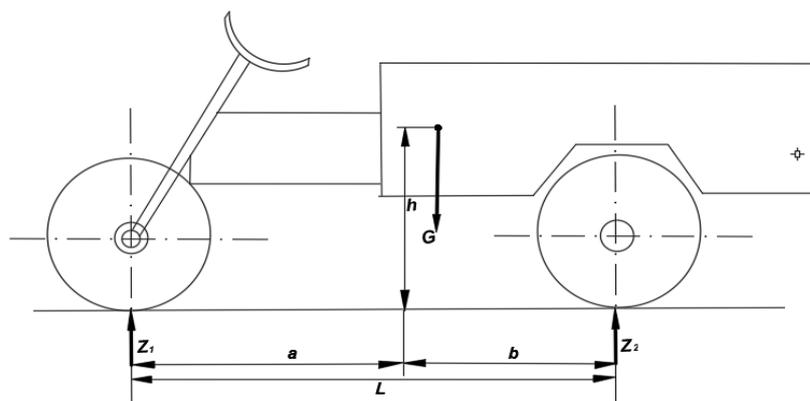
«Сутью методики определения координат ЦТ машины в соответствии с ГОСТ 30570-2001 является рассмотрение условия ее равновесия при различном положении относительно опорной поверхности» [Цит. по 144].

Руководствуясь данной методикой в соответствии с ГОСТ 30570-2001 «Определение положения центра тяжести» по нахождению положения центра масс у исследуемого объекта необходимо определить нормальные реакции опорной поверхности, приходящиеся на задние колеса трицикла и переднее управляемое колесо в различных положениях, базу, статистический радиус колес.

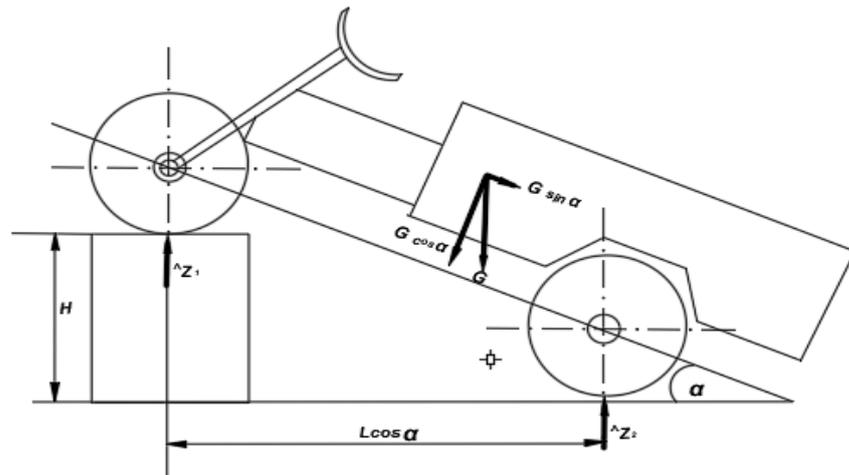
Для трицикла находящегося на горизонтальной опорной поверхности из уравнений моментов относительно точек контакта колес с дорогой необходимо найти:

$$\begin{aligned} Z_1 L - G b &= 0 & Z_2 L - G a &= 0 \\ a &= Z_2 L / G & b &= Z_1 L / G \end{aligned}$$

где a , b - расстояние от проекции центра масс на опорную плоскость до проекции передней и задней оси на ту же плоскость соответственно; L - база автомобиля (расстояние между его осями), $L = a + b$.



a



б

Рисунок 4.1- Схемы к определению центра масс трицикла:

а - на горизонтальной опорной поверхности; б - на наклонной опорной поверхности.

Для определения высоты расположения центра масс, относительно опорной поверхности, было составлено уравнения моментов наклонённого трицикла (рис. 4.1 б) относительно передней оси:

$$a \cdot G \cos a + h_o G \sin a = Z'_2 L \cos a, \quad (4.1)$$

откуда

$$h_o = (Z'_2 - Z_2) L / G \tan a, \quad (4.2)$$

где h_o - расстояние от центра масс до плоскости проходящей через оси автомобиля ; Z'_2 - нормальная реакция на заднее колесо наклонённого трицикла; α - угол наклона к горизонтальной плоскости; H - высота подставки под переднее колесо.

Высота расположения центра масс была определена как

$$h = h_o + r_c, \quad (4.3)$$

где r_c - статистический радиус колеса

В соответствии с этой методикой, для определения координат центра масс а, б трицикл устанавливался на весы передними и задними колесами, после чего определились реакции на колеса от опорной поверхности вызванные весом самого трицикла (рисунок 4.2)



Рисунок 4.2- Определение реакций от опорной поверхности на шины трицикла

Для определения вертикальной координаты центра тяжести h колесо передней оси трицикла было поднято над опорной поверхностью на угол $\alpha=0.262$ рад. (рис. 4.3)

Вследствие наклона трицикла относительно опорной поверхности на угол $\alpha=0.262$ рад. происходит смещения центра масс относительно передней и задней оси трицикла в горизонтальной плоскости. Смещение центра масс трицикла вызывает перераспределение масс между осями трицикла, которое в свою очередь влияет на расположение горизонтальной координаты центра масс. Вертикальная координата центра масс h определяется из условия равенство моментов сил наклонённого трицикла относительно передней оси, заранее определив реакцию Z_2^I приходящуюся на заднее колесо наклонённого трицикла расположенного на платформе весов.



Рисунок 4.3-Определение вертикальной координаты центра масс трицикла.

Полученные в результате измерений и расчетов данные, занесены в таблицы 4.1-4.3.

Таблица 4.1 – Определение нормальных реакций на колесах трицикла

Развесовка трицикла по осям в порожнем состоянии.			
Естественное положение остова трицикла		Наклон остова трицикла в право на 15°	Наклон остова трицикла влево на 15°
Вес на переднюю ось	93кг.	93кг.	93кг.
Вес на заднее левое колесо	132кг.	116кг.	143кг.
Вес на заднее правое колесо	126кг.	142кг.	115кг.
Масса трицикла: 351 кг.			
Развесовка трицикла по осям в груженом состоянии.			
Естественное положение остова трицикла		Наклон остова трицикла в право на 15°	Наклон остова трицикла влево на 15°
Вес на переднюю ось	147кг.	147кг.	147кг.
Вес на заднее левое колесо	154кг.	134кг.	175кг.
Вес на заднее правое колесо	144кг.	164кг.	123кг.
Масса трицикла: 445 кг.			

Таблица 4.2 – Определение нормальных реакций на задние колеса наклонённого трицикла

Развесовка наклоненного трицикла относительно передней оси в порожнем состоянии. Угол наклона трицикла относительно горизонтальной плоскости 0.262 рад.,15°.	
В порожнем состоянии .	
Вес на левое колесо	150кг.
Вес на правое колесо	143кг.
В груженом состоянии .	
Вес на левое колесо	171кг.
Вес на правое колесо	169кг.

Таблица 4.3 – Координаты центра масс трицикла

Координаты центра масс трицикла		
Горизонтальная координата ЦМ , мм	Горизонтальная координата ЦМ , мм	Вертикальная координата ЦМ, мм
A	b	h
1.53	0.52	0.73

1.6 Методика экспериментальных исследований.

С точки зрения экономичности, снижения стоимости и металлоёмкости конструкции, возрос интерес к малым транспортным средствам. Интересны в этом отношении и трициклы (трехколесные мотоциклы). Однако у трициклов классической конструкции есть серьезный недостаток – малая устойчивость.

У них меньшая площадь опоры по сравнению с четырехколесными транспортными средствами – автомобилями, квадрациклами. Кроме того, посадка мотоциклиста «верхом» при относительно небольшом весе трицикла приводит к более высокому расположению центра масс системы человек-машина.

Следует особо отметить, что трициклы с наклоняющимся кузовом более устойчивые при движении по склонам и в поворотах, их можно создавать на базе существующих конструкций путем изменения геометрии конструкции. Это позволит в свою очередь создавать доступные, дешевые, экономичные в эксплуатации и надежные трехколесные машины.

Кроме того, сохранение вертикальности остова, как на равнине повысит его устойчивость против опрокидывания, уменьшит буксования и сползание вниз по склону, что очень важно в условиях горной эксплуатации.

Учитывая эти факторы, можно предполагать, что трициклы с наклоняющимся кузовом будут очень востребованы.

На автомобильном факультете Горского Аграрного Университета ведутся работы по созданию такого трицикла.

Однако, каковы бы ни были теоретические предположения, только практика может показать, насколько они обоснованы. Поэтому экспериментальные исследования являются обязательной частью нашей научной работы.

Для проведения испытаний были подготовлены: объект исследования, цифровая измерительная система Zet-lab 230 с датчиком положения и датчиком ускорения и два склона.

Объектом исследований является трицикл классической компоновки XY250ZH китайского производства, на котором смонтирован механизм наклоняющий кузов трицикла относительно ведущего моста влево и вправо (рис. 4.4). Это позволяет повысить устойчивость трицикла против опрокидывания на склонах.



Рисунок 4.4 - Сохранение вертикального положения остова трицикла на склоне

Испытания проводились в РСО-Алания в селении Балта. Для испытаний были подготовлены два склона крутизной 0.104 рад. (6°), (50x20) и 0.209 рад. (12°), (50x20) где были размечены горизонтальности склона с использованием нивелира (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 - Разметка горизонтали склона с использованием нивелира

Во время испытаний температура воздуха составляла $+20^{\circ}$, высота травяного покрова достигала до 5 см.

Испытания проводились для пяти значений угла наклона кузова, для 12° склона: естественный наклон кузова 12° ; 6° ; 0° ; -5° ; -10° . Для 6° склона: естественные положения кузова 6° ; 3° ; 0° ; -5° ; -10° . Для каждого из углов наклона кузова проводилось по 7 заездов. Всего на каждом склоне получилось по 35 заездов (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Заезд трицикла вдоль горизонталей склона

Трицикл, с жестко фиксированным положением руля (рис. 4.7), ставился в исходное положение, разгонялся и двигался по склону протяженностью 50 м., вдоль заданной горизонтали, но с каждым метром его движения происходило отклонение от горизонтали склона (рис. 4.8). После

этого трицикл останавливался, выставлялись новые значения параметров и проводился новый заезд. При выравнивании остова трицикла отклонения от горизонтали склона уменьшались.



Рисунок 4.7 - Трицикл с жестко фиксированным положением руля



Рисунок 4.8 – Заезд трицикла на склоне

Через каждые пять метров движения трицикла по склону производился замер отклонения от заданной горизонтали, значения записывались в журнал для испытаний (рис. 4.9)



Рисунок 4.9 - Замер отклонений трицикла от заданной горизонтали склона

Также для фиксации и записи данных испытаний использовалась цифровая измерительная система Zet-lab 230 подключенная к ноутбуку (рис. 4.10-4.11). На трицикл были установлены датчики положения и ускорения. Первый фиксировал наклон кузова, а второй ускорение трицикла (рис. 4.11). Сигналы с датчиков через цифровой преобразователь поступали в ноутбук.



Рисунок 4.10 – Ноутбук с системой Zet-lab230 и датчик положения



Рисунок 4.11 - Датчик ускорения, установленный на трицикл

**1.7 Результаты натуральных испытаний трицикла с
наклоняющимся остовом при движении вдоль горизонталей
склонов**

Таблица 4.4 - Отклонения трицикла от заданной горизонтали склона
крутизной 0.209рад.

Угол наклона остова	Отклонение трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.209 рад.										
	Заезд	Пройденное расстояние									
		5м.	10м.	15м.	20м.	25м.	30м.	35м.	40м.	45м.	50м.
Естественное положение остова 12 °		Отклонение трицикла от заданной горизонтали склона									
	1	60	172	220	380	500	620	780	875	980	1100
	2	53	180	280	420	490	615	760	870	985	1130
	3	67	186	310	460	495	610	750	876	988	1165
	4	61	179	290	400	505	625	765	879	990	1110
	5	68	188	320	430	510	630	780	869	983	1150
	6	73	190	300	450	520	628	770	873	979	1180
	7	65	184	310	420	525	635	790	877	988	1160
Среднее значение		63	182	290	422	506	623	770	874	985	1142
Положение остова 6°	1	50	140	220	300	373	417	550	535	620	650
	2	45	135	205	295	370	410	552	538	600	690
	3	30	130	210	290	368	408	555	540	610	680
	4	40	145	230	298	375	415	558	530	590	620
	5	48	148	235	305	378	420	562	533	615	670
	6	55	150	215	310	382	425	560	543	605	610
	7	60	155	225	315	380	423	553	548	630	685
	Среднее значение		45	143	220	302	375	418	482	538	610
Положение остова 0°	1	35	57	90	150	170	200	255	280	370	280
	2	30	40	95	145	163	195	247	282	360	310
	3	37	36	100	142	173	190	258	285	355	350
	4	39	60	85	153	175	198	250	278	365	300
	5	40	70	80	158	168	205	260	284	375	360
	6	43	75	95	155	177	202	258	275	378	390
	7	38	65	105	165	180	208	265	287	380	330
	Среднее значение		37	58	93	151	172	199	256	281	309
Положение остова -5°	1		10	20	31	40	38	36	35	32	20
	2		8	18	29	38	37	29	30	29	15
	3		15	22	32	39	35	37	35	25	25
	4		12	15	27	37	39	38	36	35	18
	5	-	7	24	33	41	34	41	40	24	23
	6		16	22	31	39	38	40	41	34	18
	7		18	25	35	44	36	33	35	30	27
	Среднее значение		-	13	21	31	40	37	36	36	30
Положение остова -10°	1			-19	-70	-100	-140	-200	-250	-305	-330
	2			-18	-67	-95	-142	-195	-249	-290	-300
	3			-20	-72	-103	-138	-190	-254	-294	-305
	4			-19	-65	-98	-135	-198	-252	-302	-315
	5	-	-	-23	-75	-105	-145	-205	-258	-304	-310
	6			-20	-78	-110	-148	-202	-253	-308	-335
	7			-24	-80	-112	-150	-208	-268	-312	-340
	Среднее значение		-	-	-20	-72	-108	-142	199	-254	-302

Таблица 4.5 – Отклонения трицикла от заданной горизонтали склона
крутизной 0.104 рад.

Угол наклона остова	Отклонение трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.104 рад.										
	Заезд	Пройденное расстояние									
		5м.	10м.	15м.	20м.	25м.	30м.	35м.	40м.	45м.	50м.
Естественное положение остова 6 °	Отклонение трицикла от заданной горизонтали склона										
	1	45	140	235	320	400	510	600	645	700	730
	2	40	138	230	310	395	500	595	640	698	728
	3	43	135	234	312	398	515	590	638	695	725
	4	38	140	228	305	405	490	598	642	690	732
	5	35	144	238	317	402	495	605	647	705	745
	6	42	148	240	335	410	520	610	652	710	750
	7	40	150	245	342	408	515	612	656	708	746
Среднее значение		41	142	236	320	402	507	601	646	701	737
Положение остова 3°	1	20	40	80	120	170	215	245	310	320	350
	2	18	32	75	118	167	208	240	308	318	347
	3	15	30	70	115	173	220	248	312	322	354
	4	22	44	88	124	176	233	250	315	328	358
	5	28	50	92	128	180	237	255	320	333	362
	6	30	55	95	132	185	240	260	325	340	366
	7	25	46	89	125	174	230	238	310	324	352
	Среднее значение		22	42	84	123	175	226	248	314	326
Положение остова 0 °	1	10	19	41	57	77	83	108	126	150	172
	2	8	17	38	40	64	80	90	118	144	165
	3	6	16	36	36	60	75	86	115	135	158
	4	11	18	38	60	81	86	93	124	140	160
	5	13	24	40	70	89	91	102	128	147	170
	6	9	22	42	75	92	100	115	133	158	180
	7	14	27	45	65	83	90	100	130	155	178
	Среднее значение		10	20	40	58	78	86	99	125	147
Положение остова -5 °	1			-20	-50	-90	-100	-120	-150	-170	-190
	2			-10	-30	-50	-92	-100	-130	-140	-180
	3			0	-20	-30	-85	-90	-110	-125	-175
	4	-	-	-30	-60	-90	-102	-110	-120	-140	-160
	5			-20	-50	-60	-90	-100	-115	-130	-155
	6			-20	-40	-110	-118	-125	-160	-175	-200
	7			-30	-60	-120	-125	-130	-165	-180	-210
				-40	-60	-124	-130	-135	-174	-185	-215
Среднее значение		-	-	-24	-52	-96	-120	-130	-160	-181	-212
Положение остова -10 °	1		-20	-60	-90	-142	-180	-220	-280	-305	-320
	2		-16	-40	-80	-138	-170	-200	-270	-290	--305
	3		-23	-65	-100	-145	-175	-205	-280	-300	-310
	4	-	-20	-50	-85	-130	-165	-180	-270	-290	-300
	5		-24	-70	-110	-150	-190	-210	-278	-298	-308
	6		-18	-40	-90	-145	-183	-210	-275	-290	-310
	7		-23	-58	-88	-140	-180	-215	-280	-310	-325
	Среднее значение		-	-20	-49	-91	-141	-177	-205	-276	-297

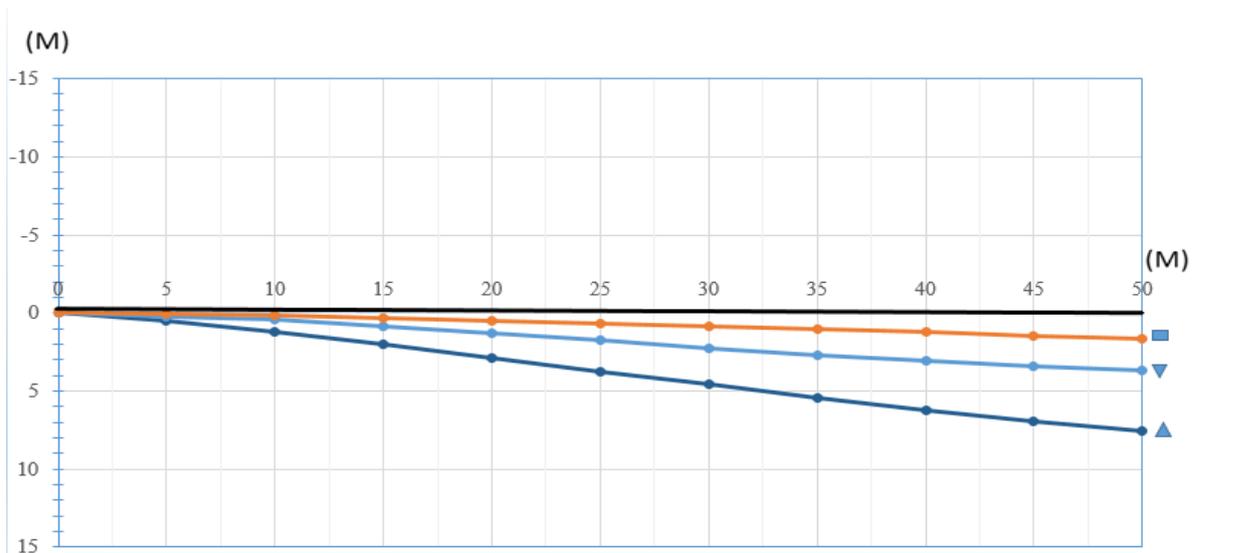


Рисунок 4.12 - Отклонения трицикла от горизонтали склона крутизной 0.104 рад.

- - положение остова трицикла вертикальное
- ▼ - положение остова трицикла 0.052 рад.
- ▲ - естественное положения остова трицикла

На рисунке 4.12 изображены результаты натурных испытаний, отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.104 рад (6°) проведённых для трех значений угла наклона остова.

Как видно из рисунка 4.12 трицикл произвольно меняет направление, нарушая прямолинейность движения, происходит сползание вниз по склону.

При этом исключен поворот управляемого переднего колеса, то есть трицикл движется с зафиксированным рулевым управлением.

Движении трицикла вдоль горизонтали склона вызывает соответствующий углу склона боковой крен, вследствие чего возникает боковая сила перераспределяющая вес между правыми и левыми опорными элементами ходовой части, создающая отклоняющий момент. Также боковой уводом эластичных шин, вызванным поперечной силой, что ведет к его отклонению и от заданного курса. Также на отклонение может повлиять поперечное сложения движителей при недостаточном их сцеплении с опорной поверхностью.

Прослеживается четкая тенденция, отклонения от заданной горизонтали склона уменьшаются при выравнивании остова трицикла. Так через 12.5 с после начала движения объекта с естественным положением остова на 6° склоне со скоростью $V = 4$ м/с, т.е. через 50 метров пути, по данным экспериментального исследования отклонения от заданного курса движения в конце пути составляют 7 м. При вертикальном положении остова отклонения от заданного курса составляют 1.69 м.

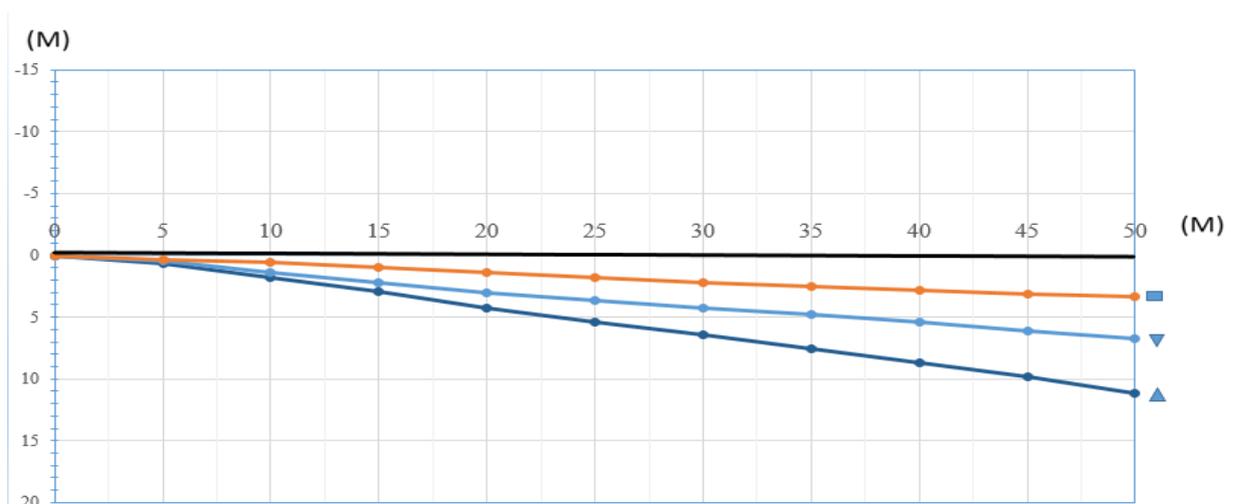


Рисунок 4.13 - Отклонения трицикла от горизонтали склона крутизной 0.209 рад.

- - положение остова трицикла вертикальное
- ▼ - положение остова трицикла 0.104 рад.
- ▲ - естественные положения остова трицикла

На рисунке 4.13 изображены результаты натурных испытаний, отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.209 рад. (12°), проведённых для трех значений угла наклона остова.

Как видно из рисунка 4.13 трицикл произвольно меняет направление, нарушая прямолинейность движения, происходит сползание вниз по склону.

При этом исключен поворот управляемого переднего колеса, то есть трицикл движется с зафиксированным рулевым управлением. Движению трицикла вдоль горизонтали склона вызывает соответствующий углу склона боковой крен, вследствие чего возникает боковая сила перераспределяющая

вес между правыми и левыми опорными элементами ходовой части, создающая отклоняющий момент.

Прослеживается четкая тенденция, отклонения от заданной горизонтали склона уменьшаются при выравнивании остова трицикла. Так через 12.5 с после начала движения объекта с естественным положением остова на 12° склоне со скоростью $V = 4$ м/с, т.е. через 50 метров пути, по данным экспериментального исследования отклонения от заданного курса в конце пути составляют 11.4 м. При вертикальном положении остова отклонения от заданного курса составляют 3.31 м.

Выводы по главе 4

1. В ходе проведения экспериментальных исследований были получены и проанализированы результаты эксперимента, которые показали, что смещения центра масс в сторону возвышенности склона от продольной оси трицикла с сохранением вертикальности остова трицикла, эффективно влияет на повышение курсовой устойчивости на склоне.
2. Результаты выполненных исследований позволят оптимизировать параметры трицикла при движении вдоль горизонталей склонов за счет обоснованного выбора углов наклона остова трицикла, с целью достижения максимальной курсовой устойчивости транспортного средства.
3. Установлено, что расхождения результатов аналитических решений, экспериментальных данных и не превышает 10 %, что является допустимы.

ГЛАВА 5. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТИМАТИЧЕСКОГО, ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРИЦИКЛА С НАКЛОНЯЮЩИМСЯ ОСТОВОМ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ПОПЕРЕЧНОМ НАПРАВЛЕНИИ СКЛОНА

1.1 Анализ результатов проведённых исследований курсовой устойчивости трицикла

Приведены и сопоставлены результаты аналитических решений, экспериментальных данных и данных имитационного моделирования, отклонений трицикла от заданных горизонталей склонов различной крутизны с различным углом наклона остова.

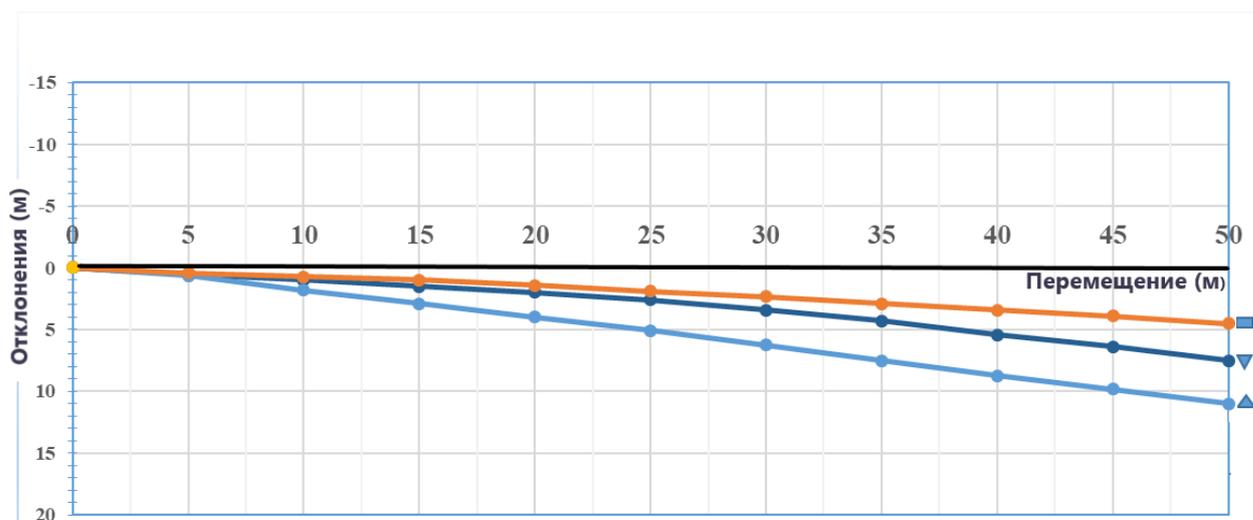


Рисунок 5.1 - Отклонения трицикла без стабилизации остова от заданной горизонтали склона крутизной 0.209 рад., (12°)

- - отклонение трицикла (имитационное моделирование)
- ▼ - отклонение трицикла (математическое моделирование)
- ▲ - отклонение трицикла (натурные испытания)

На рисунке 5.1 приведены результаты аналитических решений, экспериментальные данные и данные имитационного моделирования. Как

видно из рисунка 5.1 отклонения трицикла от горизонтали с естественным положением остова на склоне 0.209 рад., по данным имитационного моделирования в конце пути составляют 7.5 м. Отклонения трицикла по результатам математического расчет в конце пути составляют 4.3 м. Отклонения трицикла по экспериментальным данным составляют в конце пути $11,4$ м.

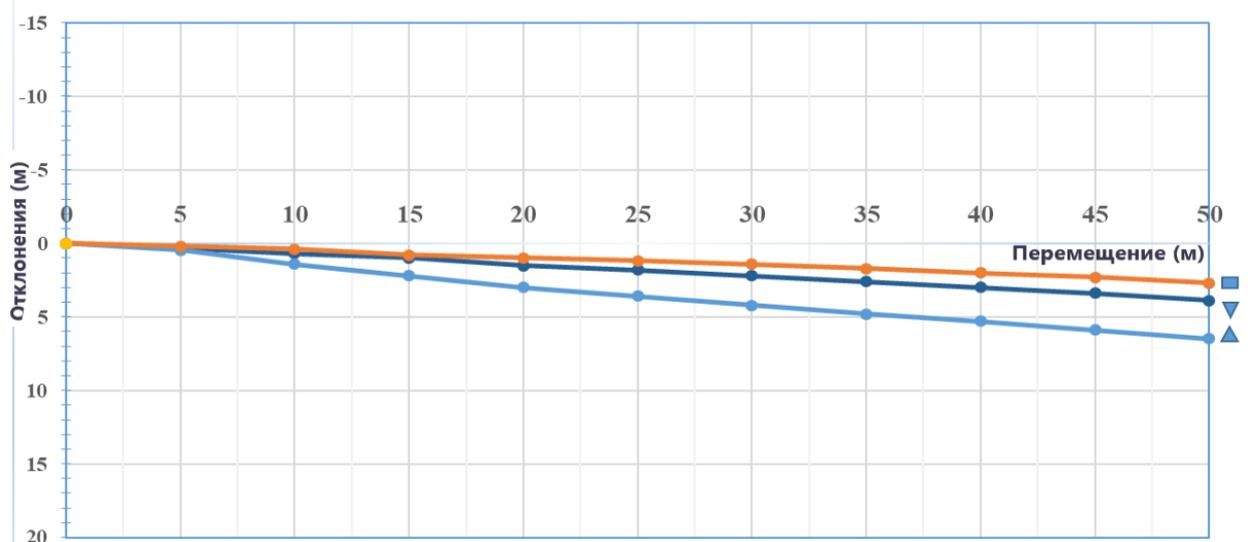


Рисунок 5.2 Отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.209 рад., (12°). Угол наклона остова возвышенности склона 0.104 рад. (6°)

- - отклонение трицикла (имитационное моделирование)
- ▼ - отклонение трицикла (математическое моделирование)
- ▲ - отклонение трицикла (натурные испытания)

На рисунке 5.2 приведены результаты аналитических решений, экспериментальные данные и данные имитационного моделирования. Как видно из рисунка 5.2 отклонения трицикла от горизонтали склона с углом наклона остова на 0.104 рад. в сторону возвышенности склона крутизной 0.209 рад., по данным имитационного моделирования в конце пути составляют 4 м. Отклонения трицикла по результатам математического расчета в конце пути составляют 1.96 м. Отклонения трицикла по экспериментальным данным составляют в конце пути 6.5 м.

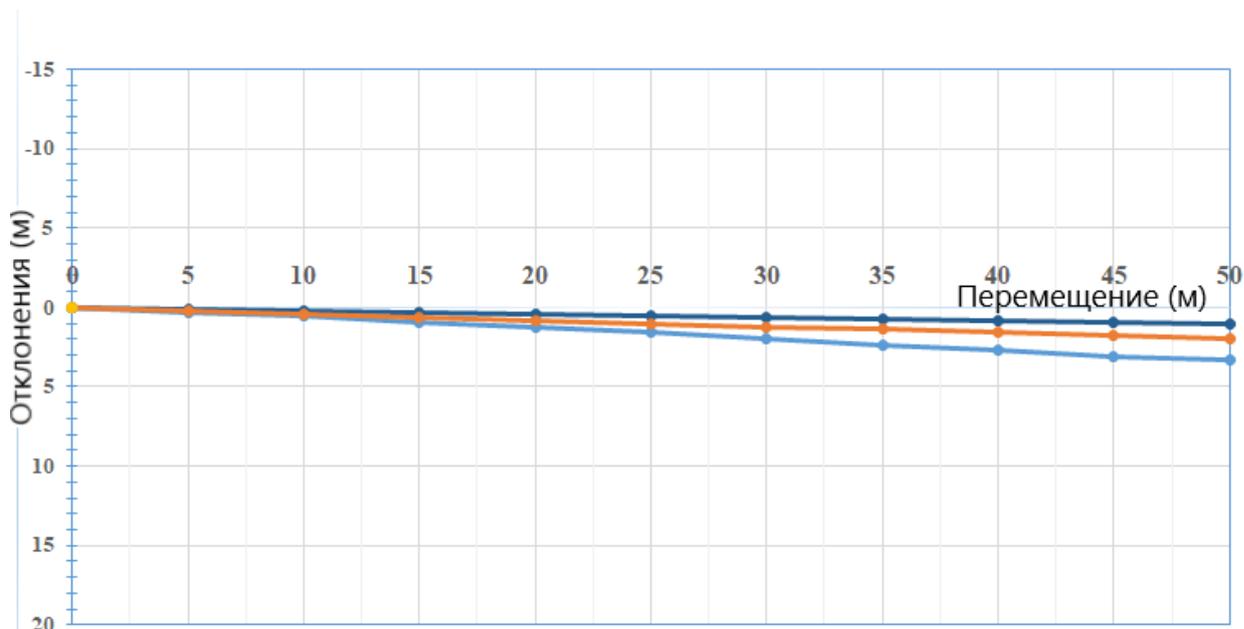


Рисунок 5.3- Отклонения трицикла с вертикальным положением остова от заданной горизонтали склона крутизной 0.209 рад., (12°)

- - отклонение трицикла (имитационное моделирование)
- ▼ - отклонение трицикла (математическое моделирование)
- ▲ - отклонение трицикла (натурные испытания)

На рисунке 5.3 приведены результаты аналитических решений, экспериментальные данные и данные имитационного моделирования. Как видно из рисунка 5.3 отклонения трицикла от горизонтали склона с вертикальным положением остова на склоне крутизной 0.209 рад., по данным математического моделирования в конце пути составляют 1 м. Отклонения трицикла по результатам имитационного моделирования в конце пути составляют 2 м. Отклонения трицикла по экспериментальным данным составляют в конце пути 3.3 м.

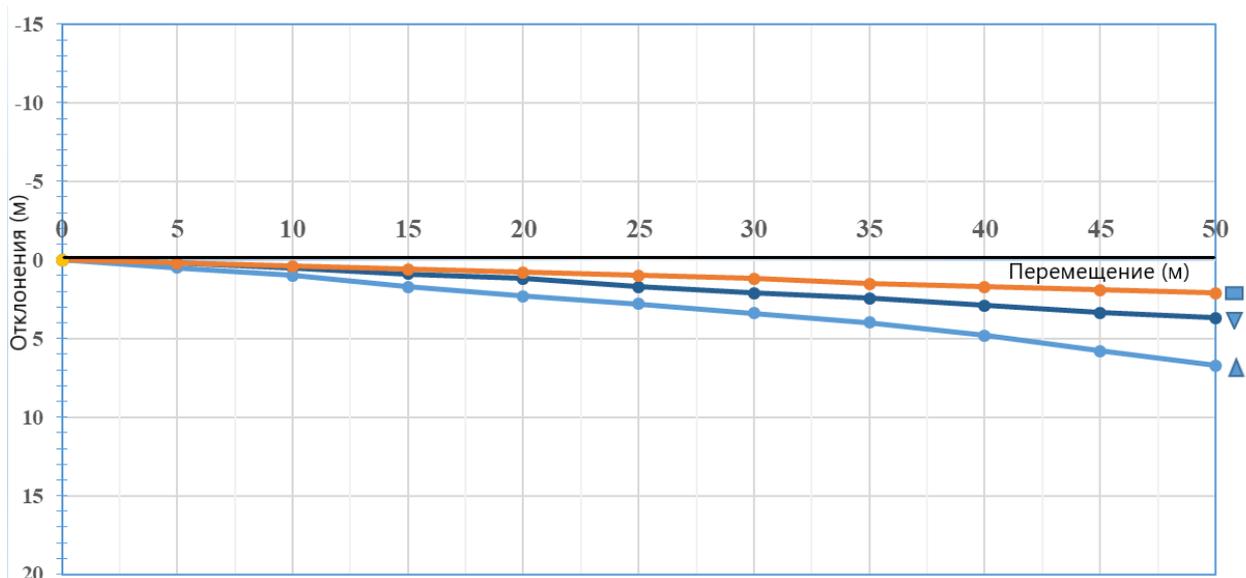


Рисунок 5.4 - Отклонения трицикла без стабилизации остова от заданной горизонтали склона крутизной 0.104 рад., (6°)

- - отклонение трицикла (имитационное моделирование)
- ▼ - отклонение трицикла (математическое моделирование)
- ▲ - отклонение трицикла (натурные испытания)

На рисунке 5.4 приведены результаты аналитических решений, экспериментальные данные и данные имитационного моделирования. Как видно из рисунка 5.4 отклонения трицикла от горизонтали склона с естественным положением остова на склоне крутизной 0.104 рад., по данным математического моделирования в конце пути составляют 2.1 м. Отклонения трицикла по результатам имитационного моделирования в конце пути составляют 3.7 м. Отклонения трицикла по экспериментальным данным составляют в конце пути 7 м.

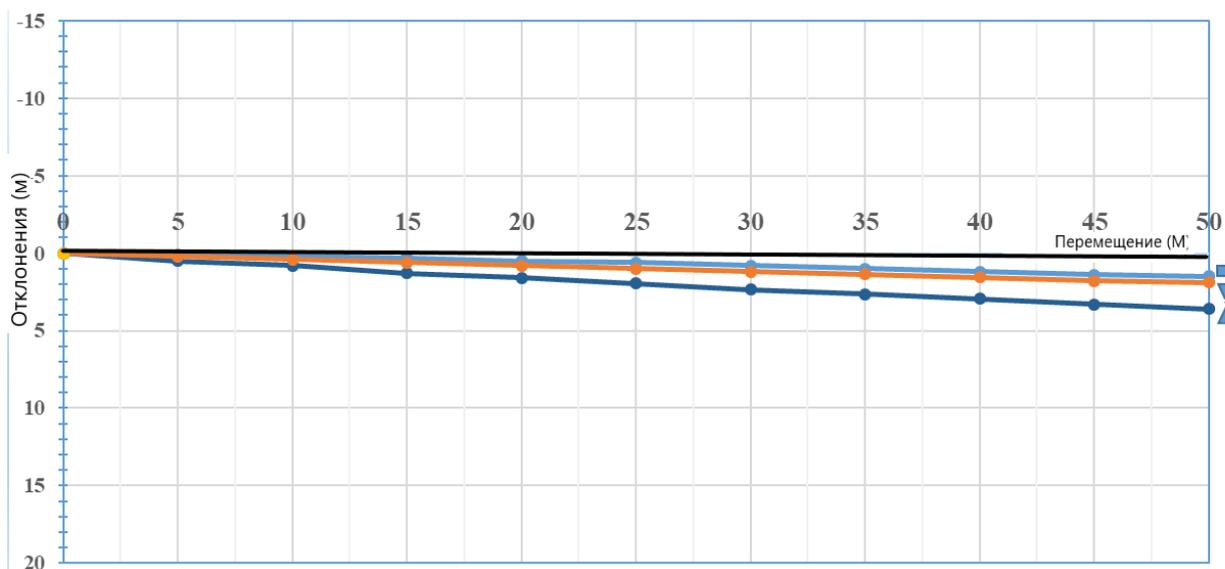


Рисунок 5.5 - Отклонения трицикла от заданной горизонтали склона крутизной 0.104 рад., (6°), угол наклона остова в сторону возвышенности склона 0.052 рад., (3°)

- - отклонение трицикла (имитационное моделирование)
- ▼ - отклонение трицикла (математическое моделирование)
- ▲ - отклонение трицикла (натурные испытания)

На рисунке 5.5 приведены результаты аналитических решений, экспериментальные данные и данные имитационного моделирования. Как видно из рисунка 5.5 отклонения трицикла от горизонтали склона с углом наклона остова 0.052 рад., в сторону возвышенности склона крутизной 0.104 рад., по данным математического моделирования в конце пути составляют 1.1м. Отклонения трицикла по результатам имитационного моделирования в конце пути составляют 1.5м. Отклонения трицикла по экспериментальным данным составляют в конце пути 3.5м.

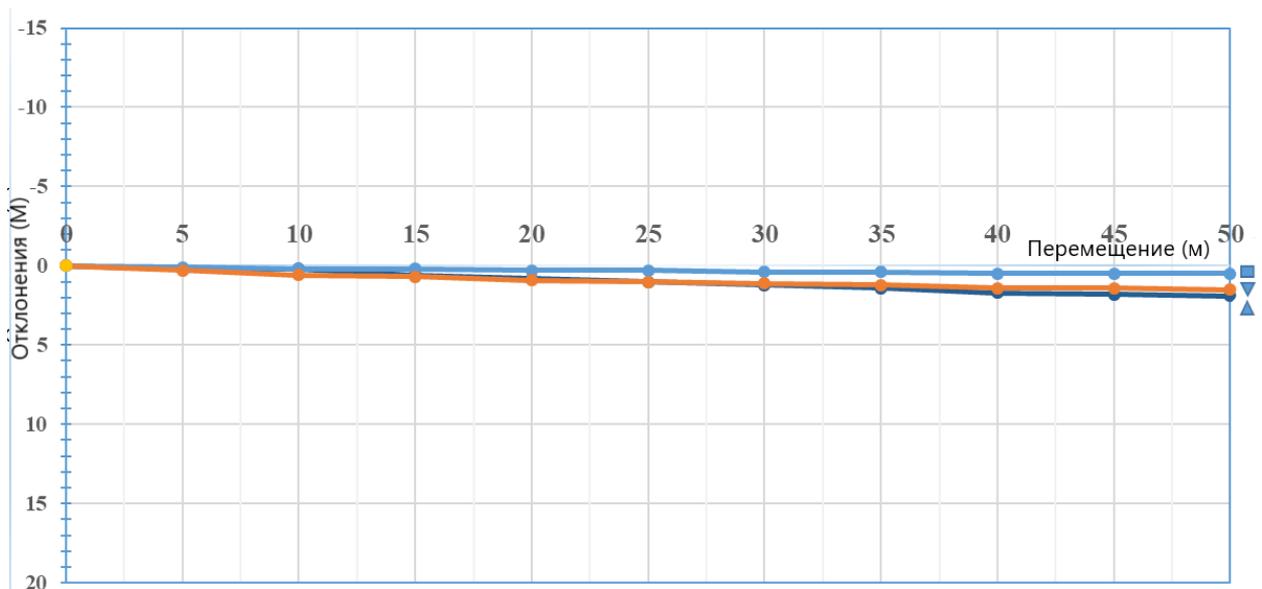


Рисунок 5.6- Отклонение трицикла с вертикальным положением остова от заданной горизонтали склона крутизной 0.104 рад.

- - отклонение трицикла (имитационное моделирование)
- ▼ - отклонение трицикла (математическое моделирование)
- ▲ - отклонение трицикла (натурные испытания)

На рисунке 5.6 приведены результаты аналитических решений, экспериментальные данные и данные имитационного моделирования. Как видно из рисунка 5.6 отклонения трицикла с вертикальным положением остова от горизонтали склона крутизной 0.104 рад., по данным математического моделирования в конце пути составляют 0.9 м. Отклонения трицикла по результатам имитационного моделирования в конце пути составляют 0.5 м. Отклонения трицикла по экспериментальным данным составляют в конце пути 1.7 м.

Таким образом прослеживается четкая тенденция, отклонения от заданной горизонтали склона уменьшаются при выравнивании остова трицикла.

5.2. Анализ результатов проведённых исследований устойчивости трицикла против бокового опрокидывания на склоне

Сравнение теоретических исследований с результатами экспериментальных исследований и имитационного моделирования, является итогом работы для дальнейшего продуктивного использования полученных исследуемых параметров.

Анализ результатов моделирования дает возможность получить все необходимые характеристики устойчивости исследуемого объекта на склоне точки зрения рациональности, а также заранее прогнозировать поведения исследуемого объекта в заданных условиях эксплуатации.

При дальнейшем изучении модели в обязательном порядке нужно убедиться, что полученные результаты модели соответствуют критерию практики. В моделях, предназначенных для выполнения оценочных расчетов удовлетворительной считается точность, находящаяся в пределах 10 –15 %.

Таким образом если расхождения результатов математической модели и результатов опытов варьируются в этих пределах, то анализ результатов математического моделирования дает основания утверждать, что математическая модель адекватна.

В ходе имитационного моделирования по определению критического угла косогора, были проведены сравнения результатов, полученных аналитическим и вычислительным экспериментом с использованием интеллектуальной модели.

Приведены и сопоставлены результаты аналитических данных и данных имитационного моделирования, по определению критического угла косогора при пребывании и прямолинейном движении трицикла с наклоняющимся остовом на склоне.

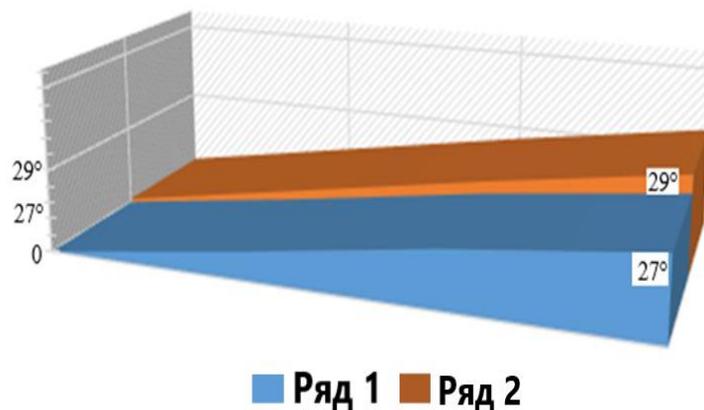


Рисунок 5.7- Данные математического и имитационного моделирования по определению критического угла косогора для трицикла без стабилизации остова.

Ряд 1- Критический угол косогора для трицикла без стабилизации остова по данным имитационного моделирования.

Ряд 2 - Критический угол косогора для трицикла без стабилизации остова по данным математического моделирования.

На рисунке 5.7 приведен график анализа математического и имитационного моделирования, который показал, что трицикл без стабилизации остова имеет возможность прибывать и движется прямолинейно по косогору без поперечного опрокидывания на склонах до 0.472 рад., (27°) по данным имитационного моделирования и на склонах до 0.506 рад., (29°) по данным математического моделирования.

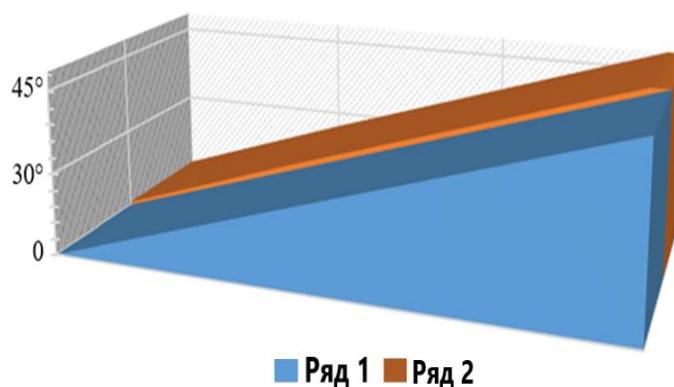


Рисунок 5.8 Данные математического и имитационного моделирования по определению критического угла косогора для трицикла со стабилизацией остова.

Ряд 1- Критический угол косогора для трицикла со стабилизацией остова по данным имитационного моделирования.

Ряд 2 - Критический угол косогора для трицикла со стабилизацией остова по данным математического моделирования.

На рисунке 5.8 приведен график анализа математического и имитационного моделирования, который показал, что трицикл со стабилизации остова имеет возможность прибывать и двигается прямолинейно по косогору без бокового опрокидывания на склонах до 0.786 рад. (45°), т.е. устойчивость против опрокидывания возрастает.

Таким образом, анализируя данные моделирования можно сделать вывод, что расхождение результатов расчетов по полученным формулам и имитационного моделирования не превышает 10% , что является допустимым.

Выводы по главе 5

Сопоставление результатов аналитических, имитационных и экспериментальных исследований устойчивости трицикла с наклоняющимся остовом при движении в поперечном направлении склонов показало хорошую сходимость результатов.

Установлено, что расхождение результатов расчетов по полученным формулам, эксперимента, имитационного и математического моделирования не превышает 10% , что является допустимым.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Решена научно - техническая задача, связанная с выбором основных параметров трицикла, направленных на повышение курсовой устойчивости и устойчивости по опрокидыванию на поперечном склоне.

2. Обоснованы требования и разработан способ стабилизации остова, направленный на повышения курсовой устойчивости и устойчивости по опрокидыванию при движении трицикла в поперечном направлении склона.

3. Проведены теоретические исследования устойчивости трицикла при движении по склонам. Обоснована расчетная схема и получены аналитические выражения для определения курсового угла трицикла при движении вдоль заданных горизонталей склона.

4. Разработана математическая модель курсового угла, при движении трицикла на склоне, отличающаяся учетом наклоняющегося остова. Определен курсовой угол при движении КМ вдоль горизонталей склона на основе принятой математической модели, позволяющий получить значение курсовой устойчивости на стадии проектирования транспортного средства, в том числе и в зависимости от конструктивных параметров. Установлено, что курсовой угол, или угол между фактическим и заданным направлением движения на склоне, находится в прямой зависимости от скорости движения, времени, боковой составляющей веса трицикла, сопротивления качению колёс, расположения центра тяжести объекта и в обратной зависимости от жесткости шин и квадрата его продольной базы.

5. Проведенные натурные испытания и имитационное моделирование подтвердили, что сохранение вертикального положения оси остова трицикла при движении в поперечном направлении склона в среднем повышает его курсовую устойчивость на 85% и устойчивость по опрокидыванию на 60%. Исследования показали, что повышение курсовой устойчивости и устойчивости трицикла по опрокидыванию при движении по склонам в поперечном направлении можно достичь смещением центра масс от продольной оси трицикла в сторону возвышенности склона, т.е. наклоном

остова в сторону возвышенности склона, относительно заднего моста в перпендикулярной относительно направления движения плоскости. Установлено, что расхождение результатов теоретических исследований и эксперимента не превышает 10 %, что является допустимым.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амельченко, П.А. Ксеневиц, И.П., Якубович, А.И. Конструктивные особенности тракторов и самоходных машин для механизации горного земледелия: учебное пособие / П.А. Амельченко, И.П. Ксеневиц, А.И. Якубович. – М.: ЦНИИТЭИ Тракторсельхозмаш, 1974. – 56 с.
2. Антонов, Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д.А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. А.с. 1796086 СССР, МПК4 А 01 В 69/04. Устройство для предотвращения сползания транспортного агрегата на склоне / В.И. Курсин, И.И. Гуреев, А.Е. Федорченко (СССР). – №641899 ; заявл. 09.11.82; опубл. 23.02.93, Бюл. № 7. – 7с.: ил.
4. А.с. 1025535 СССР, В 60 G 19/10. Трехколесное транспортное средство / В.Г. Чхикавадзе (СССР). – №95260 ; заявл. 08.01.79; опубл. 30.06.83, Бюл. №24. – 4с.: ил.
5. А. с. 1652192 СССР, МПК В 60 G, 21/06. Устройство для стабилизации поперечной устойчивости транспортных средств / Б. В. Гольд, Г. В. Бромберг (СССР). – № 408835 ; опубл. 01.01.1973, Бюл. №48. – 3с.: ил.
6. Балакина, Е.В. Повышение устойчивости движения колесной машины путем выбора величины базы / Е.В. Балакина, А.В. Кочетков, Р.Р. Санжапоев, Н.М. Зотов // Грузовк. – 2015. – №12. С. 23-25.
7. Балакина, Е.В. Составляющие продольного сноса нормальной реакции опорной поверхности на колесо / Е.В. Балакина, Т.А. Голубева, Д.С. Сарбаев // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2019. – № 17-1. – С. 66-68.
8. Балакина, Е.В., Расчет продольного сноса нормальной реакции на колесо из-за упругих угловых деформаций шины / Е.В. Балакина, Зотов Н.М. // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 25-26.

9. Балабин, И.В. Криволинейное движение АТС 4×2. Модели заноса и опрокидывания / И.В. Балабин, С.А. Морозов // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 12. – С. 22-26.
10. Бахмутов, С.В. Математическая модель легкового автомобиля для его оптимизации по критериям управляемости и устойчивости / С.В. Бахмутов [и др.] // Автотракторостроение. Промышленность и высшая школа. – 1999. ISBN: 5-94099-001-0.
11. Бочаров, Н.Ф. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости / Н.Ф. Бочаров, И.С. Цитович, А.А. Полунгян, В.М. Семенов, В.С. Цыбин, Л.Ф. Жеглов. – М.: Машиностроение, 1983. – 299 с.
12. Бахмутов, С.В. Совершенствование характеристик управляемости и устойчивости легкового автомобиля в условиях случайного микропрофиля дороги / С.В. Бахмутов, А.А. Ахмедов, А.Л. Карунин // Современные тенденции развития автомобилестроения в России: Сб. науч. тр.; Тольятти, 2004. – Т. 2. – С. 70-76.
13. Вахидов, У.Ш. Влияние параметров горной местности на надежность транспортных средств / У.Ш. Вахидов, И.А. Ерасов, В.В. Беляков // Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. «Транспортно-технологические машины и комплексы» под ред. Ю.В. Гуляева. Москва – Нижний Новгород, НГТУ, 2008. – Т.21 – С.28-34.
14. Вахидов, У.Ш. Транспортные проблемы республик Северного Кавказа и пути их решения / У.Ш. Вахидов, И.А. Ерасов, В.В. Беляков // Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. «Транспортно-технологические машины и комплексы» под ред. Ю.В. Гуляева. Москва – Нижний Новгород, НГТУ, 2008. – Т.21 – С.38-40.
15. Воронков, И.М. Курс теоретической механики / И.М. Воронков. – М.: Наука, 1964. – 596 с.
16. Войтиков, А.В. Исследование курсовой устойчивости колесного трактора класса 14 кН на склоне: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Войтиков Александр Викторович. – Минск, 1979. – 188 с.

17. Гагкуев, А. Е. Формирование устойчивости и поворачиваемости трицикла на стадии проектирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Гагкуев Алан Ермакович. – Владикавказ, 2009. – 181 с.
18. Горелов, В.А. Моделирование колесного транспортного средства 8x8 в программном комплексе автоматизированного анализа динамики систем тел / В.А. Горелов, А.И. Камисаров, А.В. Мирошниченко // Пром-Инжиниринг 2015. – С. 221-225
19. Гудков, В.А. Теоретическое исследование поперечной устойчивости автобуса особо малого класса семейства "Газель" / В.А. Гудков, И.М. Рябов, К.В. Чернышов, М.Ш. Абдуллаев // Известия ВолГТУ. Серия: Наземные транспортные системы. – 2007. – Т. 2. № 8 (34). – С. 98-101.
20. Гутиев, Э.К., Льянов, М.С., Мамити, Г.И. Моделирование испытаний трициклов с системами активной безопасности / Э.К. Гутиев, М.С. Льянов, Г.И. Мамити // Материалы Всероссийской НТК. – Ижевск: 2007. – С. 36-38.
21. Гутиев, Э.К. Горный вездеход: монография / Э.К. Гутиев, Г.И. Мамити. – Владикавказ, изд-во ФГОУ ВПО «Горский госагроуниверситет», 2009. – 128с.
22. Двайт, Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г.Б. Двайт. Пер. с англ. – М.: Наука, 1966. – 216 с.
23. Жилейкин, М.М. Обоснование принципов повышения устойчивости и управляемости колесных тракторов при движении на склоне в режиме вспашки / М.М. Жилейкин, Е.В. Ягубова // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2014. – № 9 (654). – С. 67-76.
24. Зеленый, П.В. Колесный сельскохозяйственный трактор горной модификации / П.В. Зеленый, В.П. Зарецкий, А.С. Сальникова. – М.: ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш–1987. – Выпуск №3.

25. Зокоев, А.О. Разработка подсистемы активной безопасности управляющем наклонам остова трицикла. автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Зокоев Александр Олегович. Владикавказ, 2016. – 19с.
26. Зокоев, А.О. Трицикл повышенной устойчивости / А.О. Зокоев, Э.М. Галачиев // Материалы научной студенческой конференции Горского ГАУ «Студенческая наука – агропромышленному комплексу». – Владикавказ: 2011.
27. Зокоев, А.О. Влияние конструктивных параметров транспортного средства (ТС) на его устойчивость / А.О. Зокоев, А.Э. Кодзаев // IV Международная научно-практическая конференция «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». Сб. раб. молодых ученых. Часть I. – Владикавказ, 2013 – С. 25-26.
28. Зокоев, А.О. Малая техника для фермерских хозяйств горной зоны / А.О. Зокоев, А.Э. Кодзаев, Д.А. Севостьянов, А.А. Глабец // IV Международная научно-практическая конференция «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». Сб. раб. молодых ученых. Часть I. – Владикавказ, 2013 – С. 39-42.
29. Зокоев, А.О. Трицикл с наклоняющейся платформой / А.О. Зокоев, А.Э. Кодзаев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». Т. 50, ч. 1. – Владикавказ, 2013. – С.188-192.
30. Иванцов, В.Д. Динамика прямолинейного рабочего движения гусеничного пахотного МТА и возможность ее снижения / В.Д. Иванцов, К.В. Чернышов, И.А. Долгов, А.В. Иванцов // Тракторы и сельхозмашины. –2009. – № 8. – С. 12-15.
31. Иларионов, В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля / В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
32. Калашян, Р.Т. Изыскание и исследование противоопрокидывающего устройства для повышения устойчивости тракторных сельскохозяйственных агрегатов при работе на склонах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Калашян Ромео Телемакович. – Ереван, 1979.

– 139 с.

33. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости. Расчет агрегатов и систем. Под общей редакцией Н.Ф. Бочарова, Л.Ф. Жеглова. - М.: Машиностроение, 1994. – 299с.

34. Касандрова, О.Н. Обработка результатов наблюдений / О.Н. Касандрова, В.В. Лебедев. – М.: Наука, 1970. – 104 с.

35. Кониев, К.Е. Повышение устойчивости трехколесных мотоциклов выбором конструктивных параметров. автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Кониев Казбек Едисламович. – М.: МАМИ, 2005. – 21 с.

36. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн. Пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 832 с.

37. Котиев, Г.О. Имитационное моделирование динамики прямолинейного движения колесной машины на стенде «Беговые барабаны» / В.А. Горелов, А.Ю. Захаров // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. –2014. – № 4

38. Котиев, Г.О. Моделирование прямолинейного движения полноприводной колесной машины по несвязным грунтам / Г.О. Котиев, В.А. Горелов // Труды НАМИ. – 2009. – №241. – С. 25 – 39.

39. Котиев, Г.О. Имитационное моделирование движения полноприводной колесной машины с бесступенчатой трансмиссией / Г.О. Котиев, А.А., Полунгян, М.С. Панкратов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. –2004. – № 4 (57).– С. 3-14.

40. Котиев, Г.О., Математическая модель движения вездеходного транспортного средства / В.А. Горелов, А.А. Бекетов // Журнал автомобильных инженеров. – 2008. – № 1 (48). – С. 50-54.

41. Кушляев, В.Ф. К вопросу оценки продольной и поперечной устойчивости специальных машин повышенной проходимости / В.Ф.

Кушляев, А.В. Яблокова // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2014. – №4. – С. 103-108.

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

43. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.

44. Литвинов, А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / Я.Е. Фаробин – М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.

45. Льянов, М.С. Агрегат для работы на склонах на основе мотоцикла с коляской / М.С. Льянов, А.А. Сокуров // Известия ФГБОУ ВО «Горский ГАУ». – Владикавказ, 2015. – Т. 52, ч. 2. – С . 173-177.

46. Льянов, М.С. Моделирование движения трицикла / М.С. Льянов, А.О. Зокоев, А.Т. Сугаров // Известия ФГОУ ВПО «Горский ГАУ». Владикавказ, 2009.

47. Льянов, М. С. Статическая и динамическая устойчивость низкоклинренного трактора / М. С. Льянов, З. С. Салбиева // Перспективы развития АПК в современных условиях: материалы 2-й Международной НПК. – Владикавказ, 2001. – С. 62-64.

48. Льянов, М.С. Исследование устойчивости трицикла с наклоняющимся кузовом / М.С. Льянов, Э.К. Гутиев, А.О. Зокоев, О.И. Худиев, И.М. Льянов // Материалы Международной научно-практической конференции «Проектирование специальных машин для освоения горных территорий» ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – Владикавказ: 2011.

49. Льянов, М.С. Методика экспериментальных исследований трицикла с наклоняющимся остовом на курсовую устойчивость при движении по склону/ М.С. Льянов, Ш.Н. Пицхелаури // Материалы 8-й международной научно-практической конференции «Перспективы развития АПК в современных условиях», 18-19 апреля. – Владикавказ: 2019. – С.191-194

50. Льянов М.С. Влияние податливости грунта под колесами трицикла на величину угла поперечной устойчивости / М.С. Льянов, Ш.Н. Пицхелаури / Материалы 9-й международной научно-практической конференции «Перспективы развития АПК в современных условиях». – Владикавказ: 2020. – С.191-194

51. Льянов, М.С. Методика экспериментального определения устойчивости трицикла против опрокидывания/ М.С. Льянов, А.О. Зокоев, В.Б.Тедеев// Материалы Международной научно-практической конференции «Проектирование специальных машин для освоения горных территорий» ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – Владикавказ: 2011.

52. Льянов, М.С. Результаты испытаний трицикла с жесткой подвеской кузова и эластичными шинами / М.С. Льянов, С.Х. Плиев, В.Б. Тедеев, А.О. Зокоев // Материалы Международной научно-практической конференции «Проектирование специальных машин для освоения горных территорий» ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – Владикавказ: 2011.

53. Льянов, М.С. Трицикл с изменяемой геометрией конструкции – основа создания специальной системы активной безопасности / М.С. Льянов, Э.К. Гутиев, А.О. Зокоев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». Т. 51, ч. 3. – Владикавказ, 2014. – С. 179-183.

54. Льянов, М.С. Зависимость курсовой устойчивости трактора на склоне от колесной формулы (тезисы) / М.С. Льянов // Тезисы докладов межвузовской конференции. – Ставрополь, 1991.

55. Льянов, М.С. Улучшение эксплуатационных свойств колесных тракторов за счет повышения их курсовой устойчивости на склонах. автореф. дисс. ... канд. техн. наук 05.20.03 / Льянов Марат Савкузович. Ленинград-Пушкин, 1991 – 31 с.

56. Льянов, М.С. Исследование способов повышения курсовой устойчивости тракторов на склонах / М.С. Льянов // Тезисы докладов научно-производственной конференции Горского ГАУ. – Владикавказ, 1996 .

57. Льянов, М.С. Автоматическое корректирование курса колесной машины на склоне / М.С. Льянов, О.А. Сопоев // Тезисы докладов научно-производственной межвузовской конференции ГГАУ. – Владикавказ, 1997.
58. Льянов, М.С. Устойчивость трицикла с наклоняющимся кузовом / М.С. Льянов, Э.К. Гутиев, А.О. Зокоев // Автомобильная промышленность. – 2005. – №4. – С. 23-24.
59. Льянов, М.С. Графическая модель движения колесной машины / М.С. Льянов // Материалы международной научно-практической конференции. Горский Госагроуниверситет. – Владикавказ, 2003. – С. 137.
60. Льянов, М.С. Динамическая устойчивость трицикла с наклоняющимся остовом против опрокидывания на вираже / М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев, Ш.Н. Пицхелаури / Материалы всероссийской научно-практической конференции в честь 90-летия кафедр «Кормление, разведение и генетика сельскохозяйственных животных» и «Частная зоотехния» факультета технологического менеджмента. – Владикавказ, 2021г. – С. 61-63.
61. Льянов, М.С. Уравнение движения колесного трактора на склоне / М.С. Льянов, С.С. Калаев // тр. Кубанского с.х. института. Выпуск 255/286. Краснодар, 1985.
62. Льянов, М.С. Прогнозирование устойчивости и тормозных свойств монотранспортных средств: автореф. дисс. д-ра техн. наук: 05.05.03 / Льянов Марат Савкузович. – Ижевск, 2008. – 368 с.
63. Льянов, М.С., Влияние конструктивных параметров транспортного средства (ТС) на его устойчивость / М.С. Льянов, Ш.Н. Пицхелаури, В.А. Токарев, С.А. Кокшаров, Р.И. Калаев // Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». – Владикавказ – 2019. – №56. С.123-126.

64. Льянов, М.С. Влияние смещения центра масс трицикла на величину курсового угла при движении по склонам / М.С. Льянов, Ш.Н., Пицхелаури // Материалы 9-й международной научно-практической конференции «Перспективы развития АПК в современных условиях». – Владикавказ: 2020. – С.191-194
65. Лурье, А.И. Аналитическая механика / А.И. Лурье. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.
66. Мамити, Г. И. Устойчивость трехколесного мотоцикла с учетом бокового увода / Г. И. Мамити, М. С. Льянов, К. Е. Кониев // Известия ФГОУ ВПО «Горский ГАУ»: науч.-теорет. журнал. Т. 41. – Владикавказ, 2004. – С. 91-92.
67. Мамити, Г.И. Устойчивость трициклов с наклоняющимся кузовом / Г.И. Мамити, М.С. Льянов // Автомобильная промышленность. – 2008. – №12. С. 22-24.
68. Мамити, Г.И. Эластичность шин и устойчивость двухосного автомобиля / Г.И. Мамити // Автомобильная промышленность. – 2007. № 5. С. 20-21.
69. Мамити, Г.И. Параметры, влияющие на устойчивость движения мотоциклов на повороте / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев, Л.Д. Ходова // Известия Горского ГАУ. Научно-теоретический журнал. – 2006.
70. Мамити, Г.И. Устойчивость мотоциклов на повороте с учетом бокового увода / Г.И.Мамити, М.С. Льянов, // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 1.
71. Мамити, Г.И. Коэффициент сопротивления уводу мотоциклетного колеса / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев // Известия Горского ГАУ. Научно-теоретический журнал. – Владикавказ. – 2006.
72. Мамити, Г.И. Устойчивость колесных машин для освоения горных территорий / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, С.Х. Плиев, З.С.

Салбиева, А.О. Зокоев, В.Б. Тедеев // I Международная дистанционная конференция. – Цхинвал. – 2011.

73. Мамити, Г. И. Влияние бокового увода на устойчивость двухосного автомобиля / Г. И. Мамити // Проектирование колесных машин: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию кафедры «Колесных машин» МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2006. – С. 129-133.

74. Мамити, Г.И. Потеря устойчивости колесной машины на повороте / Г. И. Мамити, М. С. Льянов, С. Х. Плиев, А. Е. Гагкуев // Известия ФГОУ ВПО «Горский ГАУ»: науч.-теорет. журнал. Т. 44, ч. 1. – Владикавказ. – 2007. – С. 116-118.

75. Мамити, Г.И. Устойчивость трехколесного автомобиля (мотоцикла) по заносу и опрокидыванию / Г. И. Мамити, М. С. Льянов // Проблемы и перспективы автомобилестроения в России: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Ижевск: ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2007. – С. 130-136.

76. Мамити, Г. И. Устойчивость трехколесного мотоцикла с наклоняющимся кузовом / Г. И. Мамити, М. С. Льянов // Проблемы и перспективы автомобилестроения в России: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Ижевск: ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2007. – С. 136-140.

77. Мамити, Г. И. Устойчивость двухосного автомобиля на повороте по заносу и опрокидыванию / Г. И. Мамити // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 12. – С. 18-19.

78. Мамити, Г. И. Устойчивость трициклов по заносу и опрокидыванию / Г. И. Мамити, М. С. Льянов // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 9. – С. 22-24.

79. Мамити, Г. И. Влияние поворачиваемости автомобиля на устойчивость движения / Г. И. Мамити, М. С. Льянов, С. Х. Плиев, А. Е. Гагкуев // Известия ФГОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2008. – Т. 45, ч. 1. – С. 124-126.

80. Мамити, Г. И. Формирование оптимальной устойчивости колесной машины на стадии проектирования / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев // Вестник машиностроения. – 2009. – № 2. – С. 84-85.

81. Мамити, Г. И. Проектирование трицикла с наклоняющимся кузовом / Г. И. Мамити, М. С. Льянов, А. Е. Гагкуев, С. Х. Плиев, В. Б. Тедеев // Проектирование колесных машин: материалы Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подготовки инженеров по автомоб. специальности в МГТУ им. Н. Э. Баумана 25-26 ноября 2009 г. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – С. 136-143.

82. Мамити, Г.И. Устойчивость двухколесного мотоцикла против заноса, при повороте / Г. И. Мамити, М. С. Льянов, К.Е. Кониев // Известия Горского ГАУ. – 2002.

83. Мамити, Г.И. Устойчивость прямолинейного движения двухколесного мотоцикла / Г. И. Мамити, М. С. Льянов, К.Е. Кониев // Известия Горского ГАУ. – 2002.

84. Мамити, Г. И. Устойчивость трицикла с наклоняющимся кузовом / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев // Вестник машиностроения. – 2012. – № 6. – С. 85-88.

85. Мамити, Г.И. Устойчивость колесного трактора и автомобиля. Монография / Г.И. Мамити, С.Х. Плиев. – Владикавказ, ООО НПКП «Мавр», 2013. – 152 с.

86. Мамити, Г. И. Устойчивость трицикла / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев, В.Б. Тедеев // Вестник машиностроения. – 2012. – № 12. – С. 38-40

87. Мамити, Г.И. Универсальный метод экспериментального определения углов бокового увода колесных машин / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев // Известия Горского ГАУ. – 2006. – Владикавказ.

88. Мамити, Г.И. Устойчивость трициклов различных конструктивных схем / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, С.Х. Плиев, А.Е. Гагкуев, А.О. Зокоев, В.Б. Тедеев // Известия Горского ГАУ. – 2012. – Т. 49, ч. 3. – С.245-262.

89. Мамити, Г. И. Условия недопущения опрокидывания трехколесных мотоциклов / Г. И. Мамити, М. С. Льянов, С. Х. Плиев, А. Е. Гагкуев // Известия ФГОУ ВПО Известия Горского ГАУ. – 2008. – Т. 45, ч. 2. – С. 139-142.
90. Мамити, Г.И. Устойчивость прямолинейного движения двухколесного мотоцикла / Г.И. Мамити // Известия Горского ГАУ. – 2002. – Владикавказ.
91. Мамити Г.И. Методика обработки результатов дорожных испытаний по определению углов бокового увода колесных машин / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев // Известия Горского ГАУ. –2006. – Владикавказ.
92. Мамити, Г.И., Устойчивость трехколесного мотоцикла при повороте / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, К.Е. Кониев, А.С. Мельников, А.С. Язвинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – №3. С. 24-25.
93. Мамити, Г.И. Опрокидывание мотоцикла при разгоне и торможении / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, Б.М. Цаллагов // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 24-25.
94. Мамити, Г.И. Устойчивость двухколесного мотоцикла против заноса при повороте / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, К.Е. Кониев // Известия Горского ГАУ. – 2002. –Владикавказ.
95. Мамити, Г.И. Методика обработки результатов дорожных испытаний по определению углов бокового увода колесных машин / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев // Известия Горского ГАУ. – 2006. – Владикавказ.
96. Мамити, Г.И. Устойчивость трехколесного мотоцикла на повороте с учетом бокового увода / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, К.Е. Кониев // Известия Горского ГАУ. – 2004. – Владикавказ.

97. Мамити Г.И. Устойчивость двухколесного мотоцикла на повороте с учетом бокового увода / Г.И. Мамити, М.С. Льянов // Известия Горского ГАУ. – 2004. – Владикавказ.
98. Мамити, Г.И. Параметры, влияющие на устойчивость движения мотоциклов на повороте / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев, Л.Д. Ходова // Известия Горского ГАУ. – 2006. – Владикавказ.
99. Мамити, Г.И. Устойчивость мотоциклов на повороте с учетом бокового увода / Г.И. Мамити, М.С. Льянов // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 1.
100. Мамити, Г.И. Устойчивость мотоцикла с коляской на повороте с учетом эластичности шин / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, А.Е. Гагкуев // Сб. науч. тр. АН ВШ РФ; Владикавказ, 2006. – С. 97-103.
101. Мамити, Г.И. Потеря устойчивости колесной машины на повороте / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, С.Х. Плиев, А.Е. Гагкуев // Известия Горского ГАУ. – 2007. – т. 44. – С. 116-118.
102. Мамити, Г.И. Устойчивость трехколесного автомобиля (мотоцикла) по заносу и опрокидыванию / Г.И. Мамити, М.С. Льянов // Материалы Российской НТК. – Ижевск: 2007.
103. Мамити Г.И. Устойчивость трехколесного мотоцикла с наклоняющимся кузовом / Г.И. Мамити, М.С. Льянов // Материалы Российской НТК. – Ижевск: 2007.
104. Мамити, Г. И. Теория движения двухосной колесной машины. Управляемость и устойчивость: учебник для ВУЗов / Г. И. Мамити. – Владикавказ: изд-во ФГБОУ ВПО «Горский госагроуниверситет», 2012. – 168 с.
105. Мамити, Г.И. Динамический расчет устойчивости трицикла с наклоняющимся кузовом/ Г.И. Мамити, С.Х. Плиев, В.Б. Тедеев // Известия «Горский ГАУ». – 2015. – Т. 52, ч. 3. – С.144-152.

106. Мамити, Г. И. Совершенствование расчета устойчивости трициклов / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев, В.Б. Тедеев // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 11. – С. 25-29.

107. Мамити, Г. И. Расчет устойчивости трицикла с наклоняющимся кузовом против заноса и опрокидывания / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев, В. Б. Тедеев // Вестник машиностроения. – 2015. – № 7. – С. 30-34.

108. Мамити, Г.И. Результаты дорожных испытаний трехколесного мотоцикла и мотоцикла с коляской на устойчивость движения / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, К.Е. Кониев, А.Е. Гагкуев // Известия Горского ГАУ. – 2006. –Владикавказ.

109. Мамити, Г.И. Устойчивость двухосной колесной машины: монография / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев, В. Б. Тедеев. – Владикавказ, изд-во ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», 2016. - 184с.

110. Мамити, Г.И. Теория устойчивости двухосной колесной машины. Управляемость и устойчивость. Учебник для ВУЗов. / Г. И. Мамити. Владикавказ: – Изд-во ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», 2012. – 168с.

111. Нарбут, А.Н. Мотоциклы / А.Н. Нарбут. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 172 с.

112. Овечкин, С.Л. Метод определения нагрузок при оценке поперечной устойчивости транспортного средства / С. Л. Овечкин, Е. В. Свиридов // Вестник Пермского нац. исслед. политехн. ун.-та. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2013. – № 1. – С. 113–118. 73.

113. Овечкин, С.Л. Перспективы повышения поперечной устойчивости автомобильной техники / С. Л. Овечкин, Е.В. Свиридов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: мат.-лы Международ. науч.-практич. конф. – Пермь, 2014. – С. 188–191.

114. Овечкин, С.Л. Особенности расчета параметров оценки поперечной устойчивости транспортных средств специального назначения / С.Л. Овечкин, Е.В. Свиридов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф.

Т. 1. Модернизация наземных транспортно-технологических машин и комплексов. Транспорт. Теоретические разработки и проектирование. Практика применения, эксплуатация и сервис. – Пермь. – 2013. – С. 244–248.

115. Опейко, С.Ф. Математическая модель для оценки динамической устойчивости трехколесного самохода / С.Ф. Опейко Автотракторостроение. Теория и конструирование. Вып. 18. –Минск: Высшая школа. – 1983.

116. Огороднов, С.М. Повышение устойчивости прямолинейного движения трехколесного транспортного средства: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Огороднов Сергей Михайлович. Волгоград, 1991. – 19с.

117. Оценка устойчивости против опрокидывания колесной машины с учетом влияния подрессоренных масс / М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.М. Клец и др. // Механика. – 2012. – № 1. – С. 65-70.

118. Пат. № 2424129 Российская Федерация В60G 21/045. Устройство для стабилизации поперечной устойчивости транспортных средств / Н.П. Лукутцова, Т.Р. Мевлидинова, Т.С., Зелгединовна, З.А. Мевлидинов, П.В. Анисимов.; заявитель и патентообладатель Брянск. "Брянская государственная инженерно-технологическая академия" – № 2010103084/11; заявл. 29.01.2010; опубл. 20.07.2011. 7 с.: ил.

119. Пат. № 2198107 Российская Федерация В62D 49/08. Двухосное колесное транспортное средство / С.А. Владыкин, В.И. Кучеренко, В.Л. Горбунов, М.И. Маленков.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения". –№98104481/28; заявл. 03.12.98; опубл 10.02.2003. 6с.: ил.

120. Пат. № 2027626 Российская Федерация В62D 37/04. Транспортное средство / А.Х. Зимагулова, Д.М. Шакирзянова, Р.Г. Нуруллина.; заявитель и патентообладатель Казанский сельскохозяйственный институт им. М. Горького. – №4949306/11; заявл. 26.06.1991; опубл 27.01.1995. 7с.: ил.

121. Петров, В.А. Устойчивость движения двухколесных транспортных средств / В.А. Петров // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 9. – С. 18-20.

122. Плиев, С. Х. Проблемы устойчивости колесных машин и пути их решения / С. Х. Плиев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2011. – Т. 48, ч. 1. – С. 180-181.

123. Плиев, С. Х. Оси опрокидывания колесных машин и плечи приложения действующих сил / С. Х. Плиев // Новые направления в решении проблем АПК на основе современных на основе современных ресурсосберегающих инновационных технологий: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 3-4 марта 2011 г. – Владикавказ: Горский ГАУ, 2011. – С. 143-145.

124. Плиев, С. Х. Разработка научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению устойчивости колесных тракторов / С. Х. Плиев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2012. – Т. 49, ч. 3. – С. 262-275.

125. Плиев, С. Х. Устойчивость колесных тракторов / С. Х. Плиев // Прогресс транспортных средств и систем – 2013: материалы Международной конференции 24-26 сентября 2013 г. – Волгоград, 2013. – С. 127.

126. Плиев, С. Х. Вопросы устойчивости двухосных колесных машин / С. Х. Плиев // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса горных и предгорных территорий: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию Горского ГАУ, 26-27 ноября 2013 г. – Владикавказ, 2013. – С. 237-238.

127. Плиев, С. Х. Решение проблем устойчивости двухосного автомобиля по зарубежным источникам / С. Х. Плиев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2013. – Т. 50, ч. 4. – С. 168-170.
128. Плиев, С. Х. Совершенствование методов расчета двухосных автомобилей на устойчивость / С. Х. Плиев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2014. – Т. 51, ч. 1. – С. 104-108.
129. Плиев, С. Х. Устойчивость трехколесного трактора / С. Х. Плиев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2014. – Т. 51, ч. 3. – С. 196-200.
130. Плиев, С. Х. Формирование устойчивости квадрацикла и трицикла на стадии проектирования / С. Х. Плиев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2014. – Т. 51, ч. 3. – С. 201-203.
131. Плиев, С. Х. Расчет статической и динамической устойчивости трициклов / С. Х. Плиев, Т. Т. Агузаров // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2014. – Т. 51, ч. 4. – С. 216 - 225.
132. Плиев, С. Х. Расчет двухосной колесной машины на устойчивость против опрокидывания / С. Х. Плиев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ». – 2015. – Т. 52, ч. 1. – С. 124-127.
133. Пицхелаури, Ш.Н. Исследование процесса курсового движения трицикла с наклоняющимся остовом на склоне / Ш.Н. Пицхелаури // Автомобильная промышленность. – 2020. – № 10. – С. 22-29.
134. Пицхелаури Ш.Н. Расчет курсового угла колёсной машины на склоне на основе математической модели / Пицхелаури Ш.Н., Льянов М.С. // Известия ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет». – 2018. – Т. 55, часть 4. – С.158 – 161.
135. Пицхелаури, Ш.Н., Повышение курсовой устойчивости колесных машин, применяемых на склонах / Пицхелаури Ш.Н.// Материалы всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВО Горский ГАУ. – Владикавказ: 2019. – С.167-168.

136. Пицхелаури, Ш.Н. Устойчивость трицикла против опрокидывания / Ш.Н. Пицхелаури, В.А. Токарев // Вестник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский ГАУ». – 2018. – Т-55, часть 3. – С.167-168.

137. Пицхелаури Ш.Н. Особенности компоновочных схем колёсных машин со стабилизацией остова для работы на склонах / Ш.Н. Пицхелаури, В.А. Токарев, Е.В. Бидеева // Материалы всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВО Горский ГАУ. – Владикавказ: 2017. – том.1, часть 1. – С. 275-278.

138. Пицхелаури, Ш.Н. Результаты математического и имитационного моделирования устойчивости трицикла против опрокидывания на косогоре / Ш.Н. Пицхелаури // Научно - технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – №3. – С.418 – 425.

139. Пицхелаури, Ш.Н., Повышения курсовой устойчивости трицикла за счет изменяемой геометрии конструкции / Пицхелаури Ш.Н.// материалы национальной научно-практической конференции «Приоритетные научные исследования и инновационные технологии в АПК: наука – производству» ФГБОУ «Волгоградский государственный аграрный университет». – Волгоград: 2019. – С .92-98

140. Реймер, В.В. Обоснование методики повышения эффективности эксплуатации колёсных тракторов класса 1,4 при работе на наклонной опорной поверхности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Реймер Вадим Валерьевич. – Оренбург, 2011. – 21 с.

141. Рябов, И.М. Повышение безопасности автомобиля за счет рационального выбора шин с учетом характеристик амортизаторов / И.М. Рябов, К.В. Чернышов, М.М. Гасанов, Ш.М. Мухучев // Известия ВолгГТУ. Серия: Наземные транспортные системы. – 2015. Т. 10. – № 4 (162). – С. 45-49.

142. Стеновский, В.С. Стабилизация транспортного средства на наклонной поверхности / В.С. Стеновский, В.В. Реймер, С.В. Юмакаева // Сельский механизатор. – 2011. – №5. – С. 12. 99

143. Стеновский, В.С. Обоснование параметров движителя колесного трактора для эксплуатации на негоризонтальной опорной поверхности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03 / Стеновский Вячеслав Сергеевич. – Оренбург, 2014. – 20 с.

144. Стеновский, В.С. Методы повышения тягово-сцепных и динамических свойств колесных тракторов / В.С. Стеновский Н.В. Маловская, А.А. Сорокин // Материалы региональной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Оренбургской области. Часть 1. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. – С. 129 – 131.

145. Стеновский, В.С. Методика формализации дестабилизирующего момента колесного движителя / С.В. Юмакаева, И.А. Рахимжанова, В.В. Реймер // Материалы международного научно-технического семинара В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники». – Саратов: 2012. – С.297 – 302.

146. Способ стабилизации положения колёсного транспортного средства: пат. 2399538 Российская Федерация: МПК4 В 62 D37/04 / В.В. Реймер, Е.М. Асманкин, В.С. Стеновский, А.А. Сорокин.; №2008146172/11; заявл. 21.11.08; опубл. 27.05.10. Бюл. № 15. 6с.: ил.

147. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.

148. Тарасова, С.В. Обоснование способа курсовой стабилизации колёсного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности. автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Тарасова Сария Валеевна. Оренбург, 2015. – 158с.

149. Тедеев, В.Б. Расчет движения трицикла при автотехнической экспертизе дорожно-транспортных происшествий. автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Тедеев Вадим Ботазович. Волгоград, 2011. – 222 с.
150. Фалькевич, Б.С. Теория автомобиля / Б.С. Фалькевич. – М.: Машгиз, 1963. – 243 с.
151. Филькин, Н.М. Выбор технических требований к колесному движителю транспортной машины для Арктики и северных территорий / Н.М. Филькин, Р.Ф. Шаихов // Материалы международной научно – практической конференции, Воронеж, 19-21 ноября. – 2018. – С. 370 – 375.
152. Фурунжиев, Р.И. К вопросу о критерии устойчивости движения тяговых и транспортных машин на упругих пневматиках / Р.И. Фурунжиев, В.А. Ким, Г.А. Колосов. – Автотракторостроение. Теория и конструирование. Вып. 19. – Минск: Высшая школа, 1984.
153. Хикс, Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс Ч. Пер. с англ. - М.: Мир, 1967. – 406 с.
154. Чудаков, Е.А. Избранные труды. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – Т.-1. – М.: АН СССР, 1961. – 463 с.
155. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 382 с.
156. ЩигOLEв, С. В. Исследование поперечной устойчивости самоходных сельскохозяйственных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / ЩигOLEв Сергей Викторович. – Москва, 2018. – 187 с.
157. Эллис, Д.Р. Управляемость автомобиля / Д.Р. Эллис. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.
158. Ягубова, Е.В. Метод обеспечения устойчивости колесного трактора, оснащенного автоматизированной системой управления движением, при работе на склоне: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Ягубова Евгения Вячеславовна. – Москва, 2016. – 164 с.

159. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики / А.А. Яблонский. – М.: Высшая школа, 1977. – 430 с.
160. Яковлев, Н.А. Теория автомобиля / Н.А. Яковлев, Н.В. Диваков – М.: Высшая школа, 1962. – 299 с.
161. Ясюкевич, Э.И. Моделирование курсовой устойчивости движения колесного трактора на ЭЦВМ / Э.И. Ясюкевич, В.А. Ким. – Минск: Автотракторостроение. Вып. 15. Теория и конструирование, 1980.
162. Balakina, E.V. Classification and model analysis of elastic tire / E.V.Balakina, N.M. Zotov, A.P. Fedin // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). – 2016, T. 61. № 3. С. 317-331.
163. Balakina, E.V. Advantages of using wheel rolling radius for calculating friction characteristics in wheel-to-road contact patch / E.V. Balakina, E.Y. Lipatov, D.S. // Sarbayev Lecture Notes in Mechanical Engineering . – 2020. T. 1. С. 1015-1022.
164. Lyanov, M.S. Mathematical Model of the Course Stability of a Tricycle on a Slope / M.S.Lyanov, S.N. Pitskhelauri, M.O. Bakhchiev / Engineering Computation, №8 (2). – 2018, Volume 35, с.3272-3282.
165. Macmillan, R.H., Quad-Bike Operational Instability Safety. – 2017, 3(2). – Электрон. текстовые дан. – URL: <http://www.mdpi.com/2313576X/3/2/15/htm>
166. Olley, M. Stable and unstable steering. General motors, 1934 (Report).
167. Olley, M. Suspension and handling. Engineering report. – 1937, May.
168. Paustin, G. Tractive resistance as related to roadway surfaces and motor vehicle operation. Iowa state college. Engineering experiment Station. – 1934, Bulletin № 119.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации, входящие в международную базу цитирования

1. S.N. Pitskhelauri, Mathematical Model of the Course Stability of a Tricycle on a Slope / M.S.Lyanov, S.N. Pitskhelauri, M.O. Bakhchiev / Engineering Computation, №о 8 (2), 2018, Volume 35, с.3272-3282.

Публикации, входящие в издания рекомендованных ВАК РФ

1. Пицхелаури Ш.Н. Расчет курсового угла колёсной машины на склоне на основе математической модели / Пицхелаури Ш.Н., Льянов М.С. // Известия ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет». – Владикавказ, - Т. 55, часть 4. – с.158 – 161. 2018.

2. Пицхелаури Ш.Н. Результаты математического и имитационного моделирования устойчивости трицикла против опрокидывания на косогоре / Пицхелаури Ш.Н. // Научно - технический вестник Брянского государственного университета. – Брянск, №3. – с.418 – 425. 2020.

3. Пицхелаури, Ш.Н. Исследование процесса курсового движения трицикла с наклоняющимся остовом на склоне / Ш.Н. Пицхелаури // Автомобильная промышленность. – 2020. – № 10. - С. 22-29.

Публикации в других изданиях

1. Пицхелаури Ш.Н. Перспективы применения в горных условиях трехколесных транспортных средств / Гутиев Э.К., Севостьянов Д.А., Пицхелаури Ш.Н. / В сборнике: Перспективы развития АПК в современных условиях материалы 6-й международной научно-практической конференции. 2016. С. 226-230.

2. Пицхелаури Ш.Н. Курсовая устойчивость движения колесных машин на склоне / Льянов М.С., Гутиев Э.К., Пицхелаури Ш.Н., Токарев В.А. / В сборнике: Достижения науки - сельскому хозяйству материалы региональной научно-практической конференции. 2016. С. 218-221.

3. Пицхелаури Ш.Н. Способы повышения устойчивости мотоциклов с коляской / Токарев В.А., Пицхелаури Ш.Н., Бидеева Е.В. /

Вестник трудов молодых учёных, аспирантов и магистрантов ФГБОУ ВО Горский ГАУ. Выпуск 54, 2017. - с 140-144.

4. Пицхелаури Ш.Н. Устройство мотоцикла с коляской, назначение и эксплуатационные свойства / Токарев В.А., Пицхелаури Ш.Н., Бахчиев М.О. / Вестник трудов молодых учёных, аспирантов и магистрантов ФГБОУ ВО Горский ГАУ. Выпуск 54, 2017. - с 144-148.

5. Пицхелаури Ш.Н. Особенности компоновочных схем колёсных машин со стабилизацией остова для работы на склонах / Токарев В.А., Пицхелаури Ш.Н., Бидеева Е.В./ Материалы всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВО Горский ГАУ, том.1, часть 1. - 2017 г.- с 275-278.

6. Пицхелаури Ш.Н. Устойчивость трицикла против опрокидывания / Пицхелаури Ш.Н., Токарев В.А. / Вестник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». Т-55, часть 3. -2018 г. – с.167-168.

7. Пицхелаури Ш.Н. Обзор конструкций колесных машин, применяемых для горных территорий / Пицхелаури Ш.Н., Кокшаров С.К., Загалаев З.О. Токарев В.А. / Вестник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». Т-55, часть 3. -2018 г. – с.168-169.

8. Пицхелаури Ш.Н., Методика экспериментальных исследований трицикла с наклоняющимся остовом на курсовую устойчивость при движении по склону/Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Материалы 8-й международной научно-практической конференции «Перспективы развития АПК в современных условиях», 18-19 апреля, г. Владикавка, 2019 г., с.191-194

9. Пицхелаури Ш.Н. Повышение курсовой устойчивости трицикла на склонах за счет изменяемой геометрии конструкции /Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Сборник научных трудов У111 Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических

наук, профессора Ю.М. Хаширова «Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России», 25-26 апреля, Нальчик, 2019 г., с.156-161

10. Пицхелаури Ш.Н., Повышение курсовой устойчивости колесных машин, применяемых на склонах/ Пицхелаури Ш.Н./ Материалы всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВО Горский ГАУ, 2019г.- с.167-168.

11. Пицхелаури Ш.Н., Повышение устойчивости мотоцикла за счёт особенностей конструкции/ Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н., Калаев Р.И./ Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». Выпуск №56.-2019г. – с.120-123.

12. Пицхелаури Ш.Н., Влияние конструктивных параметров транспортного средства (ТС) на его устойчивость / Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н., Токарев В.А., Кокшаров С.А., Калаев Р.И./ Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». Выпуск №56. -2019г. – с.123-126

13. Пицхелаури Ш.Н., Повышения курсовой устойчивости трицикла за счет изменяемой геометрии конструкции / Пицхелаури Ш.Н./ материалы национальной научно-практической конференции «Приоритетные научные исследования и инновационные технологии в АПК: наука – производству» ФГБОУ «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, 2019 г. – с.92-98

14. Пицхелаури Ш.Н., Влияние смещения центра масс трицикла на величину курсового угла при движении по склонам / Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Материалы 9-й международной научно-практической конференции «Перспективы развития АПК в современных условиях», г. Владикавказ, 2020 г., с.236-240

15. Пицхелаури Ш.Н., Влияние податливости грунта под колесами трицикла на величину угла поперечной устойчивости / Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Материалы 9-й международной научно-практической конференции «Перспективы развития АПК в современных условиях», г. Владикавказ, 2020 г., с. 240-243

16. Пицхелаури Ш.Н., Влияние стабилизации остова трицикла на величину курсового угла при движении по податливому основанию склона / Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Материалы 10-й международной научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки», г. Владикавказ, 2020 г., с. 33-37

17. Пицхелаури Ш.Н., Поперечная устойчивость трицикла на склоне / Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». Выпуск №57,.-2020г. – с.86-90.

18. Пицхелаури Ш.Н., Перспективы и проблемы использования трициклов с грузовой платформой в горных фермерских хозяйствах / Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». Выпуск №57,.-2020г. – с.90-93.

19. Пицхелаури Ш.Н., Динамическая устойчивость трицикла с наклоняющимся остовом против опрокидывания на вираже / Льянов М.С., Гагкуев А.Е., Пицхелаури Ш.Н. / Материалы всероссийской научно-практической конференции в честь 90-летия кафедр «Кормление, разведение и генетика сельскохозяйственных животных» и «Частная зоотехния» факультета технологического менеджмента. Владикавказ, 2021г. - с. 61-63.

20. Пицхелаури Ш.Н., Необходимость применения колесных машин повышенной устойчивости в горных фермерских хозяйствах с учетом ландшафтной специфики земельных угодий РСО- Алания / Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. / Материалы всероссийской научно-

практической конференции в честь 90-летия кафедр «Кормление, разведение и генетика сельскохозяйственных животных» и «Частная зоотехния» факультета технологического менеджмента. Владикавказ, 2021г. – с.63-66.

Патенты

1. Патент № 2748724 С1 Российская Федерация, МПК В62К 11/00. Трицикл с наклоняющимся остовом и грузовой платформой для горных фермерских хозяйств : № 2020132916 : заявл. 06.10.2020 : опубл. 01.06.2021 / М. С. Льянов, Ш. Н. Пицхелаури, С. А. Сланов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Горский государственный аграрный университет".

« УТВЕРЖДАЮ»



Директор НПВП «Наука»

Л.З. Засеев
Л.З. Засеев

М.С. Льянов 2019г.

Акт использования (внедрения) НИР

Мы, нижеподписавшиеся главный инженер (конструктор) научно-производственного внедренческого предприятия «Наука» Бесаев Аркадий Николаевич, с одной стороны и декан автомобильного факультета, заведующий кафедрой эксплуатации и сервиса транспортных средств ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор Льянов М.С. с другой, составили настоящий акт об использовании (внедрении) результатов НИР Пицхелаури Шота Нугзаровича, в практике проектирования перспективных мототранспортных средств.

Наименование объекта внедрения:

- методы аналитического определения курсового угла транспортного средства при движении по склону;
- результаты имитационного моделирования курсового движения мототранспортных средств на склонах;
- методика экспериментальных исследований мототранспортных средств по определению их курсовой устойчивости;
- конструктивные особенности МТС с возможностью сохранения вертикального положения остова на поперечном склоне.

Представитель ФГБОУ ВО

Горский ГАУ

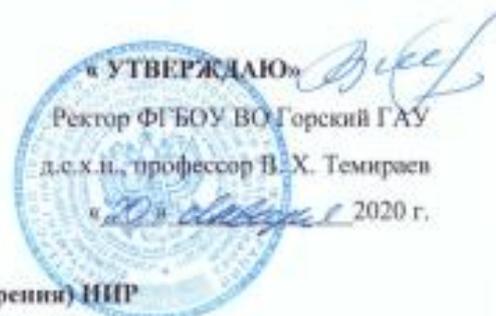
Представитель НПВП

«Наука»

М.С. Льянов
А.Н. Бесаев

М.С.Льянов

А.Н.Бесаев

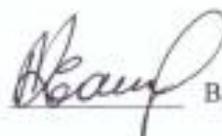


Акт использования (внедрения) НИР

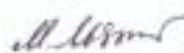
Мы, нижеподписавшиеся проректор по учебной работе ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор Каиров Валерий Рамазанович, с одной стороны и заведующий кафедрой эксплуатации и сервиса транспортных средств ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор Льянов М.С. с другой стороны, составили настоящий акт об использовании результатов НИР Пицхелаури Шота Нугзаровича, по теме: «Повышение устойчивости трицикла с наклоняющимся остовом при движении в поперечном направлении горных склонов», при проведении учебных занятий для студентов бакалавриата направления подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и студентов магистратуры направления подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, содержащей:

- теоретические методы анализа статической и динамической устойчивости мототранспортных средств на склоне, при сохранении вертикального положения остова трицикла;
- методы имитационного моделирования курсового движения трехколесных мототранспортных средств (трициклов) на склонах;
- методы имитационного моделирования устойчивости трициклов против опрокидывания на склоне;
- методику экспериментальных исследований мототранспортных средств по определению их курсовой устойчивости;
- конструктивные особенности МТС с возможностью сохранения вертикального положения остова на поперечном склоне.

Проректор по УВР Горского ГАУ,
д.с.х.н., профессор

 В.Р. Каиров

Зав. кафедрой эксплуатации и сервиса
транспортных средств, д.т.н., профессор

 М.С. Льянов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2748724

**ТРИЦИКЛ С НАКЛОНЯЮЩИМСЯ ОСТОВОМ И
ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМОЙ ДЛЯ ГОРНЫХ
ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Горский государственный агарный университет" (RU)*

Авторы: *Льянов Марат Савкузович (RU), Пицхелаури Шота
Нугзарович (RU), Сланов Сослан Аликович (RU)*

Заявка № 2020132916

Приоритет изобретения 06 октября 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 01 июня 2021 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 06 октября 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



