ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА»

На правах рукописи

МАХОНИН ВИТАЛИЙ ЛЕОНИДОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОМ ПРОИСШЕСТВИИ

2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук
Еремин Сергей Васильевич

Орел 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение..... 4

1 Безопасность дорожного движения с точки зрения аварийности и методологии в современной дорожно-транспортной экспертизе..... 13

1.1 Анализ статистики дорожно-транспортных происшествий в РФ и в мире……13

1.2 Обзор состояния вопроса методической базы на настоящее время в нашей стране ……...19

1.3 Определение параметров перемещения транспортных средств с точки зрения классического подхода ……22

1.3.1 Процесс торможения и тормозная диаграмма..... 24

1.3.2 Определение параметров торможения транспортного средства..... 29

1.3.3 Определение скорости движения транспортного средства при различных условиях 35

1.3.4 Определение параметров потери вертикальной устойчивости автомобиля..... 44

1.4 Анализ факторов, влияющих на возникновение неконтролируемого перемещения……...51

1.5 Выводы по главе……...53

2.Теоретический подход к изучению процесса взаимодействия автомобилей при дорожно-транспортном происшествии……...55

2.1 Общие положения и исходные гипотезы ……55

2.2 Математическая модель взаимодействия двух транспортных средств..58

2.3 Расчетная модель процесса потери вертикальной устойчивости транспортного средства.……....62

2.4 Решение прямой и обратной задачи при неконтролируемом перемещении транспортных средств …..……....68

2.5 Выводы по главе ……72

3 Совершенствование способа получения исходных данных для исследования неконтролируемого перемещения транспортных средств 74

3.1 Экспериментальные методы, позволяющие определить коэффициент сцепления ...……75

3.1.1 Устройства буксировочного типа ..…….……76

3.1.2 Устройства инерционного типа ….…….……78

3.1.3 Устройства имитационного типа ...…….……81

3.2 Общие положения экспериментальных исследований ...……83

3.3 Методология эксперимента и исходные параметры……..……84

3.4 Выводы по главе 92

4 Экспериментальные исследования неконтролируемого движения транспортных средств..... 93

4.1 Первый этап экспериментальных исследований (измерение с помощью предложенной установки) ……...93

4.2 Второй этап экспериментальных исследований (измерение с помощью прибора Эффект-02) ……...106

4.3 Сравнение результатов экспериментальных исследований ……108

4.4 Пример расчета неконтролируемого движения транспортного средства на примере реального происшествия ……121

4.5 Выводы по главе ……...127

5 Экономическая оценка внедрения предлагаемого способа ……128

5.1 Оценка экономической эффективности предложенного способа на примере дорожно-транспортного происшествия ……129

5.2 Выводы по главе..... 133
Основные выводы 134
Список литературы 136
Приложение 149
Приложение А 150
Приложение Б 152
Приложение В 157

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время жизнь ускоряется, подчиняясь техническому прогрессу и цифровизации. Процессы жизнедеятельности человека также подчиняются оптимизации, увеличению темпа и структурированию. Важную роль в данных процессах занимает логистический аспект, который тесно связан с дорожным движением. Все это приводит увеличению парка автомобилей, расширению улично-дорожной сети, росту интенсивности передвижения, а как следствие нагрузки как на водителей, так и на сам автомобильный парк. Это вызывает возникновение транспортно-логистических проблем, связанных с увеличением аварийности по тем или иным причинам. Дорожно-транспортные происшествия (далее ДТП) являются одной из основных проблем современного общества. Они приводят к экономическим и людским потерям, а ущерб от них настолько существенен, что государство вынуждено вводить федеральные программы по снижению аварийности. [2, 6, 91]

Однако, полностью исключить ДТП из жизнедеятельности человека на данном этапе невозможно, как и снизить тяжесть последствий от них. Поэтому определение механизмов и параметров движения участников до момента происшествия с целью установления их вины, является важной и актуальной задачей. [90-91]

Расследование дорожно-транспортных происшествий сопровождается радом процессуальных действий, которые направлены на выявление причинно-следственных связей. При этом одним из основополагающих следственных процессов является экспертиза дорожно-транспортных происшествий. На выводах эксперта зачастую базируется обвинительное заключение и заключение эксперта является основным доказательством по делу. Поэтому принципы проведения экспертного исследования и выводы эксперта должны строиться на адекватных методиках и моделях. [91]

Однако, в настоящее время не все вопросы исследования механизма дорожно-транспортного происшествия имеют своего адекватного разрешения. Так, в настоящее время нет достаточно обоснованных и понятных методов исследования неконтролируемого перемещения транспортных средств (далее ТС), вследствие воздействия внешних (внешнее силовое воздействие) или внутренних (неисправность одного из элементов, отвечающих за управляемость ТС) факторов. Но данный процесс можно назвать ключевым в понимании механизма дорожно-транспортного происшествия, поскольку в современных дорожно-транспортных экспертизах основой определения стадии сближения ТС обычно принимают (через законы физики) их перемещения после контакта, когда мы можем относительно точно установить траекторию перемещения транспортных средств вследствие наличия их следов перемещения. [9]

Несмотря на значительное количество исследований, связанных с дорожно-транспортными происшествиями, вопрос неконтролируемого перемещения автомобиля изучен крайне слабо. Например, в настоящее время замедление автомобиля при боковом перемещении оценивается линейной зависимостью от прямого торможения через постоянный множитель 0,8. Однако, дифференциация поворота колеса может оказывать влияние на силовые усилия в пятнах контакта. Кроме того, отсутствуют адекватные уравнения взаимодействия и перемещения ТС в момент контакта и после него, а имеющиеся формулы не отражают всю сложность процессов.

Степень разработанности темы. Вопросами исследования параметров движения транспортных средств при проведении дорожно-транспортной экспертизы посвящали свои труды Ю.Б. Суворов, Э.Р. Домке, В.А. Иларионов, С.А. Евтюков, В.А. Бекасов, Н.М. Кристи, Б.Е. Боровской, В.Н. Никонов, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, С.С. Евтюков, И.С. Брылев, Е.А. Китайгородский и др. отечественные ученые. Над вопросами выбора и получения исходных данных для исследования механизма происшествия автомобиля работали Г.В. Зимелев, Э.Г. Подлих, В.Ю. Гиттис, Е.В. Голов

Д.П. Великанов, Е.В. Михайловский, Н.В. Чудакова, Ю.В. Кузнецов, Д.А. Лазарев и многие другие советские и российские ученые. В иностранной литературе по данной проблематике отмечаются работы Р. Байэтта, Р. Уоттса, Д. Коллинза, Д. Морриса, Й. Раймпеля, Дж. Вонга и многих других.

Несмотря на довольно обширные исследования в области дорожно-транспортной экспертизе процессу неконтролируемого перемещения уделено очень мало внимания. Исследования ограничены расчетом скоростей транспортных средств при отбросе после столкновения, однако и эти расчеты используют крайне усредненную и ограниченную к влиянию исходных данных методику. В тоже время вариантов разброса спектра исходных данных в действительности значительно больше. Например, не освещен вопрос влияния угла поворота скользящего колеса относительно векторной оси проскальзывания, которая при различных положениях, вследствие своей сложной конструкции (различные варианты изготовления, а следовательно, и свойств, боковины шины и ее протектора) накладывает возможности вариативности работы шины в разных условиях геометрии расположения. Это в значительной степени усредняет и упрощает расчеты, что в свою очередь приводит к погрешностям расчета.

Экспериментальные исследования по данной теме проводились крайне скудно. Это связано прежде всего с отсутствием необходимого экспериментального оборудования. В настоящее время экспериментальные приборы и установки, которые позволяют получить необходимые данные для исследования перемещения автомобиля при прямом или не прямом скольжении (торможении, замедлении) фактически отсутствуют, поскольку в большинстве своем направлены на установление прямого торможения и не подразумевают вариативности. Кроме того, ряд приборов исключают возможность использования тех опорных элементов автомобиля (колес, или их отсутствие), которые были актуальны на момент дорожно-транспортного происшествия, позволяя проводит испытания лишь с имитирующими их поверхностями. Это в значительной степени снижает качество получаемого

массива исходных данных, что в свою очередь не позволяет построить адекватных моделей измерений и соответственно расчетных моделей прогнозирования перемещения транспортных средств. Это усугубляется тем фактом, что существующая в настоящее время взаимосвязь прямого и не прямого торможения (бокового скольжения) является прямопропорциональной функцией с коэффициентом зависимости равным 0,8, что усугубляет приближенность расчетных моделей.

Исходя из изложенного выше повышение достоверности построения моделей неконтролируемого перемещения транспортных средств в зависимости от адекватных массивов исходных данных, использующихся при расчетах в дорожно-транспортной экспертизе, через построение адекватной модели, основанной на законах теоретической механики и физики, а также выработка новых экспериментальных методов получения исходных данных в настоящий момент является актуальной и важной задачей.

Цель работы - повышение достоверности результатов дорожно-транспортной экспертизы при исследовании дорожно-транспортного происшествия.

Задачи исследования:

− проанализировать состояние безопасности дорожного движения в Российской Федерации;

− разработать математическую модель неконтролируемого перемещения автомобиля при изменении параметров штатного движения ТС;

− разработать способ измерения коэффициента сцепления при неконтролируемом перемещении транспортного средства с учетом угла расположения колес относительно вектора скольжения;

− исследовать зависимость изменения коэффициента сцепления автомобиля с опорной поверхностью с учетом изменения углов поворота колеса;

− определить адекватность результатов измерений предложенным способом измерения коэффициента сцепления посредством корреляции с результатами измерения параметров замедления транспортного средства с использованием сертифицированного измерительного средства;

− определить эффективность использования разработанного способа при выполнении дорожно-транспортной экспертизы.

Объект исследования. Процесс неконтролируемого перемещения транспортного средства в результате ДТП.

Предмет исследования. Взаимосвязь параметров перемещения транспортного средства и опорной поверхности в процессе ДТП.

Рабочая гипотеза состоит в том, что процесс возникновения неконтролируемого перемещения стоит рассматривать как явление, на возникновение которого влияет совокупность факторов, отдельное исследование которых позволяет разработать универсальную расчетную и экспериментальную базисную модель, которая дает возможность прогнозировать и производить расчеты моделей различных перемещений транспортных средств и как следствие – получать необходимые данные о степени виновности участников ДТП в частности и возможности к предупреждению аварийных ситуаций в целом.

Научная новизна исследования:

− Впервые введено понятие «неконтролируемое перемещение транспортного средства» для маркирования динамического процесса, описывающего потерю курсовой, поперечной или вертикальной устойчивости транспортного средства с его перемещением по сложным траекториям в результате ДТП.

− На основе установленной взаимосвязи начальной и завершающей фазы изменения положения ТС при дорожно-транспортном происшествии получена математическая модель определения динамических параметров неконтролируемого перемещения транспортного средства, в том числе с возможностью решения обратной задачи.

− Предложен и научно обоснован новый способ измерения коэффициента сцепления шин транспортного средства с опорной поверхностью при боковом скольжении колеса под различными углами относительно вектора скольжения.

− Установлены зависимости между коэффициентом сцепления шин транспортного средства с опорной поверхностью в процессе его неконтролируемого перемещения и значением угла расположения оси колес ТС относительно инерционной силы перемещения, а также состоянием опорной поверхности, при дорожно-транспортном происшествии.

Теоретическая и практическая значимость заключается в получении усовершенствованной методики исследования перемещения транспортных средств при прямом и не прямом скольжении (торможении), а также улучшенном подходе к методу получения исходных данных (значений коэффициента сцепления от различных углов поворота колес относительно вектора скольжения) для исследования процесса неконтролируемого перемещения транспортных средств при проведении дорожно-транспортной экспертизы с учетом изменяющихся условий.

Результаты исследований имеют прикладной характер и нашли свое применение в экспертных исследованиях обстоятельств дорожно-транспортных происшествий в экспертно-криминалистических подразделениях МВД России и экспертных организациях, которые специализируются на производстве дорожно-транспортных экспертиз.

Методология и методы исследования. Теоретико-методологической основой исследования явились математические (статистика, программирование), теоретические (моделирование, анализ и синтез) и эмпирические (наблюдение, сравнение, эксперимент) методы исследования процесса перемещения ТС.

Положения, выносимые на защиту:

1. Зависимости коэффициента сцепления шин ТС с опорной поверхностью при его неконтролируемом перемещении от состояния

опорной поверхности и значения угла расположения оси колес ТС относительно инерционной силы перемещения при ДТП;

2. Математическая модель расчета динамических параметров неконтролируемого перемещения транспортного средства, основанная на постулатах физической теории и теоретической механики, также позволяющая решать прямую и обратную задачу перемещения ТС при ДТП;

3. Способ измерения коэффициента сцепления при неконтролируемом перемещении транспортного средства с учетом угла расположения колес относительно вектора скольжения;

4. Результаты экспериментальных исследований параметров неконтролируемого перемещения транспортного средства с использованием сертифицированного средства измерения и разработанной установки.

Степень достоверности.

Достоверность диссертационного исследования подтверждена экспериментально, обеспечивается исследованием существующих методов получения исходных данных для подобного типа расчетов, корректным применением продуктов статистического анализа и оценкой адекватности выполненных измерений.

Апробация результатов.

Результаты исследования представлены на научных конференциях и семинарах: MATEC Web of Conferences (2021 г.), международной научно-технической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, ОГУ им. И.С. Тургенева, 2022 г.); международной научно-технической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, ОГУ им. И.С. Тургенева, 2023 г.); международной научно-технической конференции «Организация и безопасность движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, СпбГАСУ, 2023 г.), международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова (Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023 г.), E3S Web of Conferences (2023 г.).

Реализация результатов работы. Теоретические, научно-методические, прикладные и экспериментальные исследования, связанные с исследованием процесса торможения автомобиля, рекомендованы к практическому внедрению в Экспертно-криминалистическом центре УМВД России по Белгородской области, в работе Научно-исследовательской лаборатории транспортных и автотехнических исследований БГТУ им. В.Г. Шухова, в учебном процессе кафедры криминалистики Белгородского юридического института МВД России им. И.Д. Путилина, ряда экспертных организаций Белгородской области.

Информационная база исследования.

Законодательные и нормативные правовые акты, Стратегия безопасности дорожного движения, федеральные и региональные целевые программы развития транспортных систем, материалы федеральных и региональных органов власти, управлений и ведомств, статистические данные.

Личный вклад автора.

Автором сформулированы цели и задачи работы, определены и осуществлены направления теоретических и экспериментальных исследований.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта по пункту 6 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и пункту 9 «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности».

Публикации. Основные теоретико-методологические положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 5 печатных работах, в том числе 3 научные статьи в изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 2 статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (Scopus, Web Of Sciens). По теме диссертации получены два патента РФ на полезную модель №210446 и №217339.

В опубликованных работах автору принадлежат основные научные идеи, теоретические и расчетно-прикладные разработки, заключение и выводы.

Структура и объем диссертации. Структура и последовательность изложения результатов диссертационной работы определены целью и задачами исследования. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений, содержит 169 стр. текста, 19 табл., 75 рис. Литературный список включает 117 наименование.

ГЛАВА 1. БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ И МЕТОДОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ.

1.1 Анализ статистики дорожно-транспортных происшествий в РФ и в мире

Постоянный рост динамических процессов в обществе приводит в том числе и к ускорению логистики, что в свою очередь вызывает потребность в повышении уровня автомобилизации всех сфер жизнедеятельности. При этом возникает другая проблема – организация транспортного процесса, а также устранение последствий от перенасыщения отрасли движением и, как следствие, от возникновения аварийных ситуаций, т.е. вопросы организации и обеспечения безопасности движения. Общая аварийность в Российской Федерации при анализе в долгосрочной перспективе имеет тенденции к снижению, однако, уровень количества происшествий все равно еще достаточно высок, как и уровень травматизма на транспорте. Данный факт свидетельствует о том, что проблема аварийности на транспорте и меры по ее устранению или снижению ее влияния на социально-экономическую сферу деятельности общества является важной и значимой.

С 2014 г. наблюдается ежегодное снижение происшествий на автомобильном транспорте, как и падение уровня пострадавших в них людей, но в 2023 году наблюдается относительный рост этих показателей. Данная тенденция не может не вызывать опасений. В 2022 года количество ДТП составило значение 126705 единиц, а по итогам 2023 года эта цифра составляла 127428 единиц, что означает рост количества ДТП на 0,6% по сравнению с предыдущим годом. При этом такую же тенденцию имеет показатель пострадавших в результате ДТП граждан. В 2022 году цифра получивших телесные повреждения при ДТП составляла 159635 человек в то время как в 2023 году этот показатель достиг отметки 159838 человек, что

составляет рост на 0,1%. Рост не существенный, но если тенденция продолжится, то необходимо предпринимать меры по снижению аварийности. Другая картина наблюдается при анализе показателя погибших в результате ДТП граждан. Здесь наблюдается устойчивое снижение, что безусловно является положительной тенденцией. Динамика указанной статистики за 10 лет представлена на рисунках 1.1, 1.2. [12, 15]

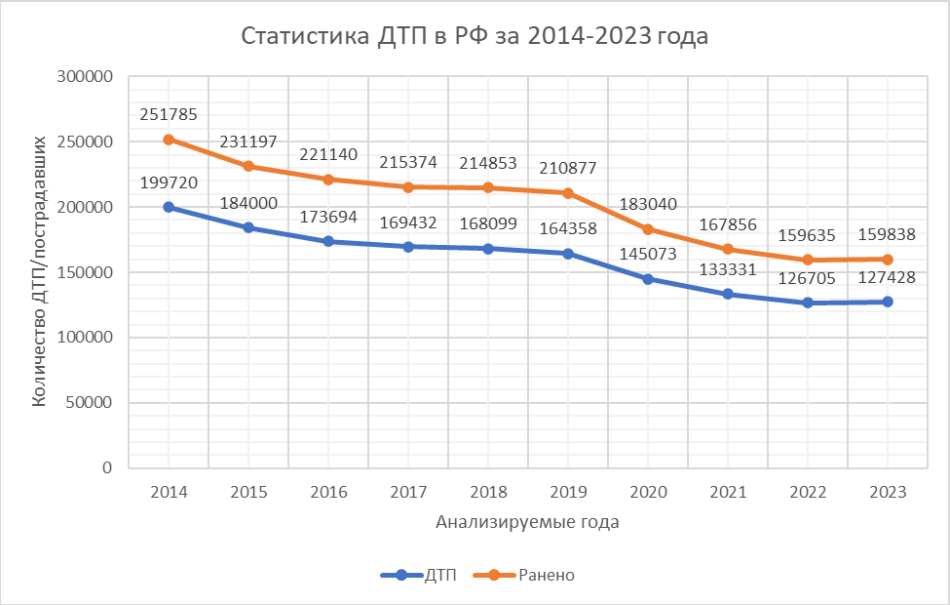


Рисунок 1.1 – Динамика количества ДТП с пострадавшими и числа раненых в них за 2014 – 2023 гг. РФ

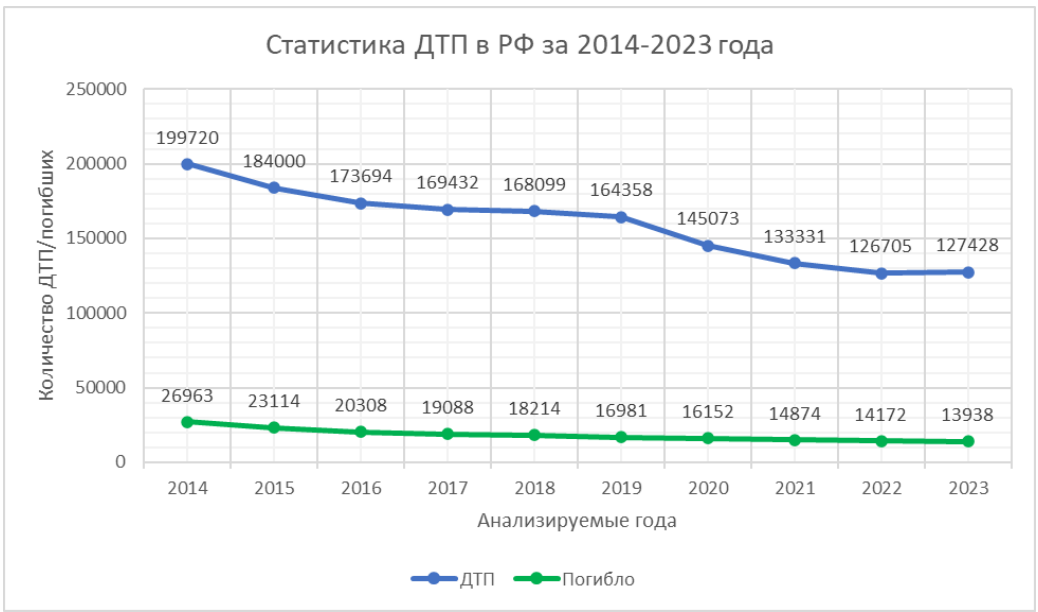


Рисунок 1.2 – Динамика количества погибших в ДТП за 2014 – 2023 гг. в РФ

Выборка статистики за 10 лет (с 2014 года по 2023 год) показывает, что в нашей стране за этот период произошло 1591840 дорожно-транспортных происшествий, в которых погибло 183804 человек, а получили увечья и травмы различной тяжести 2015595 человек, что безусловно выглядит значительными и пугающими цифрами. [18, 21]

Однако, не смотря на тенденциальное снижение количества погибших в результате совершения дорожно-транспортных происшествий граждан, проблема аварийности в РФ все еще актуальна, представляя угрозу как демографического характера, так и социально-экономического.

Как было указано выше, в разрезе годового периода и сравнения тенденций двух соседних отчетных годов количество дорожно-транспортных происшествий в нашей стране хоть незначительно, но растет.

Так согласно статистическим данным за период с начала этого года до его окончания было совершено на 0,6% дорожно-транспортных происшествий больше, чем в прошлом году, при этом на 0,1% было больше раненых чем за аналогичный период прошлого года. Может выступать положительной тенденцией только общее снижение смертей, которое наблюдается за последние годы, однако в целом статистика ущерба народному хозяйству от ДТП еще далека от приемлемых значений. [61]

Для анализа предпосылок к возникновению дорожно-транспортных происшествий был проведен анализ причин, которые составляют собой массив и которые были систематизированы на виды и подвиды. Наиболее часто встречающиеся причины составляют следующие группы. Это нарушение Правил дорожного движения РФ участниками ДТП; вождение в состоянии под действием алкогольных или наркотических веществ; несоблюдение безопасной дистанции; выезд на полосу, предназначенную для движения встречного направления; несоблюдение скоростного режима; невнимательность водителя; опасная езда.

Очень значимое место в статистических данных отводится проблеме вождения водителя в уставшем состоянии, когда он не способен адекватно

воспринимать дорожно-транспортную ситуацию или когда засыпает за рулем и не контролирует движения автомобиля. Распределение по видам ДТП показано на рисунке 1.4.

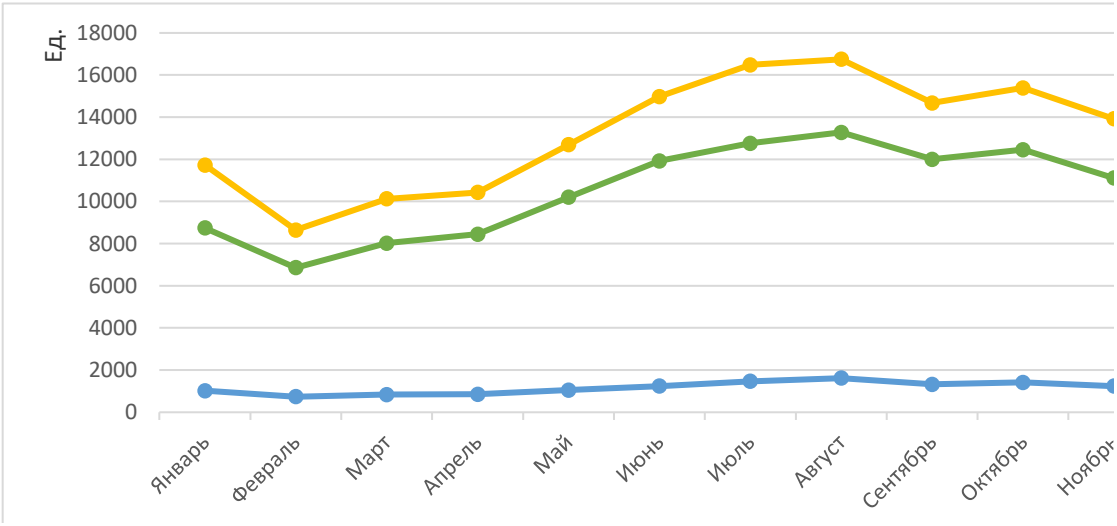


Рисунок 1.3 – Динамика дорожно-транспортной аварийности в РФ по месяцам, ед.

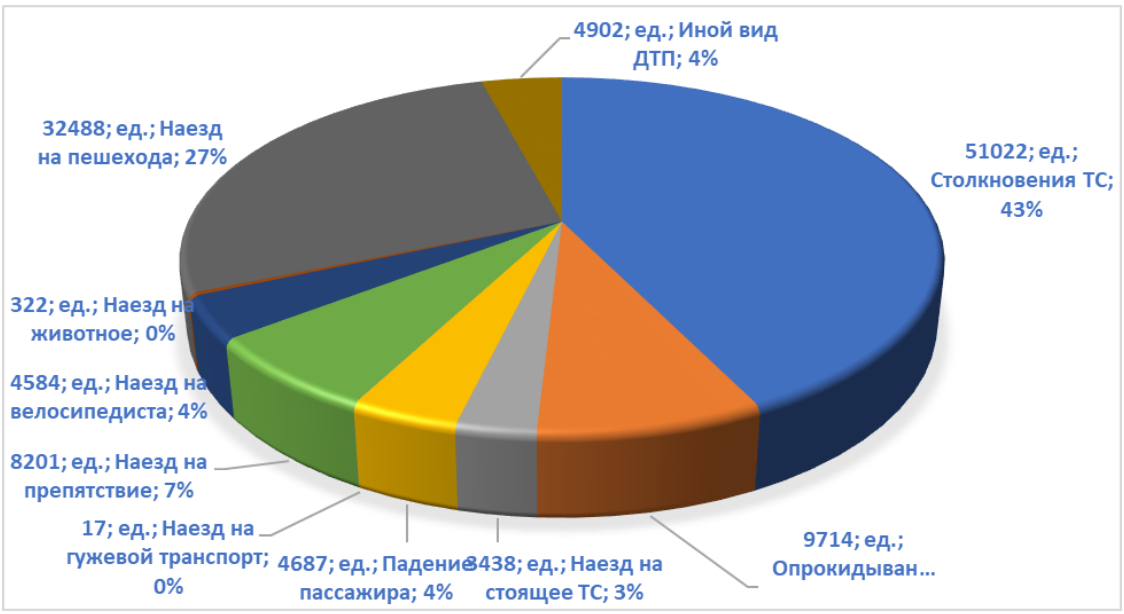


Рисунок 1.4 – Количество происшествий и их процентное соотношение от общего числа ДТП (%), ед.

Анализ статистики по месяцам за 2023 год показывает, что наибольшее количество дорожно-транспортных происшествий наблюдается в летний период. Это прежде всего связано с увеличением средней интенсивности и скорости передвижения транспортных, а также в осенне-зимний период, когда ухудшающиеся дорожные условия приводят к росту ДТП.

Анализ статистики ДТП в Белгородской области показал, что за 2014-2023 года общий тренд к снижению количества ДТП не просматривается, оставаясь на стабильно высоком уровне. С 2022 года наблюдается тенденция к росту каждого вида ДТП, в том числе эта тенденция продолжилась и в 2023 году.

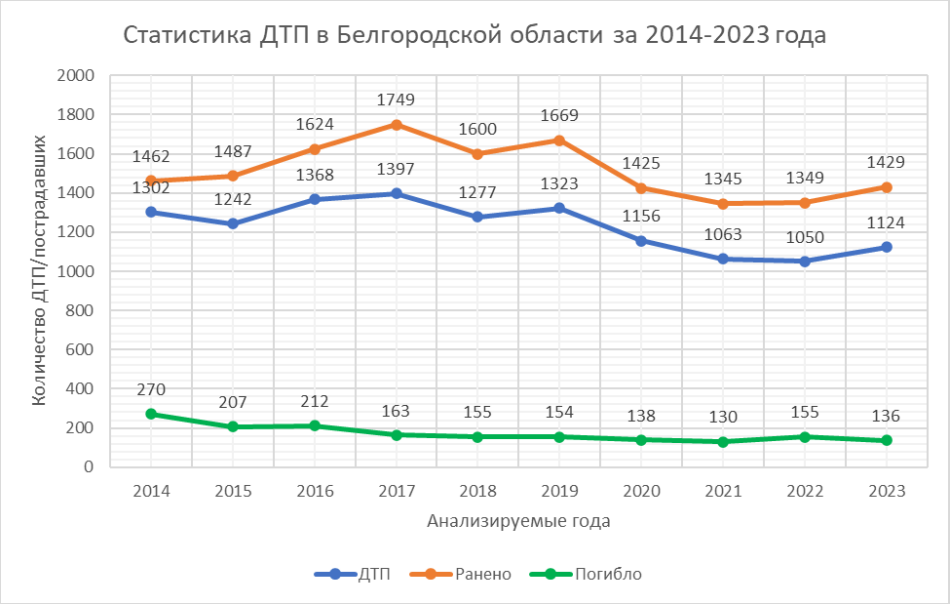


Рисунок 1.6 – Статистика ДТП Белгородской области за 2014 – 2023 гг.

В Белгородской области согласно статистических данных наиболее распространенные виды ДТП – это столкновение ТС; различные наезды (на препятствия, пешехода, велосипедиста и т.д.); опрокидывание транспортного средства (рис. 1.6). Наиболее выраженные по количеству возникновений это столкновение ТС, наезд на пешехода, опрокидывание. [21]

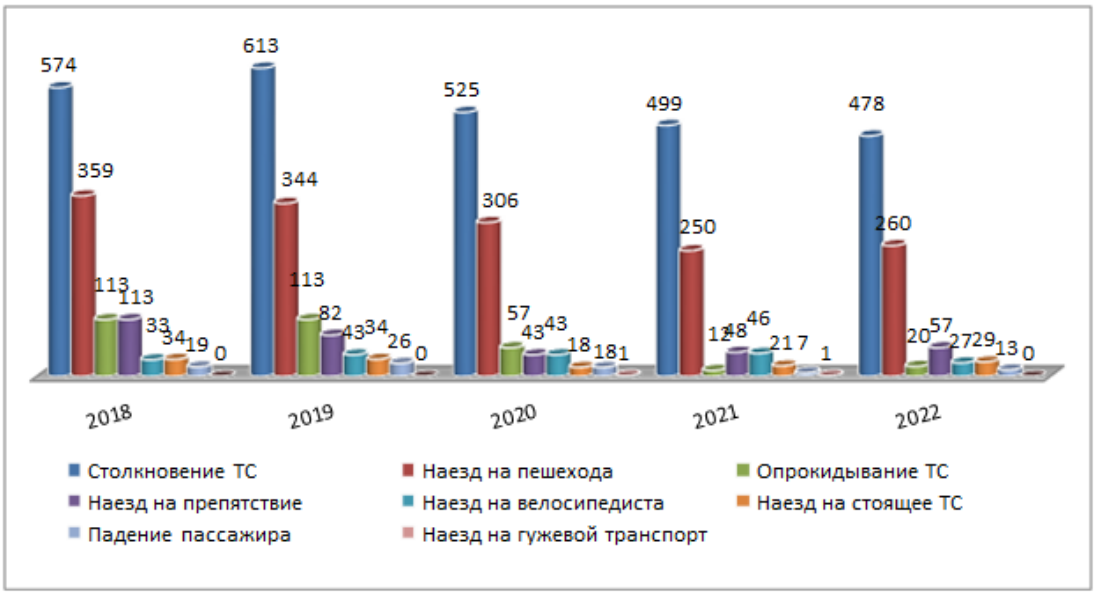


Рисунок 1.6 – Основные виды ДТП Белгородской области за 2018 – 2022 гг.

Анализируя рисунок 1.6, на котором представлено количество каждого вида ДТП в Белгородской области, можно заметить, что с 2018 г. по 2021 г. количество совершенных дорожно-транспортных происшествий уменьшается, кроме столкновений транспортных средств, но 2022 г. значения всех видов ДТП снова стали расти. В городе Белгороде за 2018-2022 (рисунок 1.7) показывает, что после пика в 2019 году наметилась тенденция к снижению по всем показателям. [92]

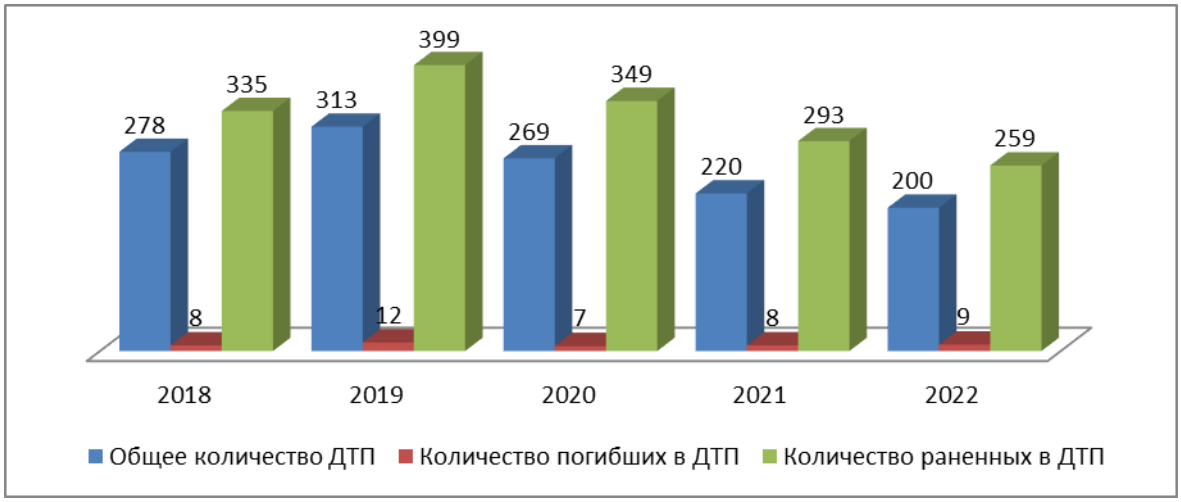


Рисунок 1.7 – Общее количество ДТП, количество погибших и раненных в ДТП в г. Белгороде за 2018 – 2022 гг.

Из данного графика следует, что количество происшествий с 2018 года показывало тенденцию к росту до 2019 года, однако, со следующего отчетного года 2020 стала снижаться. В итоге анализируя пятилетний период в конечный отчетный год (2022 год) по сравнению с пиком (2019 год) снижение достигло показателя в 36%. Аналогичным трендом снижались показатели погибших и раненых. За 2023 год тенденции снижения аварийности в городе Белгороде продолжились. Также статистика по России в общем показывает корреляцию численности населения региона и количества дорожно-транспортных происшествий, что является логичным трендом. Снижение аварийности в Российской Федерации и Белгородской области в частности за 10 лет показывает действенность государственных мер по профилактики и пропаганде безаварийного перемещения на дорогах общего пользования.

Для устранения отрицательной тенденции в дорожном движении Российской Федерации необходимо повысить контроль за безопасностью движения автотранспорта, информировать водителей о дорожно-транспортной ситуации на отдельных участках улично-дорожной сети, в том числе используя технические новинки, цифровые технологии и передовой опыт других стран. Вместе с тем, в случаях, когда обозначенные меры не исключают возможности ДТП, а сам факт его наличия требует экспертного сопровождения, то необходима выработка методов и инструментов решения стоящих перед экспертом вопросов.

1.2 Обзор состояния вопроса методической базы на настоящее время в нашей стране

В нашей стране основными источниками данных при производстве дорожно-транспортных экспертиз являются общепринятые методики, разработанные Минюстом СССР в 1960-х годах. Наиболее сформированный

и методический вид методики исследования расчетных методов дорожно-транспортных экспертиз получили в 1980-х годах в работах Илларионова В.А., Кристи Н.М. и Боровской Б.Е., которые также имели отношение к ВНИИСЭ Минюста СССР [8, 34, 44]. С тех пор основные методические рекомендации к использованию расчетных методов исследования обстоятельств дорожно-транспортных происшествий менялись крайне незначительно, оставаясь базисом к данному виду исследований. В 2010 году Экспертно-криминалистический центр МВД России выпустил большое книжное издание [88], которое включало в себя различные методики различных криминалистических направлений, которые были рекомендованы к использованию в экспертно-криминалистических подразделениях нашей страны. Кроме прочего, там имелась типовая методика определения технической возможности предотвращения наезда транспортного средства на пешехода, которая обобщала и дополняла все существующие методы расчетного исследования обстоятельств ДТП данного вида. Однако, данная методика касалась только исследований процессов, происходящих при наезде на пешехода, что не позволяет применять ее к расчету сценариев столкновений транспортных средств и случаям потери курсовой и вертикальной устойчивости транспортных средств. Это значительно сужает спектр возможных исследований обстоятельств дорожно-транспортных происшествий. Иные методические и научные изыскания встречаются крайне редко и как правило касаются узкого спектра исследований. Например, в исследованиях Питерской школы (С.А. Евтюков, В.Н. Добромиров, С.С. Евтюков, И.С. Брылев) исследования затрагивают возможность получения исходных данных при специфических условиях:

- торможение двухколесного транспорта [26], волочение пешеходов в процессе их отброса [22], торможение транспортных средств на различных нетипичных поверхностях [29];

- общие концепции дорожно-транспортной экспертизы [23];

- исследование затрат кинетической энергии движения ТС при ДТП [19].

Однако, комплексный подход к исследованию движения автомобиля и получению адекватных моделей его перемещения в различных не зависящих от водителя обстоятельствах не имел системного и распространенного подхода. Все попытки сдвинуть вопрос с мертвой точки встречал сопротивление, покрепленное аргументом о том, что физические законы с тех пор не изменились. В целом аргумент верный и не вызывающий сомнений с точки зрения базиса научного исследования, однако, противоречивость данного утверждения связана с отсутствием как таковой адекватной модели исследования перемещения ТС в неконтролируемом состоянии даже с учетом методов теоретической механики и физики, поскольку данный вопрос не исследовался системно и в целом. Кроме того, вопросы получения массива исходных данный в современной научной и экспертной среде по данному направлению базово отсутствует, что актуализирует возможность изысканий в данном направлении.

Однако, опытом описанных выше работ пренебрегать нельзя и на его базисе, с учетом законов теоретической механики и физики, возможно построить адекватную модель расчетного исследования сложного (неконтролируемого) перемещения транспортного средства (или транспортных средств) с учетом вариативности постановки вопроса и задач.

К основным вопросам данного научного исследования следует обозначить:

− разработку математической модели неконтролируемого перемещения автомобиля, которая будет зависеть от различных независимых переменных, которые не учитываются в классических методиках;

− уточнение методики определения коэффициента сцепления транспортного средства при его неконтролируемом перемещении в различных эксплуатационных условиях, опираясь на конструктивные особенности, под влиянием различных углов расположения оси колес ТС с

целью получения исходных данных для адекватного расчета математических зависимостей полученной модели.

С учетом данных основных задач необходимо структурировать разделы данного диссертационного исследования. Прежде всего необходимо рассмотреть теоретический расчетный базис существующих методов, с целью выявления его слабых сторон, требующих устранения.

1.3 Определение параметров перемещения транспортных средств с точки зрения классического подхода

В настоящее время в нашей стране расчетные методы исследования обстоятельств дорожно-транспортных происшествий при проведении дорожно-транспортной экспертизы затрагивают только базисные расчеты скорости движения транспортных средств и их экстренного торможения, а таже частные случаи данных расчетов.

Расчетные методы обстоятельств механизма ДТП включают соответствующие математические модели и формулы для определения параметров движения ТС, основанные на кинематических и динамических показателях автотранспортных средств, таких как физические и геометрические характеристики ТС, состояние дорожного покрытия и другие факторы. Расчетные методы обстоятельств ДТП занимают значительную часть вопросов, решаемых в рамках исследований дорожно-транспортных судебных экспертиз при расследованиях ДТП, определении степени вины участников, определении причинно-следственных связей и принятии необходимых и достаточных мер по повышению путем различных мероприятий безопасности дорожного движения и устранения или снижения тяжести последствий, наступивших в результате ДТП. Классические методы базируются на физических и инженерных принципах, применяются для достоверного и объективного анализа причин и условий возникновения

происшествий, восстановления их обстоятельств на основе имеющихся исходных данных и исчерпывающих фактов [4, 20].

Одним из основных расчетов параметров движения транспортных средств является расчет скорости движения ТС, который в зависимости от условий движения транспортного средств использует разные методы и базисные законы, включающие в обязательном порядке в свою основу физические принципы, математическое моделирование и использование следовых и исходных данных, полученных методом обнаружения и фиксации следовой обстановки, а также с использованием телеметрических систем, регистраторов данных и средств объективного контроля. Также для получения исходных данных возможно проведение следственных экспериментов. Расчетные формулы учитывают в своей структуре такие параметры, как расстояние перемещения центра масс в заторможенном или ином состоянии, следы качения, торможения, бокового скольжения на проезжей части, а также другие факторы, которые позволяют определить скорость до момента начала торможения, в момент происшествия, а также затраты кинетической энергии после происшествия в процессе отброса. Информация о скорость движения транспортных средств позволяет экспертам проанализировать дорожно-транспортную обстановку непосредственно до момента ДТП, соотнести ее с объективными данными и составить более точную структурную реконструкцию механизма происшествия в целом, выявить предпосылки и динамику событий перед происшествием. [3, 16, 25]

В классических расчетах обстоятельств ДТП при проведении дорожно-транспортной экспертизы определение скорости движения транспортных средств подразумевает комплексный подход к расчету, который включает определение затрат кинетической энергии на перемещение какого-либо объекта (транспортного средства, пешехода, препятствия) на условное расстояние отсчета при преодолении сопротивления перемещению (в данном случае, сопротивлением движению выступает сила трения, которая в свою

очередь зависит от замедления и коэффициента сцепления, как конечной единицы расчета). Данный постулат является фундаментальным базисом понимания уравнения динамики перемещения транспортных средств.

1.3.1 Процесс торможения и тормозная диаграмма

Для понимания самого процесса определения скорости перемещения автомобиля необходимо понимать принцип базового условия: транспортное средство должно быть полностью остановлено, т.е. затраты кинетической энергии в процессе перемещения ТС должны стремиться к нулю и быть полностью растрачены, т.е. это означает полную диссипацию кинетической энергии транспортного средства до начала падения скорости в результате заторможенного состояния. Движение транспортного средства подразумевание наличие кинетической энергии, которая является результатом воздействия различных факторов, таких как скорость, силовой баланс, масса автомобиля, инерционные силовые и внешние процессы. Когда водитель начинает воздействовать на баланс описанных выше факторов (например, уменьшая подачу топлива в силовой агрегат или воздействуя на педаль тормозного привода), автомобиль начинает замедляться из-за возникающих сил сопротивления движению. Данный процесс также зависит от ряда факторов. Например, сопротивление воздуха, трение протектора шин колес автомобиля об абразивную поверхность (дорожное покрытие) и механические характеристики механизмов систем управления транспортным средством. При этом торможение автомобиля не происходит мгновенно. Лучше всего процесс торможения автомобиля характеризует так называемая тормозная диаграмма (Рисунок 1.8), которая наглядно показывает все этапы, которые проходит автомобиль при торможении.

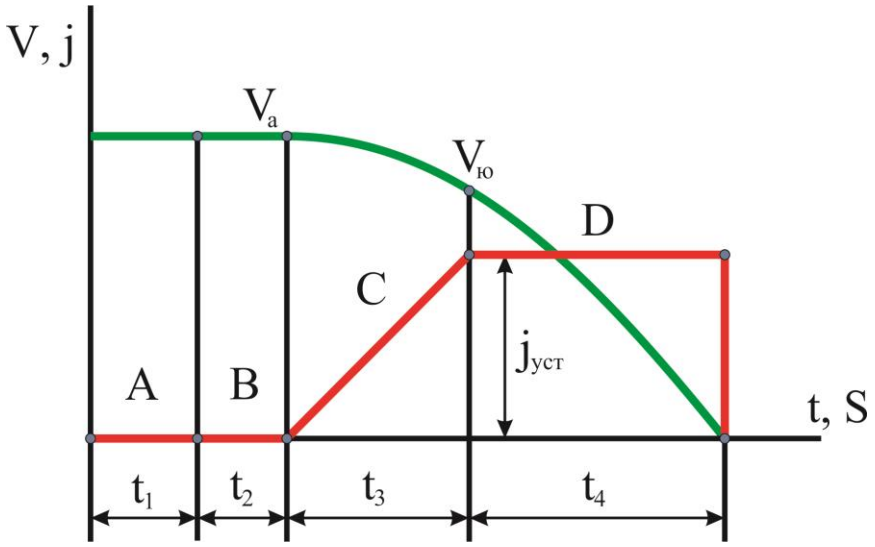


Рисунок 1.8 – Тормозная диаграмма

Тормозная диаграмма – это график, включающий зависимость значений скорости и замедления транспортного средства от времени его торможения [77, 85]. При этом первым этапом времени считается время реакции водителя (t_1); вторым этапом – время запаздывания торможения (t_2); третьим – время нарастания замедления (t_3); основным этапом торможения – время установившегося замедления (t_4). [85]

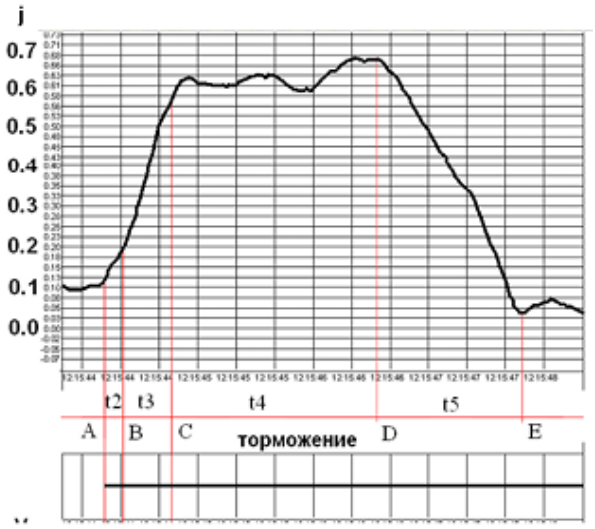


Рисунок 1.9 – Пример экспериментального отображения тормозной диаграммы

Участок А – период, который затрачивает водитель на осознание опасной обстановки и на нажатие на педаль тормоза; участок В – период срабатывания тормозного привода; участок С – период нарастания замедления после блокировки колес; участок D – период эффективного торможения ТС с установившимся максимальным замедлением; участок Е – период оттормаживания ТС остановки до полной остановки (если оттормаживание имеет место быть). [86]

В момент возникновения опасной обстановки (точка О) водитель транспортного средства, перемещаясь со скоростью V_a, замечает указанную выше опасность, после чего принимает решение применить экстренное торможение и переносит ногу на педаль тормоза, нажимая на нее.

Второй участок В характеризует время, когда тормозной привод доводит механическое усилие от педали через кинематические (жидкостные или пневматические) связи до тормозных механизмов. В этот момент автомобиль еще не находится в заторможенном состоянии. Данное время является временем запаздывания тормозного привода t_2.

На участке С (время t_3) замедление начинает расти до своего максимального значения после чего, его достигнув, на участке D (время t_4) устанавливается на постоянном значении, а после окончания торможения опускается до нулевого значения.

Интервалы времени t_1, t_2, t_3 являются дифференцированными и выбираются исходя из дорожно-транспортной ситуации по таблицам института судебных экспертиз, а также в соответствии с нормативной литературой.

Время t_4, которое является временем установившегося (эффективного) торможения определяется путем расчета через простейшие физические формулы, а также экспериментальным путем.

Время реакции водителя выбирается исходя из совокупности факторов, таких как пол человека, психофизиологическое его состояние, возраст, опыт и квалификация. Поэтому эксперты в своих расчетах применяют

усредненные дифференцированные значения времени реакции водителя, которые отнесены к конкретной дорожно-транспортной ситуации.

Единое время реакции водителя, как это устоялось в некоторых странах, не применяется для всех возможных условий и ситуаций, поскольку от водителя транспортного средства невозможно требовать предельной концентрации в любой дорожной обстановке и готовности в любых ситуациях выполнять необходимые действия по предотвращению или предупреждению происшествий. Так, например, не редки случаи, когда объект, создающий опасность, появляется внезапно, без явных признаков ее возникновения. Однако, есть примеры, когда, напротив, водитель имеет возможность предвидеть опасность и место, где оно может появиться, а следовательно, водитель может своевременно предпринять меры к исключению возможности к происшествию своими действиями. Поэтому время реакции водителя дифференцировано и зависит от развития дорожно-транспортной ситуации. [93]

В нашем государстве для определения времени реакции водителя применяются разработанные научно-исследовательским институтом судебных экспертиз (ВНИИСЭ) дифференцированные таблицы. Эти таблицы представляют собой обобщенные данные, полученные в результате исследований, которые дифференцируют выбор времени реакции водителя исключительно от ситуативных обстоятельств в определенной типичной дорожно-транспортной ситуации (далее ДТС).

Значения времени варьируется в пределах от 0,6 секунд до 1,4 секунды, а при особо сложных и уникальных ДТС, которые называются свободными, к данным значениям могут прибавляться величины от 0,6 секунд до 1.2 секунды. В случаях, когда водитель имел возможность обнаружить своевременно опасность избирается меньшее значение времени реакции и наоборот, большее значение выбирается в том случае, когда водитель не имел предпосылок к своевременному обнаружению опасности или не мог ее предвидеть.

Интервал времени от момента, когда водитель нажимает на педаль привода тормозного механизма и до момента, когда срабатывает тормозной привод и появляется начальное замедление называется временем запаздывания срабатывания тормозного привода t_2.

Когда замедление начинает расти, с момента сработки тормозной системы и до того момента, когда замедление достигает своего максимума является временем нарастания эффективного замедления и обозначается как t_3.

Интервалы времени $t_2 + t_3$ в своей совокупности составляют время $t_{ср}$, которое называется временем срабатывания тормозной системы. Это период времени от нажатия водителем на педаль тормоза и начала торможения до того момента, когда замедление устанавливается на максимальном своем значении.

Время срабатывания тормозной системы в нормативной литературе делится на два значения исходя из устройства привода тормозов: с гидравлическим приводом значение доходит до 0,5 секунд, а с пневматическим или пневмогидравлическим приводом – до 0,8 секунды.

Время запаздывания торможения определялось экспериментально лабораторией ВНИИСЭ и сводилось в соответствующие таблицы, при этом значения, исходя из категории автомобиля варьируется в пределах 0,1ч0,2 секунд.

Аналогично и для времени нарастания замедления, значения которого таже определены экспериментально и варьируются в пределах 0,1ч0,6 секунд. Помимо этого, следует учитывать, что время нарастания замедления коррелирует со значениями коэффициента сцепления и степени загрузки транспортного средства. Степень загрузки ТС делится на три группы: снаряженная масса, 50%-я загрузка и полная загрузка, вследствие чего выбирается соответствующее значение времени нарастания замедления. При этом, с учетом предыдущего условия, также следует учитывать, что со снижением значения коэффициента сцепления колес автомобиля при

различных условиях (сухой асфальтобетон, мокрый асфальтобетон и т.д.) время нарастания замедления также приобретает тенденцию к снижению.

1.3.2 Определение параметров торможения транспортного средства

Установившееся замедление – это средняя константа величины замедления транспортного средства на временном промежутке фазы торможения, когда торможение является стабильным и установившимся, а именно от момента окончания нарастания замедления автомобиля и до окончания его эффективного торможения.

В Российской Федерации показатели эффективности тормозных систем транспортных средств установлены нормами ГОСТ 33997–2016 [14]. Данный документ устанавливает нормированную величину замедления рабочей тормозной системы для автомобилей легковой категории при условии нахождения их в снаряженном состоянии и при торможении на сухом асфальтобетонном покрытии до величины не менее 5,8 м/с^2. Остальные транспортные средства по нормам этого же документа замедление составляет величину не менее 5,0 м/с^2.

Замедление любого транспортного средства расчитывается исходя из значений коэффициента сцепления шин с дорогой по формуле:

$$j_a = \varphi \cdot g \,. \tag{1.1}$$

Опираясь на данную формулу можно констатировать, что замедление автомобиля прямопропорционально коэффициенту сцепления шин с опорной поверхностью φ, через постоянную величину (в качестве коэффициента корреляции) ускорения свободного падения g. В случае отсутствия возможности получения экспериментальных замеров коэффициента сцепления шин с опорной поверхностью, его определяют по табличным усредненным значениям в зависимости от загрузки ТС, с учетом типа и состояния покрытия дороги (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Коэффициент сцепления шин с дорогой согласно справочнику НИИАТ

Тип покрытия	Значение коэффициента	
	На сухом покрытии	На мокром покрытии
Асфальтобетонное	0,7-0,8	0,4-0,5
Гравийное	0,6-0,7	0,3-0,4
Грунтовое	0,5-0,6	0,2-0,4
Снежный накат	0,2-0,3	
Гололед	0,1-0,2	

В действительности эффективное торможение всеми колесами транспортного средства, вследствие различных факторов и условий торможения, не наблюдается (или наблюдается очень редко). Вследствие этого значения замедления ниже значений, полученных расчетным путем. Ориентируясь на данное утверждение различные ученые в свое время пытались решить эту проблему введением дополнительного коэффициента. Так у Кристи Н.М [44] данный коэффициент обозначен как коэффициент эксплуатационных условий торможения. Илларионов В.А. и Решетников Е.Б. [33] называли его коэффициент эффективности торможения, а в системе НИИАТ [НИИАТ] его считали коэффициентом эксплуатационного состояния тормозов. Однако, каждый из источников варьировал этот коэффициент в пределах 1,0-2,0 в зависимости от характеристик системы. В формуле 1.1 данный коэффициент будет уравновешивать объективные переменные обратной пропорцией:

$$j_a = \frac{\varphi \cdot g}{k_э}. \qquad (1.2)$$

Однако, следует отметить, что данный коэффициент был актуален на заре автомобилестроения, когда тормозные системы были просты и механизированы в большей части. Но с развитием тормозных систем и механизмов, а также сопутствующих систем (ABS, BAS, ESP, EBD, IVD и т.д.) введение такого коэффициента потеряло свою актуальность.

С учетом большинства факторов, действующих на тормозящий автомобиль его замедление определятся по формуле:

$$j_a = \left(\frac{P_W}{m \cdot g} + \frac{\varphi \cdot \cos\alpha}{k_э} \pm \sin\alpha + f \cdot \cos\alpha \right) \cdot \frac{g}{\delta}, \quad (1.3)$$

где P_W – аэродинамическая сила сопротивления воздуха;

m – снаряженная или полная масса транспортного средства;

α – угол продольного уклона дороги;

f – коэффициент сопротивления перемещению ТС в состоянии качения;

δ – коэффициент инерции вращающихся масс.

Знак «плюс» перед показывает, что в случае торможения автомобиля на подъеме замедление увеличивается не за счет реализуемой тормозной силы, которая наоборот уменьшается, а за счет силы сопротивлению подъему.

Силы сопротивления воздуха на практике из уравнения движения опускается, поскольку считается, что она не влияет значительно на значение замедления, как и инерция вращающихся деталей автомобиля. С учетом этого уравнение 1.3 принимает вид:

$$j_a = \left(\frac{\varphi \cdot \cos\alpha}{k_э} \pm \sin\alpha \right) \cdot g. \quad (1.4)$$

Также очень часто возникает момент, когда не все колеса транспортного средства подвержены торможению. В таких случаях замедление автомобиля определяется по специальным формулам.

В случае, когда не тормозит одно колесо передней оси:

$$j_н = \frac{g \cdot (L + a) \cdot j}{2 \cdot g \cdot L + h_{ЦТ} \cdot j}, \quad (1.5)$$

где L – конструктивная база автомобиля, м;

$h_{ЦТ}$ – высота центра масс автомобиля, м;

a – расстояние от передней оси до центра масс автомобиля, м;

j – замедление автомобиля на участке дороги без уклона, м.

Не тормозит одно колесо задней оси:

$$j_н = \frac{g \cdot (2 \cdot L - a) \cdot j}{2 \cdot g \cdot L - h_{ЦТ} \cdot j}. \quad (1.6)$$

Не тормозят колеса задней оси и одно колесо передней оси:

$$j_н = \frac{g \cdot (L - a) \cdot j}{2 \cdot g \cdot L - h_{ЦТ} \cdot j}. \quad (1.7)$$

Не тормозят колеса передней оси и одно колесо задней оси:

$$j_н = \frac{g \cdot a \cdot j}{2 \cdot g \cdot L + h_{ЦТ} \cdot j}. \quad (1.8)$$

Не тормозят колеса задней оси:

$$j_н = \frac{g \cdot (L - a) \cdot j}{2 \cdot g \cdot L - h_{ЦТ} \cdot j}. \quad (1.9)$$

Не тормозят колеса передней оси:

$$j_н = \frac{g \cdot a \cdot j}{g \cdot L + h_{ЦТ} \cdot j}. \quad (1.10)$$

Не тормозят колеса одной стороны:

$$j_н = \frac{j}{2}. \quad (1.11)$$

Если ТС в процессе следообразования двигалось в состоянии заноса (с боковым скольжением), то значения замедления рассчитываются следующим образом:

$$j_б = 0{,}8 \cdot j \text{ или } j_б = 0{,}8 \cdot g \cdot \varphi. \quad (1.12)$$

В случае если в процессе перемещения с заносом и разворотом ТС развернулось на угол кратный 180°, величина замедления может быть определена по формулам:

$$j_б = 0{,}6 \cdot j \text{ или } j_б = 0{,}6 \cdot g \cdot \varphi. \quad (1.13)$$

Как видно из приведенных формул, неконтролируемое перемещение транспортного средство представлено только линейной зависимостью через постоянный множитель 0,8 (в зависимости от условий 0,6), что неприемлемо и приводит к значительным погрешностям и отклонениям расчета.

Использование коэффициентов, которые в своем массиве в основном усреднены и приведены к границам определенного диапазона, в существующей практике хоть и логично, однако, является недостатком. Использование данных коэффициентов не приведено к общему алгоритму выбора и при использовании двух граничных значений из определенного диапазона чисел может привести к разнице в значениях замедления при двух различных расчетах до 30-40%. Это может привести к разночтениям и трактованиям обстоятельств происшествия, что, в целом, недопустимо. Выходом в данной ситуации может служить ходовые испытания и следственные эксперименты, которые позволяют устанавливать данные, максимально приближенные к реальным значениям.

Однако, в нашей стране на настоящий момент экспериментальные замеры крайне мало распространены, а эксперты используют в экспертной практике усредненные значения замедления различных категорий ТС, формирование которых было осуществлено во времена СССР в результате ходовых замеров марок транспортных средств, наиболее распространенных и доступных к испытаниям. Очевидно, что по характеристикам данные объекты от современных моделей отличаются сильно.

В экспертной среду не нова дискуссия относительно целесообразности использования параметров торможения, полученных в результате усреднения статистических данных ходовых испытаний неактуальных на данный момент транспортных средств. Также, вследствие отсутствия возможности проведения испытаний на недоступных (в те времена) транспортных средствах так называемого капиталистического лагеря, в имеющихся таблицах отсутствуют данные о значениях замедления зарубежных автомобилей, а также транспортных средствах, оборудованных системами

ABS, BAS, ESP, EBD, IVD и т.д. Попытка обновить эти данные современным пособием ВНИИСЭ [17] к сожалению не упразднила эту дискуссию, поскольку не привнесла ничего нового в массив значений замедления.

Единственным адекватным способом получения наиболее точных и актуальных значений величины замедления транспортного средства является проведение следственного эксперимента. При этом с сожалением нужно отметить, что в действительности его используют крайне редко, поскольку данный способ трудоемок, подразумевает использование специального оборудования, сложен в механизме реализации и проведения, а также не всегда исследуемое транспортное средство после происшествия пригодно к проведению ходовых испытаний, вследствие наличия полученных повреждений.

Одним из основных приборов в нашей стране, который хорошо проявил себя при проведении ходовых испытаний эффективности тормозных систем транспортных средств, является прибор ЭФФЕКТ 02, который изготавливается в г. Жигулевск компанией Мета. Данный прибор помимо значения замедления также способен определять такие параметры как время нарастания замедления и время срабатывания тормозного привода, что крайне облегчает работу эксперта. [33]

Однако, как указано было выше, на транспортных средствах, не пригодных к ходовым испытаниям, данный прибор использовать не получится. В этом случае перспективным методом получения исходных данных следует считать способ динамометрирования, т.е. использование автомобиля-тягача, соединенного через динамометр с испытуемым транспортным средством, вследствие чего можно определить тяговую силу, эквивалентную инерционной (если бы данное транспортное средство перемещалось с замедлением, вызванным естественным трением при торможении). С учетом весовых характеристик испытуемого транспортного средства возможно получить расчетный коэффициент сопротивления перемещению и (или) корреляционное ему замедление:

$$\varphi = \frac{F}{m \cdot g} \Rightarrow j_a = \frac{F}{m}, \quad (1.14)$$

где F – значение силы тяги, Н;

m – масса транспортного средства (в зависимости от условий дорожно-транспортного происшествия), кг;

j_a – замедление транспортного средства, которое необходимо определить, м/с^2;

φ – коэффициент сопротивления перемещению, который эквивалентен коэффициенту сцепления при торможении.

Данный способ может быть основой для создания прибора, установки или комплекса, который позволит определять экспериментальные данные параметров торможения транспортных средств, а также позволит скорректировать статистические данные параметров замедления транспортных средств, с учетом особенностей современных конструкций тормозных систем и тенденций к их развитию.

1.3.3 Определение скорости движения транспортного средства при различных условиях

Основная формула расчета скорости движения транспортного средства имеет вид [53,77]:

$$V_a = 17{,}7 \cdot \varphi_1 \cdot t_3 + \sqrt{254 \cdot \left(\varphi_1 \cdot S_1 + \varphi_2 \cdot S_2 + ... + \varphi_n \cdot S_n\right)}, \quad (1.15)$$

где: $\varphi_{1,2...n}$ – коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью при перемещении (порядковая нумерация исчисляется по ходу преодоления различных участков торможения);

t_3 – время нарастания замедления, сек;

$S_{1,2...n}$ – длина каждого участка торможения, м.

Если автомобиль перемещается с замедлением без применения тормозного привода (например, тормозит двигателем) в состоянии качения, то в формуле выше необходимо коэффициент сцепления заменяется на

коэффициент сопротивления перемещения с учетом особенностей участка дороги.

При этом, принимая во внимание тот факт, что коэффициент сцепления шин с дорогой прямо пропорционален величине замедления автомобиля (j), то формула (1.15) примет следующий вид:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_1 \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot \left(j_1 \cdot S_1 + j_2 \cdot S_2 + ... + j_n \cdot S_n\right)}, \quad (1.16)$$

где $j_{1,2...n}$ – установившееся замедление автомобиля на различных участках при наличии (нумерация по ходу перемещения различных участков ТС), м/сек^2.

В том случае, если участок торможения имеет однородные характеристики, а следы торможения оставлены колесами одной оси, то в таких случаях для расчета скорости используется определенная формула:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot S_ю \cdot j_a}, \quad (1.17)$$

где j_a – установившееся замедление автомобиля на участке торможения, м/сек^2;

$S_ю$ – длина следов торможения колес автомобиля от колес одной оси до полной остановки, м.

В случае, когда следы торможения оставлены от всех колес автомобиля (или принадлежность следов к какой-либо из осей автомобиля установить не представляется возможным), то в формулу расчета скорости необходимо ввести значение была автомобиля L:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot (S_ю - L) \cdot j_a}. \quad (1.18)$$

Если в конце торможения скорость движения автомобиля не была снижена до нуля (например, автомобиль в процессе столкновения часть кинетической энергии погасил на деформацию другого объекта и деталей своего кузова, а после продолжил перемещение до места конечного

расположения без прямого торможения), то в формулу расчета скорости необходимо ввести значение скорости в момент окончания торможения:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_з + \sqrt{26 \cdot S'_ю \cdot j_a + (V'_a)^2}\,, \qquad (1.19)$$

где $S'_ю$ – величина перемещения центра масс автомобиля с момента начала торможения и до момента, когда это торможение было принудительно остановлено (например, столкновением с препятствием), м;

V'_a – скорость движения автомобиля в конце следов торможения, км/ч.

База транспортного средства также применима к формуле (1.19) в том случае, когда нет однозначного понимания колесами какой оси оставлены следы перемещения ТС:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_з + \sqrt{26 \cdot (S'_ю - L) \cdot j_a + (V'_a)^2}\,. \qquad (1.20)$$

Формулы (1.19) и (1.20) позволяют устанавливать скорость движения автомобиля на любом участке торможения в любой момент времени, зная начальную скорость и расстояние, которое преодолело ТС до интересующего нас момента:

$$V'_a = \sqrt{(V_a - 1{,}8 \cdot t_з \cdot j_a)^2 - 26 \cdot S'_ю \cdot j_a}\,. \qquad (1.21)$$

Аналогично для случая, когда торможение осуществлялась всеми колесами:

$$V'_a = \sqrt{(V_a - 1{,}8 \cdot t_з \cdot j_a)^2 - 26 \cdot (S'_ю - L) \cdot j_a}\,. \qquad (1.22)$$

Зачастую логика следствия требует определения мгновенной скорости в определенный момент следообразования при торможении автомобиля. В этих случаях расчет скорости проводится по следам торможения, оставленным после наступления искомого момента до полной остановки автомобиля. В таких случаях скорость рассчитывается:

$$V''_a = \sqrt{26 \cdot S''_ю \cdot j_a}\,; \qquad V''_a = \sqrt{26 \cdot (S''_ю - L) \cdot j_a}\,, \qquad (1.23)$$

где $S''_ю$ – длина следов торможения с искомого момента до полной остановки автомобиля, м.

Величины перемещения автомобиля в заторможенном состоянии ($S_{ю}$, $S'_{ю}$, $S_{ю}-L$, $S'_{ю}-L$, $S''_{ю}$, $S''_{ю}-L$), которые используются в формулах выше, характеризуют расстояния, на которые переместился центр тяжести автомобиля в заторможенном состоянии (Рисунок 1.10).

При расчете скорости движения автотранспортных средств переменные $S'_{ю}$ и $S''_{ю}$ характеризуют любые отрезки следа торможения ТС и при суммировании составляют целый след ($S_{ю}$).

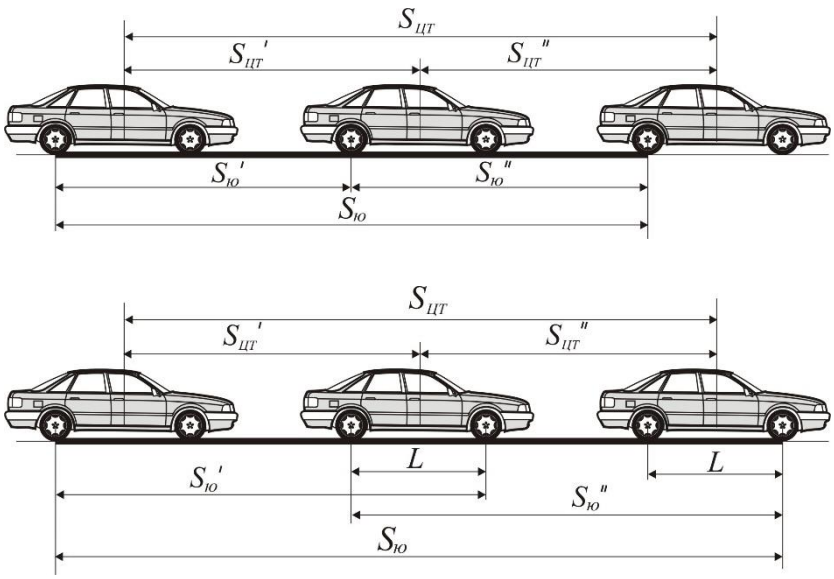


Рисунок 1.10 – Перемещение центра масс автомобиля в процессе торможения.

Если транспортное средство в процессе своего торможения последовательно пересекает границы участков (осуществляя фазовое перемещение), которые отличаются друг от друга коэффициентами сцепления шин с поверхностью участка перемещения (дороги, обочины, кювета, дороги с неоднородным состоянием поверхности и т.д.), то скорость его движения определяется с учетом величины угла пересечения границы этих участков относительно вектора инерции автомобиля (Рисунок 1.11).

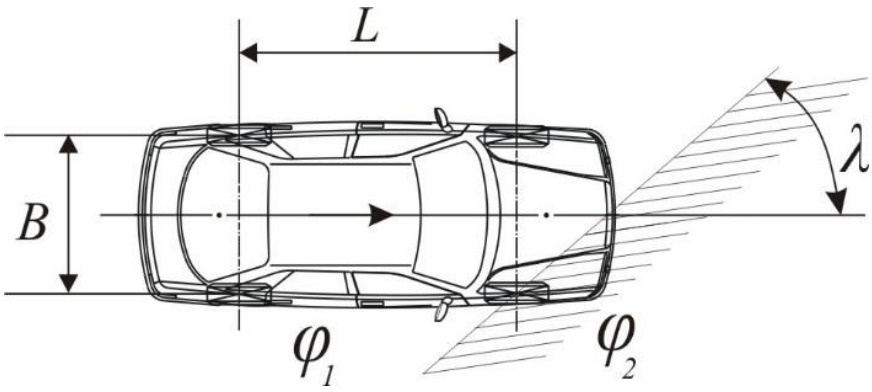


Рисунок 1.11 – Перемещение автомобиля по разным участкам опорной поверхности.

Угол пересечения границы участков автомобилем очень важен для выбора метода расчета скорости движения, поскольку влияет на используемые исходные данные и их комбинаторность в используемой формуле. Также очень важно понимать, что сами факторы перехода участков в значительной степени влияют на конечное значение расчета [85, 88].

Условия чередования фаз перехода с одного участка на другой в данном случае определяет метод расчета:

А) $tg\lambda > \frac{B}{L}$ ***Б)*** $tg\lambda = \frac{B}{L}$ ***В)*** $tg\lambda < \frac{B}{L}$ ***Г)*** $\lambda = 90^{O}$, (1.24)

где λ – величина угла между продольной осью ТС и границей пересекаемых участков;

B – колея ТС, м.

В случае пересечения колесами автомобиля границы участков (с участка с коэффициентом сцепления φ_1 на участок с коэффициентом сцепления φ_2) вначале первым передним колесом, потом вторым передним колесом, затем одним из задних колес, а в завершающей стадии автомобиль полностью меняет участок перемещения всеми колесами, то данный сценарий характерен для условия А.

В случае одновременного пересечения колесами автомобиля границы участков (с участка с коэффициентом сцепления φ_1 на участок с

коэффициентом сцепления φ_2), расположенными по диагонали (например, правое переднее колесо и левое заднее колесо), то данный сценарий характерен для условия Б.

В случае пересечения колесами автомобиля границы участков (с участка с коэффициентом сцепления φ_1 на участок с коэффициентом сцепления φ_2) вначале колесами, расположенными на одной стороне, а затем колесами, расположенными на другой, то данный сценарий характерен для условия В.

В случае пересечения колесами автомобиля границы участков (с участка с коэффициентом сцепления φ_1 на участок с коэффициентом сцепления φ_2) вначале передними колесами, а затем задними колесами, то данный сценарий характерен для условия Г.

Перечисленные фазы характеризуются различными переменными и алгоритмами расчета, свойственными как только определенной фазе, так и общими для всех.

Если условие **А** имеет место быть, то расчет скорости движения автомобиля определяется по формуле:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_1 \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot \left(S_{ЦТ1} \cdot j_1 + \frac{B}{tg\lambda} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot \varphi_1 + b \cdot (\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \cdot L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + \ldots \right.}$$

$$\overline{\ldots + \left(L - \frac{B}{tg\lambda} \right) \cdot \frac{a \cdot \varphi_1 + b \cdot \varphi_2}{L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + \frac{B}{tg\lambda} \cdot \frac{2 \cdot b \cdot \varphi_2 + a \cdot (\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \cdot L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + \ldots} \quad (1.25)$$

$$\left. \overline{\ldots + S_{ЦТ2} \cdot j_2} \right).$$

В случае выполнения условия **Б** актуально следующее уравнение расчета скорости движения автомобиля:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_1 \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot \left(S_{ЦТ1} \cdot j_1 + L \cdot \frac{2 \cdot a \cdot \varphi_1 + b \cdot (\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \cdot L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + \ldots \right.} \quad (1.26)$$

$$\overline{\left. \ldots + L \cdot \frac{2 \cdot b \cdot \varphi_2 + a \cdot (\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \cdot L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + S_{ЦТ2} \cdot j_2 \right)}.$$

Условие **В** позволяет рассчитать скорость движения автомобиля по формуле:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_1 \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot \left(S_{ЦТ1} \cdot j_1 + L \cdot \frac{2 \cdot a \cdot \varphi_1 + b \cdot (\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \cdot L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + \ldots \right.} \quad (1.27)$$

$$\overline{\left. \ldots + \left(\frac{B}{tg\lambda} - L \right) \cdot \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \cdot g + L \cdot \frac{2 \cdot b \cdot \varphi_2 + a \cdot (\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \cdot L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + S_{ЦТ2} \cdot j_2 \right)}.$$

При актуальном условии **Г** формула расчета скорости примет вид:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_1 \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot \left(S_{ЦТ1} \cdot j_1 + L \cdot \frac{a \cdot \varphi_1 + b \cdot \varphi_2}{L + h_{ЦТ} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot g + S_{ЦТ2} \cdot j_2 \right)}. \quad (1.28)$$

В случае, когда эффективное торможение транспортного средства прекращается по каким-либо причинам (например, водитель перестает нажимать на педаль тормоза или оттормаживание происходит по независящим от водителя причинам), а автомобиль продолжает свое дальнейшее перемещение накатом (без торможения), то в этом случае имеется два сценария расчета скорости движения автомобиля [95].

В первом случае водитель прекращает эффективно торможение и перемещается к месту конечной остановки без применения торможения (накатом). В этом случае расчет имеет несложный алгоритм и определение величины замедления зависит от коэффициента сопротивления качению:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot j_a \cdot S_ю + \left[\sqrt{26 \cdot S_к \cdot j_к - 4{,}3 \cdot (j_a - j_к) \cdot j_к \cdot t_5^2} + 1{,}8 \cdot (j_a - j_к) \cdot t_5 \right]^2}, \quad (1.30)$$

где $S_к$ - расстояние, которое преодолело ТС накатом до полной остановки, м;

$j_к$ - замедление автомобиля в состоянии качения, м/сек^2;

t_5 - время оттормаживания, сек.

Во втором случае перемещение автомобиля происходит в несколько фаз. На первом этапе автомобиль эффективно замедляется путем экстренного торможения, на втором этапе, в результате действий водителя или иных причин, торможение автомобиля прекращается и он перемещается в состоянии качения, а на третьем этапе автомобиль снова переходит в состояние эффективного торможения (в отображенных следах эффективного торможения имеется разрыв в отображении – значительный или незначительный).

Для второго случая алгоритм расчета многоступенчатый, подразумевающий проверку условий и сложнее первого.

На первом этапе определяется условие полного оттормаживания автомобиля, которое проверяется путем сравнения величины полного оттормаживания с величиной разрыва в отображении следов торможения. Величина полного оттормаживания определяется по формуле:

$$S_{пр} = (j_a - j_к) \cdot (t_5 + t_3) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot S_{ю2}}{j}} + \frac{3 \cdot j_a \cdot (j_a - j_к)^2 \cdot (t_5 + t_3)^2 - (j_a - j_к)^3 \cdot \left(2 \cdot t_5^2 + 3 \cdot t_5 \cdot t_3 + t_3^2\right)}{6 \cdot j_a^{\,2}}. \quad (1.31)$$

Если полученная величина по размеру меньше величины разрыва в отображении следов, то каждый участок торможения рассматривают отдельно и компилируют в формулу:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot j_a \cdot S_{ю1} + \left(1{,}8 \cdot (j_a - j_к) \cdot t_5 + \ldots\right.}$$
$$\ldots + \sqrt{26 \cdot S_к \cdot j_к - 4{,}3 \cdot (j_a - j_к) \cdot j_к \cdot t_5^2 + \left(1{,}8 \cdot j_a \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot j_a \cdot S_{ю2}}\right)^2}\Big)^2}. \quad (1.32)$$

Если же разрыв в следах меньше величины полного оттормаживания (т.е. величина $S_{пр}$ больше величины разрыва или равна ему), то необходимо введение специальной степени оттормаживания:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot j_a \cdot S_{ю1} + \left[\sqrt{26 \cdot S_{ю2} \cdot j_a} + 3{,}6 \cdot \lambda \cdot (t_5 + t_3) \cdot j \cdot (1 - 0{,}5 \cdot \lambda)\right]^2}, \quad (1.33)$$

где λ - степень оттормаживания.

Расчитать данную величину возможно путем решения кубического уравнения:

$$\lambda^3(2\cdot t_5^2+3\cdot t_5\cdot t_3+t_3^2)-3\cdot\lambda^2\cdot(t_5+t_3)^2-6\cdot\lambda\cdot(t_5+t_3)\cdot\sqrt{\frac{2\cdot S_{ю2}}{j_a}}+\frac{6\cdot S_p}{j_a}=0, \qquad (1.34)$$

где: S_p - величина прерывания в следах торможения, м.

Из трех решений данного уравнения необходимо выбрать то, которое находится в интервале от нуля до единицы, после чего его применяют для решения формулы (1.33).

Наиболее близким к неконтролируемому перемещению расчетом является расчет скорости при потере курсовой устойчивости транспортного средства, когда происходит вращение кузова автомобиля относительно центра масс.

На рисунка 1.12-1.14 схематично показаны различные вращения автомобиля и отображение следовой информации при каждом из них.

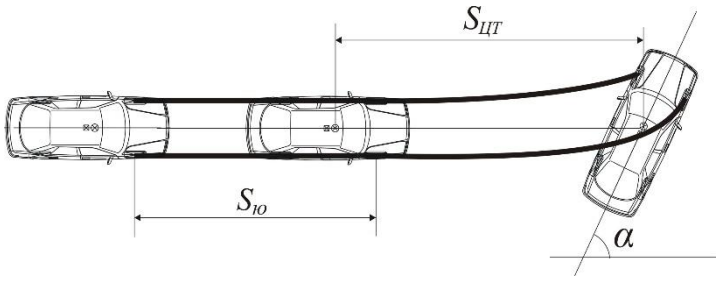


Рисунок 1.12 - Следы оставлены колесами передней оси.

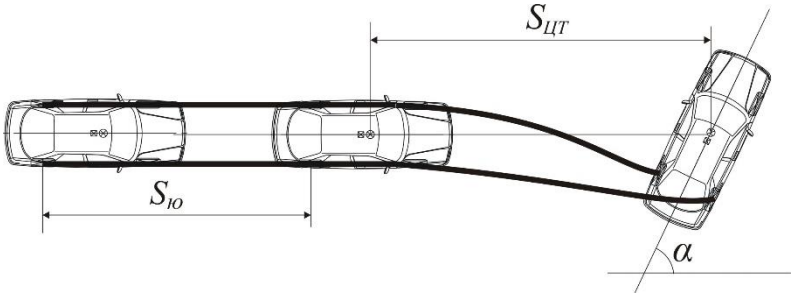


Рисунок 1.13 - Следы оставлены колесами передней оси.

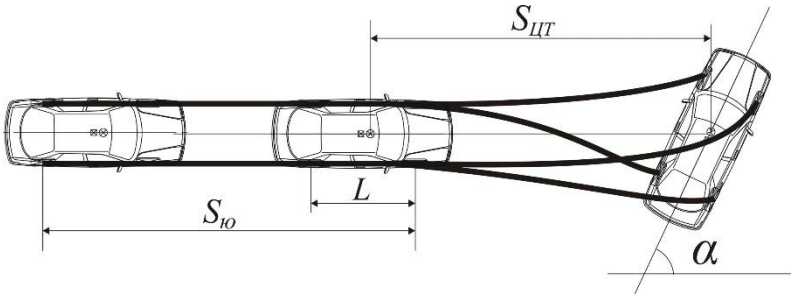


Рисунок 1.14 - Следы оставлены всеми колесами.

Аналогично другим вариантам расчета скоростей формула для торможения и скольжения с отображением колес одной из осей имеет вид:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_з + \sqrt{26 \cdot \left(j_a \cdot S_ю + j_б \cdot S_{ЦТ} + j_б \cdot L \cdot \frac{\alpha \cdot \pi}{360} \right)}. \qquad (1.35)$$

Для торможения колесами обеих осей:

$$V_a = 1{,}8 \cdot j_a \cdot t_з + \sqrt{26 \cdot \left(j_a \cdot (S_ю - L) + j_б \cdot S_{ЦТ} + j_б \cdot L \cdot \frac{\alpha \cdot \pi}{360} \right)}, \qquad (1.36)$$

где $S_ю$ - длина следов торможения колес ТС до начала потери курсовой устойчивости, м;

$j_б$ - замедление ТС в состоянии бокового скольжения, м/с^2 ($j_б = 0{,}8 \cdot j_a$);

α - угол разворота ТС, град.

1.3.4 Определение параметров потери вертикальной устойчивости автомобиля

Неконтролируемым перемещением транспортного средства также следует считать то его состояние, когда происходит потеря вертикальной устойчивости вследствие воздействия поперечной силы или вращающего момента, возникающего вследствие разных причин [11, 24].

В классической автотехнической науке критические скорости определяются путем преобразования уравнений силового баланса, при

сопоставлении выражений которого определяется величина критической скорости автомобиля по условиям поперечного скольжения (заноса):

$$V_{зан} = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot L \cdot \varphi_y}{tg\theta}} = \sqrt{127 \cdot R \cdot \varphi_y} \qquad (1.37)$$

где L – база автомобиля, м;

φ_y – коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой;

θ – угол поворота передних колес, град;

R – радиус поворота, м.

В данном случае справедливо условие, что в плоскостях контакта протекторов шин с дорогой отсутствуют продольные силы. При этом транспортное средство движется без ускорения по определенной кривой, имеющей неизменный радиус. Однако, в реальных условиях, тем более в условиях ДТП, выполнение этого условия очень сомнительно.

Критическая скорость, которая допускает потерю курсовой устойчивости транспортного средства при резком маневре водителя и отсутствии поперечной дестабилизирующей силы, определяется:

$$V_{зан} = \frac{3,6 \cdot g \cdot L \cdot \varphi_y}{b \cdot \dot{\theta}} \qquad (1.38)$$

Данная формула подразумевает, что при движении по прямолинейному участку дороги, потеря вертикальной или курсовой устойчивости возможна только в том случае, если действия водителя сами провоцируют возникновение подобной ситуации.

Из рисунка 1.15, где обозначен участок АВ, следует, что автомобиль, перемещаясь прямо в динамическом коридоре не имеет возможности сразу перейти на траекторию кривой СД определенного постоянного радиуса, поскольку в этом случае скорость поворота колес должна стремиться к бесконечности $(\theta \approx \infty)$., что исключено физическими законами. Между указанными выше участками в любой ДТС обязательно имеется участок,

который будет считаться переходным (участок ВС) и который имеет переменную кривизну. [35]

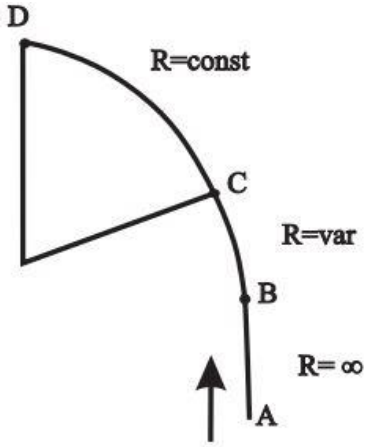


Рисунок 1.15 - Схема входа транспортного средства в поворот постоянного радиуса

Также не исключен вариант, когда под действием поперечных сил инерции и сопротивления (взаимообратных) возникает неодолимый опрокидывающий момент. При этом, если скольжение колес отсутствует, а поперечные силы инерции действуют выше участка трения шин по поверхности дороги, то опрокидывание возможно сразу без возникновения потери курсовой устойчивости. [35, 42]

В том случае, если на транспортное средство в поперечной плоскости действует только центробежная сила на участке дороги с поворотом и постоянным радиусом, то критическая скорость, которая означает наличие у водителя возможности избежать потерю вертикальной устойчивости, может быть определена исходя из следующего уравнения:

$$V_{опр} = 3,6 \cdot \eta_{кр} \cdot \sqrt{\frac{B \cdot g \cdot R}{2 \cdot h_ц}} \qquad (1.39)$$

где: $\eta_{кр}$ - коэффициент крена подрессорных масс вследствие колебательных вертикальных деформаций упругих элементов подвески

(например, рессор, шин или амортизаторов). Среднее значение $\eta_{кр}$ колеблется в интервале $0,8 \div 0,9$.

В том случае, когда сумма реакций дороги (продольная и поперечная) меньше силы сцепления колеса с опорной поверхностью, то справедливо условие качения колеса без проскальзывания:

$$P_{сц} = R_z \cdot \varphi \geq \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \tag{1.40}$$

Отсюда получаем следующее неравенство

$$P_y \leq \sqrt{R_z^2 \cdot \varphi^2 - R_x^2} \tag{1.41}$$

Отсюда можно сделать вывод, что при условии отсутствия скольжения увеличение поперечной силы к колесу прямо пропорциональна увеличению силы сцепления и обратно пропорциональна касательной реакции дороги. Исходя из этого утверждения, ведомые колеса наиболее устойчивы к возникновению неконтролируемого курсового состояния ТС, поскольку его касательная реакция мала по сравнению с $R_z \cdot \varphi$. [42]

Если сила сопротивления поперечному перемещению автомобиля коррелируется с силой воздействия препятствия (т.е. происходит поперечный контакт колеса с препятствием – неровностью, бордюром и т.д.), то потеря курсовой устойчивости может преобразоваться в потерю вертикальной устойчивости и автомобиль может опрокинуться (рисунок 1.16).

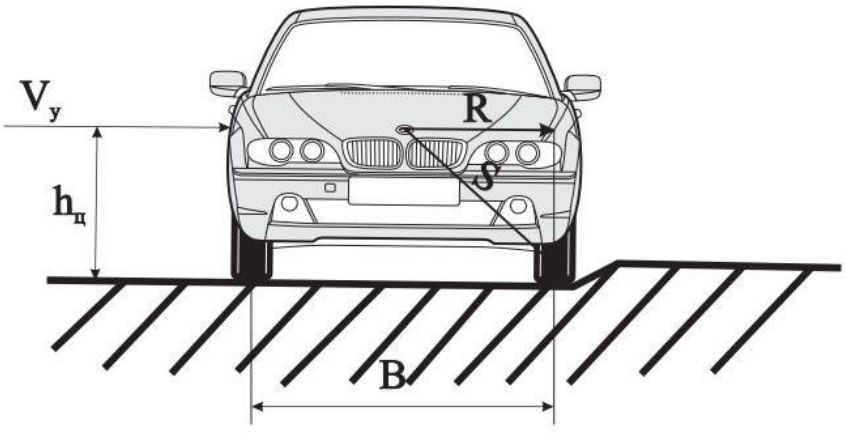


Рисунок 1.16 - Схема опрокидывания

Следует учитывать, что даже при незначительной поперечной скорости V_y автомобиля все равно имеет возможность опрокинуться, поскольку возможен тот случай, когда центр масс транспортного средства при движении по неровности возвысился на высоту S от горизонтальной части дороги:

$$S = \sqrt{(0,5 \cdot B)^2 + h_ц^2} - h_ц \tag{1.42}$$

Ориентируясь на теорему о сохранении кинетической энергии следует:

$$\frac{m \cdot V_y^2}{26} = m \cdot g \cdot S \tag{1.43}$$

Откуда получаем скорость поперечного смещения

$$V_y \geq \sqrt{254 \cdot S} = \sqrt{254 \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + h_ц^2} - h_ц \right)} \tag{1.44}$$

Еще одной задачей, касающейся курсовой и вертикальной устойчивости перемещения транспортного средства на грани возникновения неконтролируемого перемещения, является перемещение транспортного средства по автомобильной дороге, имеющей поперечный уклон. В этом случае основной силой, которая воздействует на транспортное средство, является сила инерции, находящаяся в корреляционной зависимости от массы транспортного средства. При движении по криволинейной траектории инерционная сила за счет центробежной (центростремительной) силы увеличивает свое значение, составляя силовую совокупность. Силовой баланс подобной синергии представлен на рисунке 1.17, при этом обозначены варианты перемещения на разных участках продольного профиля дороги.

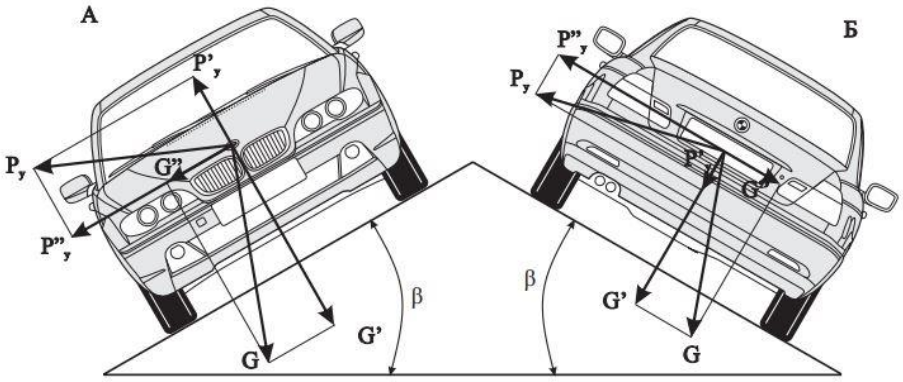


Рисунок 1.17 - Движение автомобиля на повороте

Силы, участвующие в данном силовом балансе можно разложить на составляющие (путем проецирования – рисунок 1.17А) вертикальной ориентации (силы G'' и P_y'') и горизонтальной ориентации (силы P_y' и G'), относительно наклона профиля дороги. В этом случае устойчивость автомобиля крайне нестабильна, поскольку происходит суммирование векторов в балансе сил. Во втором случае (Рисунок 1.17Б) наоборот силы G'' и P_y'' проводят балансировку до силового равновесия, а силы P_y' и G' увеличивают устойчивость транспортного средства.

При этом данные силы описываются следующими уравнениями

$$G' = G \cdot \cos\beta; \quad G'' = G \cdot \sin\beta; \quad P_y' = P_y \cdot \sin\beta; \quad P_y'' = P_y \cdot \cos\beta \tag{1.45}$$

Для того, чтобы автомобиль А был устойчив, должно быть выполнено неравенство

$$P_{сц} = \left(G' - P_y'\right) \cdot \varphi \geq G'' + P_y'' \tag{1.46}$$

Критическая скорость автомобиля, при движении с которой возможна потеря курсовой устойчивости, может быть определена из выражения (1.46) через уравнения (1.45) и преобразования общей формулы:

$$V_з = 3{,}6 \cdot \sqrt{\frac{\varphi_y \mp tg\beta}{1 \pm \varphi_y \cdot tg\beta} \cdot g \cdot R} \tag{1.47}$$

Если автомобиль перемещается по внутреннему краю закругления дороги, то в формуле указывается знак " + ", а если автомобиль двигается по внешнему краю закругления, то указывается знак " - ". [35, 42].

В момент начала опрокидывания автомобиля А и отрыва левых его колес от дороги вертикальные реакции на этих колесах равны нулю. Согласно условиям равновесия

$$\left(G'' + P_y''\right) \cdot h_ц = \left(G' - P_y'\right) \cdot 0{,}5 \cdot B \qquad (1.48)$$

Критическая скорость автомобиля, при движении с которой возможна потеря вертикальной устойчивости, может быть определена из выражения (1.48) через уравнения (1.45) и преобразования общей формулы:

$$V_{кр} = 3{,}6 \cdot \sqrt{\frac{0{,}5 \cdot B \mp tg\beta \cdot h_ц}{h_ц \pm 0{,}5 \cdot B \cdot tg\beta} \cdot g \cdot R} \qquad (1.49)$$

Наиболее частыми случаями неконтролируемого движения, как показывает статистика, являются потеря поперечной и вертикальной устойчивости транспортного средства. Продольную устойчивость автомобили теряют реже. Однако, адекватных моделей для расчета затрат расходуемой на перемещение автомобиля в опрокинутом состоянии (когда он совершает под действием инерционных сил один или более оборотов кузова) на сегодняшний момент нет.

Подводя итог к приведенным примерам можно сделать вывод о том, что данные формулы не описывают неконтролируемое движение с точки зрения универсального инструмента расчета и не позволяют проводить сложные поэтапные расчеты комбинируя характеристики между собой. Среди обозначенных способов нет расчета, позволяющего прогнозировать перемещение автомобиля перед потерей курсовой устойчивости с дальнейшим заносом и опрокидыванием в комплексе, когда имеется сложное разнонаправленное вращение кузова автомобиля и после окончания отображения следов эффективного торможения имеются участки

перемещения транспортного средства в состоянии неконтролируемого поэтапного повторяющегося несколько раз опрокидывания. В настоящее время в автотехнической литературе нет адекватных моделей, которые возможно применить при расчете скорости при подобном перемещении.

1.4 Анализ факторов, влияющих на возникновение неконтролируемого перемещения

Основными факторами, влияющими на возникновение неконтролируемого перемещения транспортного средства являются:

- Разность тормозных сил при торможении автомобиля в пятне контакта правых и левых колес автомобиля с дорожным покрытием. Это явление может объясняться различным коэффициентом сцепления колес левой и правой сторон автомобиля с дорожным покрытием. Данная разность может быть вызвана как различным рисунком протектора шин и различным внутренним давлением в шинах левой и правой стороны автомобиля, так и различным состоянием дорожного покрытия в зонах контакта с правыми и левыми колесами автомобиля. Определение степени влияния данного фактора на увод автомобиля требует проведения испытаний шин и дорожного покрытия в месте дорожно-транспортного происшествия с использованием специализированного оборудования. Так же на разность тормозных сил в пятне контакта правых и левых колес автомобиля с дорожным покрытием, может объясняться неравномерностью срабатывания тормозных механизмов колес, а также неисправностью ходовой части автомобиля.

- Неисправности транспортного средства, такие как повреждения опорных элементов подвески (например, колес), их отрыв, разгерметизация, выход из строя рычагов подвески или шаровых опор, потеря рулевой кинематики. Как и в предыдущем пункте, в этом случае возникает точка повышенной сопротивляемости перемещению, что вызывает в совокупности

с инерционными силами возникновение моментов неконтролируемого вращения.

- Внешнее силовое воздействие при контакте с инородным предметом, имеющим инерционную силу. В таких случаях, внешний объект (например, другое транспортное средство) при контакте с другим объектом (двигающимся в попутном или ином направлении) передает часть своей инерционной силы контактному объекту, в результате чего последний, вследствие суммирования векторов сил перемещения двух объектов, отклоняется от своего первоначального направления движения.

- Воздействие водителем на рулевое колесо. В данном случае, в результате своих психофизиологических особенностей, водитель, реагируя на какой-либо внешний раздражитель, предпринимает (намеренно или неосознанно) попытку увода своего автомобиля от возникающей опасности (перестраивающегося автомобиля) воздействием на рулевое колесо вправо или влево.

На самом деле таких факторов может быть больше, например, воздействие поперечного ветра при повышенной парусности автомобиля, однако, выше перечислены наиболее часто встречающиеся причины.

При этом следует учитывать, что в известной и рекомендованной ВНИИСЭ (как основной методико-образующий орган в нашей стране) методической литературе отсутствует такое понятие как неконтролируемое перемещение. [1, 39]

Все описание процесса перемещения транспортного средства по сложной траектории без возможности воздействия на процесс данного перемещения водителем сводится к определению курсовой, вертикальной и поперечной устойчивостям, которые отражают различные состояния подобного перемещения, но не отражают процесс, как сложное состояние процесса перемещения ТС, в целом. При этом данные ограничения касаются и процесса исследования данного перемещения в целом, рассматривая отдельные аспекты, но не имея возможности рассмотреть процесс

перемещения транспортного средства при ДТП без участия водителя в комплексе в тех случаях, когда различные составляющие устойчивости перемещения ТС нарушаются поочередно или одновременно.

Поэтому было принято решение о введении понятия неконтролируемое перемещение. Это процесс перемещения транспортного средства по сложной траектории без возможности воздействия на данный процесс водителя при дорожно-транспортном происшествии.

1.5 Выводы по главе

1. Анализ статистики за последние 10 лет, то есть с 2014 – 2023 гг. показал, что в Российской Федерации было зафиксировано 1 591 840 дорожно-транспортных происшествий, при этом погибло 183 804 человек и получили травмы различной степени тяжести 2 015 595 человек. Согласно статистическим данным основным видом ДТП за 2023 г., как и в другие годы, по-прежнему являются столкновения транспортных средств, занимающие 45% от общей доли. Наезды на пешеходов расположены на втором месте с 25,0%, замыкают тройку опрокидывания ТС (11,0%). Как показывает данная выборка столкновения ТС является наиболее распространенным и травмоопасным видом ДТП. Поэтому экспертное сопровождение расследования данного вида ДТП является актуальной задачей.

2. В результате анализа технической литературы, для описания процесса перемещения транспортного средства по сложной траектории без возможности воздействия на данный процесс водителя при дорожно-транспортном происшествии впервые было введено понятие «неконтролируемое перемещение транспортного средства» для маркирования динамического процесса, описывающего потерю курсовой, поперечной или вертикальной устойчивости транспортного средства с его перемещением по сложным траекториям в результате ДТП.

3. Основными факторами, влияющими на возникновение неконтролируемого перемещения транспортного средства являются:

- разность тормозных сил при торможении автомобиля в пятне контакта правых и левых колес автомобиля с дорожным покрытием;

- внешнее силовое воздействие при контакте с инородным предметом, имеющим инерционную силу;

- неисправности транспортного средства, такие как повреждения опорных элементов подвески (например, колес), их отрыв, разгерметизация, выход из строя рычагов подвески или шаровых опор, потеря рулевой кинематики;

- воздействие водителем на рулевое колесо.

Первые два фактора наиболее распространенные и оказывают значительное влияние на возникновение неконтролируемого перемещения транспортного средства.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОМ ПРОИСШЕСТВИИ

2.1 Общие положения и исходные гипотезы.

В некоторых случаях при расследовании дорожно-транспортных происшествий возникает потребность в исследовании неконтролируемого сложного перемещения транспортных средств. Причины возникновения данного перемещения были рассмотрены ранее, но исключительность данного вопроса в том, что подобные перемещения сопровождают большинство происшествий, например, такой процесс наблюдается на первой стадии механизма происшествия при исследовании происшествия, связанного с потерей курсовой или вертикальной устойчивостью, а также третьей стадии практически всех столкновений транспортных средств, когда инерционные и блокирующие силы обоих участников ДТП заставляют их перемещаться по сложным траекториям в неконтролируемом состоянии до окончания растраты кинетического потенциала системы. Изложенное позволяет говорить о том, что данный вопрос и его исследование занимает важное место при расследовании дорожно-транспортных происшествий. Исследование процесса взаимодействия и дальнейшего движения транспортного средства или транспортных средств участвующих в ДТП базируется на изменении кинематических и динамических характеристиках движения, которые зависят от многих параметров, таких как масса транспортного средства, его скорость в момент ДТП, направление движения по отношению к абсолютной системе координат, условий контакта между колесом и поверхностью дорожного полотна и основывается на законах и методах исследования механического движения системы материальных тел [5, 38, 45].

Несмотря на довольно большое количество исследований по проблематике расследования ДТП, на данном этапе накопления знаний в исследуемом вопросе имеются определенные пробелы в построении адекватной математической модели взаимодействия и неконтролируемого перемещения транспортных средств. Выработка и внедрение универсального и доступного подхода к этому вопросу позволит более точно и эффективно проводить расчетные мероприятия при проведении дорожно-транспортной экспертизы, что повысит обоснованность тех выводов, которые в итоге делает эксперт, опираясь на фундамент математических расчетов. При этом решение задачи по прогнозированию или вычислению траектории перемещения транспортных средств после их взаимодействия путем использования устойчивой математической модели позволяет достаточно точно определять ряд параметров на первой стадии (стадии сближения) механизма происшествия, что позволяет определить в том числе и тот факт, чьи действия послужили причиной возникновения опасной обстановки. Это позволяет сделать в том числе и решение прямой и обратной задачи математическими методами. [10, 40, 47].

Проблеме прогнозирования траекторий перемещения транспортного средства после сложного эксцентричного удара с другим объектом в современной автотехнической литературе уделено крайне мало внимания. Исследование параметров перемещения транспортных средств в этих условиях сводятся к отказу от решения вопроса (вследствие недостаточности исходных данных для расчета или отсутствия соответствующей квалификации у эксперта), либо к крайне упрощенному расчету, базирующемуся на известных методических рекомендациях с определенными допущениями. Ситуацию усугубляет несамостоятельность экспертов государственных учреждений в выборе исходных данных для расчета, что приводит к отсутствию возможности подходить к решению данной задачи в более гибкой форме. [54, 87]

Соответственно, для повышения качества расследований в данной области, в нашей стране организовываются новые подходы к исследованию движения транспортных средств до и после взаимодействия, результатом которых является определение кинематических и динамических характеристик движения исследуемых тел. В 2010 году ЭКЦ МВД России выпустил сводную методику для экспертов-автотехников, где были обобщены и приведены все возможные варианты расчета перемещения автомобиля, в том числе и рассмотрены простейшие варианты расчета неконтролируемого перемещения транспортных средств [88, 96,103].

Однако, данная методика лишь обобщает имеющиеся способы и подходы, но не дает ничего нового. В том числе там не описаны более сложные модели, которые могли бы решать поставленную задачу более детальным и скрупулезным расчетом, совершая расчет от простого к сложному, дробя его на отдельные расчеты при решении частных задач и обобщая ряд простых расчетов в сложный для решения комплексных задач. Данная модель хотя и сложна при «ручном» исполнении, но при современных возможностях к автоматизации математических расчетов эта проблема также разрешима. Кроме того, подобный подход имеет возможности анализа и применения полученных экспериментальных значений при сложном неконтролируемом перемещении.

Экспериментальные замеры, которые могут быть применены к подобному подходу в основном связаны с параметрами торможения транспортного средства, но не прямого, а бокового скольжения, что требует создания средств к реализации эксперимента по измерению параметров бокового скольжения (например, коэффициента бокового трения/сцепления), что позволит определять в том числе и критические параметры. В данном случае, применение обозначенного выше коэффициента, наряду с другими факторами, в том числе массы автомобилей участников ДТП, направлений начального движения (вдоль оси или поперек) и других, позволяют более гибко подходить к вопросу.

Для выхода из создавшегося положения необходимо более полное понимание процесса ДТП основанного на математической модели взаимодействия транспортных тел.

При изучении процесса взаимодействия в результате ДТП решается задача определения дальнейшего движения транспортных средств и параметров этого движения в изменяющихся условиях.

При построении математической модели и методики исследования характеристик движения в условиях ограниченной выборки входящей информации приняты следующие исходные предпосылки:

− полагается, что все входящие параметры (нагрузки, характеристики дорожного покрытия, и др.) являются известными, но случайными величинами;

− взаимодействующие тела подчиняются законам механики деформируемого твердого тела; [107];

− взаимодействие двух транспортных тел рассматривается как упругий удар [105, 110];

− движение каждого тела после взаимодействия определяется законами и принципами механики; [106];

− при исследовании процесса движения предполагается, что все колеса движущегося автомобиля заблокированы одновременно и автомобиль совершает плоское движение.

2.2 Математическая модель взаимодействия двух транспортных средств.

В рассматриваемом параграфе предлагается методика исследования процесса взаимодействия и движения транспортных средств после взаимодействия на основе теории удара и динамики системы материальных точек.

Будем полагать, что процесс ДТП состоит из двух этапов: первый – взаимодействие транспортных средств (удар), второй – движение каждого автомобиля после удара. [106, 107]

Силы, которые действуют на тела, бывают двух видов – конечные силы и мгновенные (ударные) силы. Первые это силы, которые изменяют скорости массива точек в течении конечного промежутка времени. Вторые это силы, которые изменяют скорости массива точек в течении малого промежутка времени. При этом последние достигают значительных величин и вследствие этого импульс данной силы является предельной и конечной величиной.

В процессе удара происходит изменение скоростей взаимодействующих ТС. После контакта автомобили подвергаются деформации, скорость при этом одного из ТС уменьшается в зависимости от начальных значений, а другого увеличивается. В тот момент, когда скорости ТС выравниваются, деформации прекращаются. Данный процесс взаимодействия называется фазой деформирования. После окончания данной фазы, форма контактирующих тел частично восстанавливается. Данный процесс взаимодействия называется фазой восстановления.

Ударная сила имеет определенный эффект действия, который подлежит оценке по конечной величине – ее импульсу. При соударении упругость взаимодействующих автомобилей измеряют прямой корреляцией ударного импульса фазы восстановления и обратной корреляцией ударного импульса фазы деформации. Данный коэффициент, обозначенный как ε, является коэффициентом восстановления. Он определяется отношением проекций скоростей на нормаль к поверхности до удара и после

$$\varepsilon = \frac{\upsilon_n}{u_n}, \tag{2.1}$$

В данной работе рассматривается упругий удар, поэтому коэффициент восстановления лежит в пределах $0 < \varepsilon < 1$

Изначально примем, что перемещение транспортных средств до контакта будет плоским и поступательным. При этом вдоль центральных

осей транспортных средств будут направлены начальные скорости тел $\bar{v}_{01}$ и $\bar{v}_{02}$. Оси при этом образуют угол β. Ударный импульс с осью первого ТС образует угол α (Рисунок 2.1).

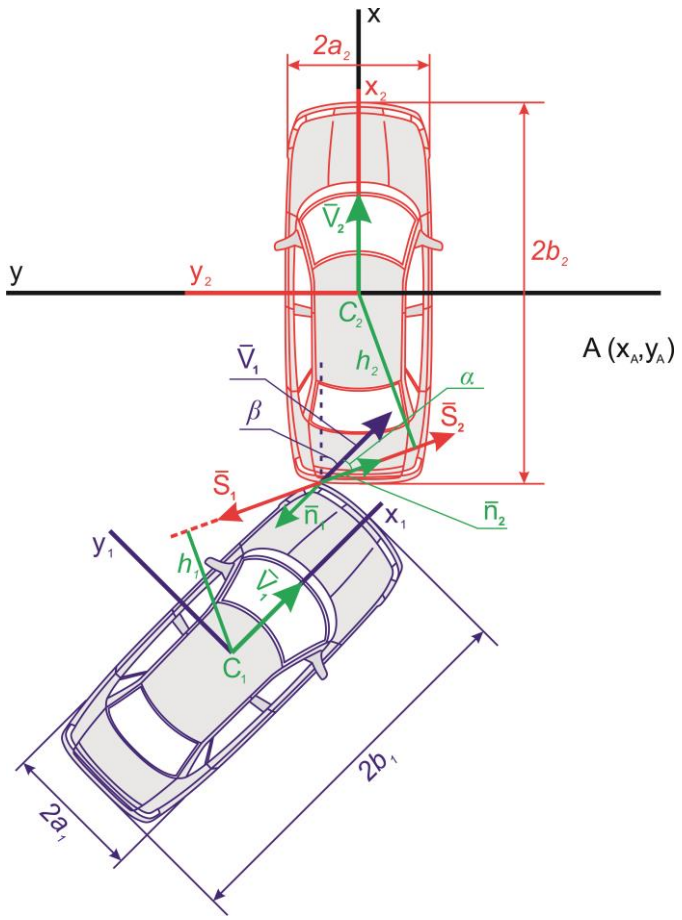


Рисунок 2.1 – Расчетная схема взаимодействия двух транспортных средств.

Массы транспортных средств обозначим m_1 и m_2. Моменты инерции ТС относительно центральных осей, перпендикулярных плоскости движения и проходящих через центры масс J_1 и J_2.

Перемещение автомобилей происходит в абсолютной системе координат *Oxy*, которая связана с общей неподвижной плоскостью. При этом ударные импульсы $\bar{S}_1$ и $\bar{S}_2$ связаны с данной плоскостью.

Векторы $\bar{r}_i \times \bar{n}_i$, $\bar{\omega}_i$ и $\bar{\Omega}_i$ расположены перпендикулярно плоскости перемещения.

Необходимый для дальнейших расчетов параметр *G* будет определяться при плоском ударе по формуле

$$G = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{h_1^2}{J_1} + \frac{h_2^2}{J_2}, \tag{2.2}$$

где: h_1 и h_2 – плечи импульсов.

Данные плечи определяются с учетом координат зоны удара. Координаты зоны удара первого автомобиля расположены в точке C_1, а следовательно, выразим исходя из этого уравнение плеча импульса первого ТС. Далее с учетом координат точки C_2 выразим уравнение плеча импульса второго ТС. В результате этого получим систему уравнений

$$\begin{cases} h_1 = x_1 \cdot \cos(90^\circ - \alpha) - y_1 \cdot \cos(180^\circ - \alpha) \\ h_2 = x_2 \cdot \cos(90^\circ + \alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} h_1 = x_1 \cdot \sin\alpha - y_1 \cdot (-\cos\alpha) \\ h_2 = x_2 \cdot [-\sin(\alpha + \beta)] - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \end{cases} \tag{2.3}$$

$$\begin{cases} h_1 = x_1 \cdot \sin\alpha + y_1 \cdot \cos\alpha \\ h_2 = -x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \end{cases}$$

Если принять, что транспортные средства имеют прямоугольную форму (условно), то моменты инерции автомобилей определяются исходя из системы уравнений:

$$\begin{cases} J_1 = \frac{m_1}{3} \cdot (a_1^2 + b_1^2) \\ J_2 = \frac{m_2}{3} \cdot (a_2^2 + b_2^2) \end{cases} \tag{2.4}$$

Преобразуя формулы (2.3) и (2.4) получаем продвинутое уравнение расчета параметра G:

$$G = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{3 \cdot (x_1 \cdot \sin\alpha - y_1 \cdot \cos\alpha)^2}{m_1 \cdot (a_1^2 + b_1^2)} + \frac{3 \cdot [-x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta)]^2}{m_2 \cdot (a_2^2 + b_2^2)} \tag{2.5}$$

Если принять, что U_1, U_2 – скорости ТС до удара, а также то, что транспортные средства до контакта двигаются поступательно, то: $U_1 = V_1$; $U_2 = V_2$.

Отсюда определим проекции скоростей массива точек контакта на нормали:

$$\begin{cases} \bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1 = -V_1 \cdot \cos\alpha \\ \bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2 = V_2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \end{cases} \tag{2.6}$$

Также определяем после всех преобразований ударный импульс

$$\bar{S} = -\frac{1+\varepsilon}{G} \cdot (\bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1 + \bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2) \tag{2.7}$$

где: ε – коэффициент восстановления.

$$S = \frac{1+\varepsilon}{G} \cdot [V_1 \cdot \cos\alpha - V_2 \cdot \cos(\alpha+\beta)]. \tag{2.8}$$

Скорости центров масс после удара:

$$\begin{aligned} V_{1x} &= V_1 \cdot \cos\beta - \frac{S}{m_1} \cdot \cos(\alpha+\beta) \\ V_{1y} &= -V_1 \cdot \sin\beta + \frac{S}{m_1} \cdot \sin(\alpha+\beta) \\ V_{2x} &= V_2 + \frac{S}{m_2} \cdot \cos(\alpha+\beta) \\ V_{2y} &= -\frac{S}{m_2} \cdot \sin(\alpha+\beta) \end{aligned} \tag{2.9}$$

При условии, что до столкновения автомобили двигались поступательно, то справедливо выражение $\omega_{1z} = \omega_{2z} = 0$.

С учетом этого можно определить угловые скорости ТС после удара

$$\begin{aligned} \Omega_{1z} &= \frac{S \cdot h_1}{J_1} \\ \Omega_{2z} &= \frac{S \cdot h_2}{J_2} \end{aligned} \tag{2.10}$$

2.3 Расчетная модель процесса потери вертикальной устойчивости транспортного средства.

При исследовании процесса неконтролируемого перемещения необходимо учитывать, что силы сопротивления перемещению при сложном неконтролируемом перемещении транспортного средства могут вызывать чрезмерное сопротивление, что приводит к потери вертикальной устойчивости транспортного средства.

Дальнейшее движение автомобиля может происходить по нескольким вариантам:

– с блокировкой всех колес;

– с блокировкой задних колес;

– с блокировкой передних колес;

– блокировка колес на одной стороне транспортного средства;

– произвольная блокировка колес транспортного средства;

– опрокидывание.

В зависимости от варианта движения, между колесом и дорожным покрытием, может возникать сила трения скольжения (при блокировании колеса) или момент трения. В данной работе рассматривается вариант движения с блокировкой всех колес и наступление условия опрокидывания.

После взаимодействия происходит изменение направления и величины скорости ТС. Дальнейшее движение представляет собой плоско-параллельное движение (скольжение).

Уравнения движения автомобиля в соответствии с теоремой о движении центра масс:

$$\begin{cases} m \cdot \dfrac{d^2 x_{1c}}{dt^2} = \sum F_{kx}^e \\ m \cdot \dfrac{d^2 y_{1c}}{dt^2} = \sum F_{ky}^e \\ J_c \cdot \dfrac{d^2 \varphi}{dt^2} = \sum m_z(\overline{F}_k^e) \end{cases} \qquad (2.11)$$

Данные уравнения позволяют описать весь процесс перемещения транспортного средств после контакта, с определением всех интересующих эксперта параметров для прогнозирования и расчета неконтролируемого движения транспортного средства. Более сложные механизмы перемещения, такие как, перемещение с одним или несколькими колесами, отсутствующими или заблокированными колесами или колесами без внутреннего давления и т.д. являются производными из данных уравнений и в данной работе не рассматриваются.

В процессе движения может наступить момент, при котором произойдет опрокидывание транспортного средства. С позиции постулатов теоретической механики возможно создать универсальную модель расчета данного процесса, ориентируясь на которую можно определить необходимые параметры движения транспортного средства при отсутствии вертикальной устойчивости.

При движении в момент опрокидывания реакция $N_2 = 0$ (рисунок 2.2), а тело резко останавливается за счет упора (бордюр, выступ, яма, снятие шины с диска колеса и т.п.).

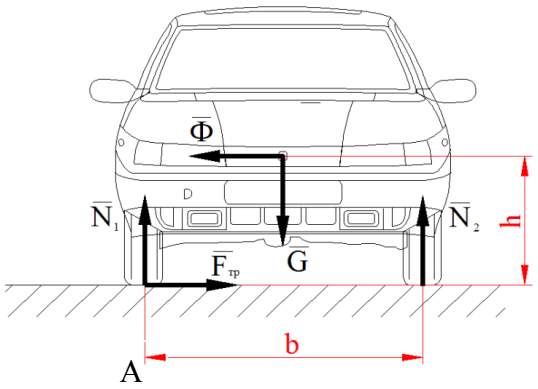


Рисунок 2.2 – Расчетная схема опрокидывания транспортного средства

В соответствии с принципом Д'Аламбера, из уравнения равновесия следует

$$\sum m_A(\bar{F}_k) = \Phi h - G\frac{b}{2}, \tag{2.13}$$

$$\Phi = \frac{mgb}{2h}, \tag{2.14}$$

где $\Phi = ma$, a – ускорение,

h – расстояние от земли до центра масс.

Условие опрокидывания

$$\Phi \geq \frac{mgb}{2h}. \tag{2.15}$$

В момент остановки автомобиль начинает вращаться вокруг точки *A*. (рисунок 2.3), в результате чего можно провести ряд преобразований

$$\Phi = ma_n,$$

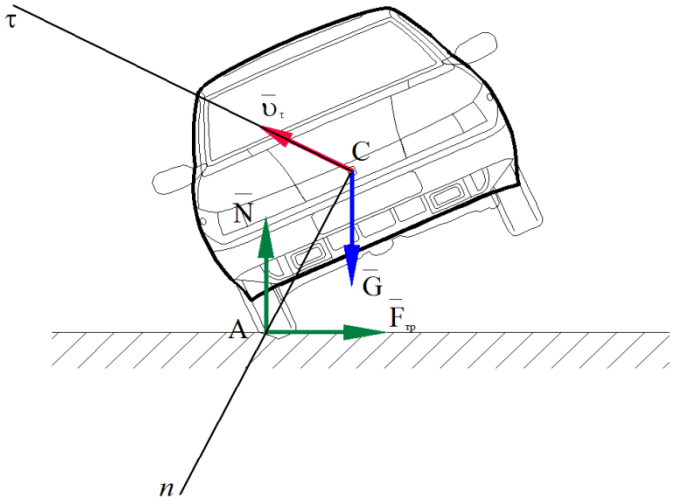


Рисунок 2.3 – Вращение вокруг точки А

$$a_n = \frac{\upsilon_\tau^2}{R},$$

$$R = \sqrt{h^2 + \frac{b^2}{4}},$$

R – расстояние от оси вращения (т. *A*) до центра масс (т. *C*).

$$m\frac{\upsilon_\tau^2}{\sqrt{h^2 + \frac{b^2}{4}}} = \frac{mgb}{2h},$$

$$\upsilon_\tau \geq \sqrt{\frac{gb}{2h}\left(h^2 + \frac{b^2}{4}\right)},$$

где υ_τ – проекция скорости на ось τ,

$$\upsilon_\tau \geq \sqrt{\frac{gb}{2h}\left(h^2 + \frac{b^2}{4}\right)}.$$

Таким образом, для наступления момента потери вертикальной устойчивости должно выполниться условие (рисунок 2.4):

$$\upsilon \geq \frac{1}{\sin\alpha}\sqrt{\frac{gb}{2h}\left(h^2+\frac{b^2}{4}\right)} \qquad (2.16)$$

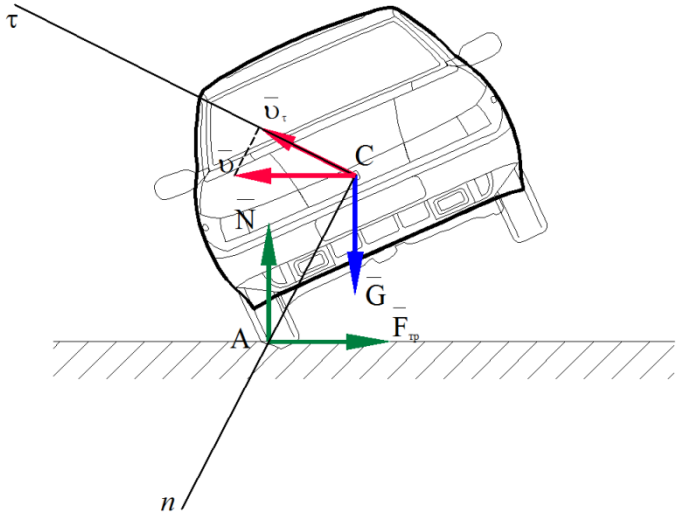


Рисунок 2.4 – Условие потери вертикальной устойчивости

Рассмотрим простой случай движения, вращение относительно оси Oz.

В соответствии с принятой расчетной схемой (рисунок 2.3) все колеса заблокированы.

Дифференциальные уравнения движения:

$$\begin{cases} m\cdot\dfrac{d^2x_{1c}}{dt^2}=\sum F_{kx}^{e} \\ m\cdot\dfrac{d^2y_{1c}}{dt^2}=\sum F_{ky}^{e} \\ J_c\cdot\dfrac{d^2\varphi}{dt^2}=\sum m_z(\bar{F}_k^{e}) \end{cases} \qquad (2.17)$$

где ω – угловая скорость;

J_z – момент инерции.

Физически плоскость не препятствует подскокам автомобиля, т.е. она реализует неудерживающую связь. При построении математической модели важным этапом является описание контактного взаимодействия между ТС и плоскостью, т.к. некоторые динамические эффекты можно объяснить лишь наличием трения, при этом можно использовать различные законы трения: вязкое трение, кулоновское трение и др. На первом этапе решения

поставленной задачи рассмотрим случай, при котором точка A в момент отрыва неподвижна. В этом случае удобно использовать дифференциальные уравнения - движения в естественной форме

$$\begin{cases} m \cdot \dfrac{d\upsilon}{dt} = \sum F^e_{k\tau} \\ m \cdot \dfrac{\upsilon^2}{\rho} = \sum F^e_{kn} \\ J_z \cdot \dfrac{d^2\varphi}{dt^2} = \sum m_z(\overline{F}^e_k) \end{cases} \tag{2.18}$$

где ρ – радиус кривизны траектории.

$$tg\alpha = \frac{2h}{b}$$

$$J_z \cdot \frac{d\omega}{dt} = -GR\cos(\alpha+\varphi),$$

$$\text{где } R = \sqrt{h^2 + \frac{b^2}{4}},$$

$$J_z \cdot \frac{\omega d\omega}{d\varphi} = -GR\cos(\alpha+\varphi),$$

$$\int_{\omega_0}^{\omega_\varphi} \omega d\omega = \int_0^{\frac{\pi}{2}} -\frac{G}{J_z} R\cos(\alpha+\varphi) d\varphi$$

$$\frac{\omega^2}{2}\Bigg|_{\omega_0}^{\omega_\varphi} = -\frac{G}{J_z} R\sin(\alpha+\varphi)\Bigg|_0^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\frac{1}{2}(\omega_\varphi^2 - \omega_0^2) = -\frac{G}{J_z} R\sin(\alpha+\frac{\pi}{2}) + \frac{G}{J_z} R\sin(\alpha)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{2h}{\sqrt{4h^2+b^2}}$$

$$\omega_\varphi = \sqrt{-\frac{2GR}{J_z}\left(\frac{2h}{\sqrt{4h^2+b^2}} - \frac{b}{\sqrt{4h^2+b^2}}\right) + \omega_0^2}$$

В результате с учетом (2.16) получаем, что при одном перевороте объекта угловая скорость равна

$$\omega_\varphi = \sqrt{-\frac{G}{J_z}(2h-b) + \frac{gbR}{2h}\left(h^2 + \frac{b^2}{4}\right)} \tag{2.19}$$

При перевороте объекта более одного раза конечная угловая скорость первого этапа становится начальной угловой скоростью второго этапа переворота

$$\omega_{20} = \varepsilon\omega_{1\varphi}$$

где ε – коэффициент восстановления.

Опрокидывание будет происходить до тех пор, пока будет выполняться условие (2.16).

Таким образом, предложенная модель позволяет рассчитывать все интересующие эксперта параметры для определения механизма опрокидывания транспортного средства.

2.4 Решение прямой и обратной задачи при неконтролируемом перемещении транспортных средств

Движение автомобиля после столкновения с препятствием или другим автомобилем будет происходить в плоскости полотна дорожного покрытия, если не наступает случай потери вертикальной устойчивости. В этом случае транспортное средство (далее тело) получает после ударную скорость $\bar{\upsilon}$ и угловую скорость Ω. [31, 32, 54]

Возможны два варианта решения поставленной задачи:

а) известны уравнения движения автомобиля после момента столкновения, что является крайне редким случаем, практически единичным, тогда дифференцирование уравнений движения по времени дает полную картину происшествия, поэтому данный случай не представляет интереса;

б) наиболее распространенный случай, когда известны силы действующие на транспортное средство (сила тяжести, сила трения), внешние условия (степень шероховатости покрытия дороги, износ покрышек колеса, погодные условия и т.п.), начальные и/или конечные условия, тогда

решение задачи сводится к составлению дифференциальных уравнений движения (уравнения второго порядка) и их интегрированию по времени.

Движение происходит с заблокированными колесами. На автомобиль действуют внешняя сила тяжести и силы трения между колесом и покрытием дороги (рисунок 2.5).

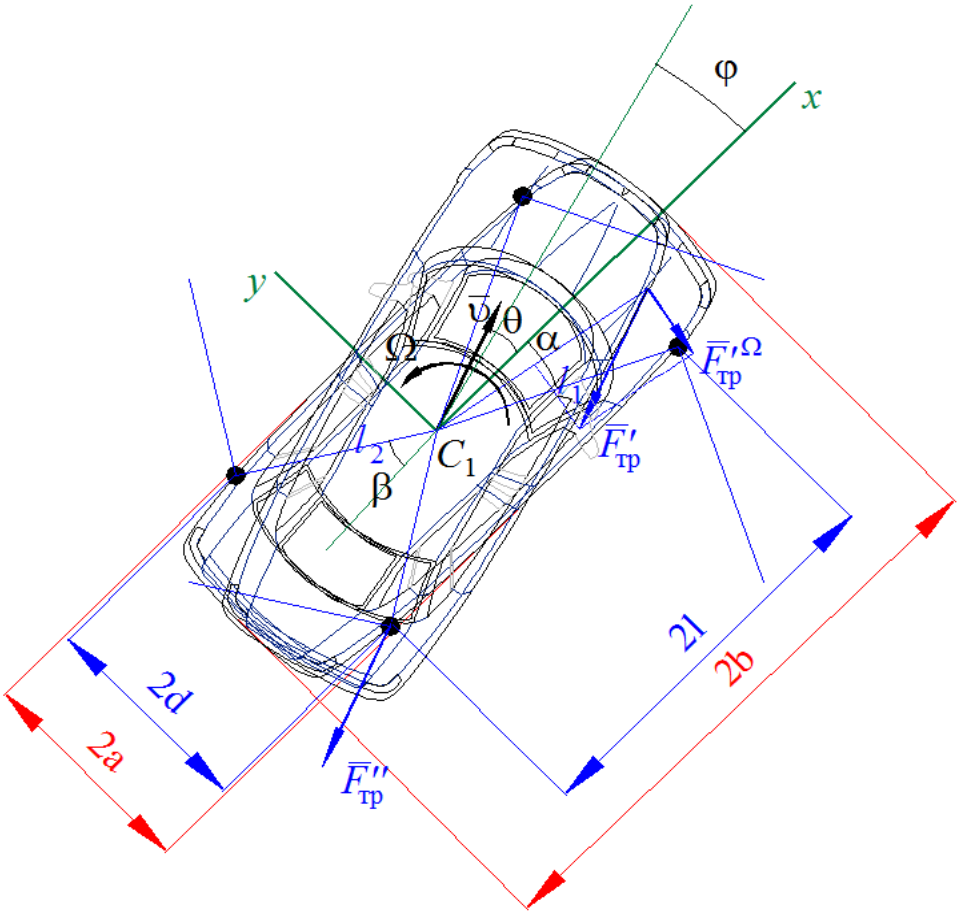


Рисунок 2.5 – Расчетная схема прямой и обратной задачи

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_{C_1} = -2F'_{mp}\cos(\theta) - 2F''_{mp}\sin(\theta), \\ m_1 \ddot{y}_{C_1} = -2F'_{mp}\sin(\theta) - 2F''_{mp}\cos(\theta), \\ J_{C_1}\ddot{\varphi} = -2F'^{\Omega}_{mp} l_1 - 2F''^{\Omega}_{mp} l_2, \end{cases} \qquad (2.20)$$

где J_{C_1} - момент инерции автомобиля относительно оси проходящей через т. C_1 перпендикулярно плоскости C_1xy.

$$J_{C_1} = \frac{m_1(a^2 + b^2)}{3}$$

Учитывая осевую симметрию

$$F'_{mp} = k_1 f N_1, \quad F''_{mp} = k_1 f N_2, \quad F^{\Omega}_{mp} = k_2 f N_i$$

$$F'_{mp} = F''_{mp} \frac{l_2 \cos\beta}{l_1 \cos\alpha}$$

где k – коэффициент учитывающий ориентацию протектора на ось движения, f – коэффициент трения.

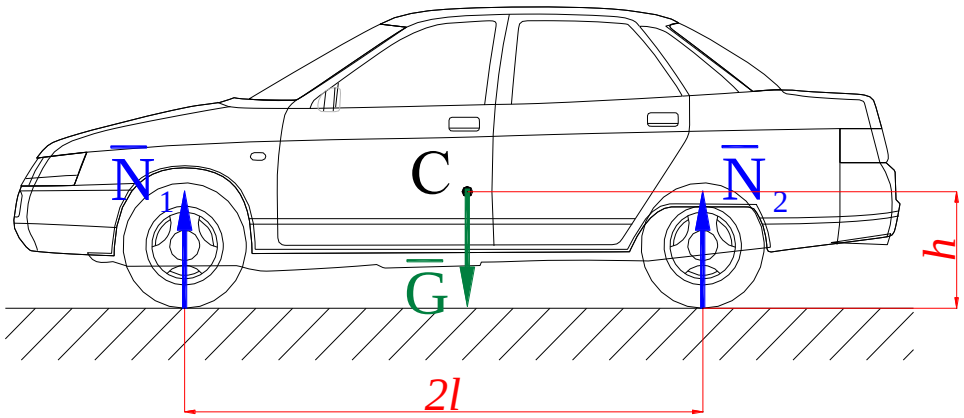


Рисунок 2.6 – Схема определения реакций

Реакции (рисунок 2.6) определяются из условия равновесия

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - G = 0 \\ -N_1 l_1 \cos\alpha + N_2 l_2 \cos\beta = 0 \end{cases} \tag{2.21}$$

$$N_1 = \frac{N_2 l_2 \cos\beta}{l_1 \cos\alpha}$$

$$\begin{cases} N_2 = \dfrac{G l_1 \cos\alpha}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \\ N_1 = \dfrac{G l_2 \cos\beta}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \end{cases} \tag{2.22}$$

Записываем уравнения (2.20) с учетом (2.22)

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_{C_1} = -k_1 f \dfrac{m_1 g l_2 \cos\beta}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\cos(\theta) - k_1 f \dfrac{m_1 g l_1 \cos\alpha}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\sin(\theta) \\ m_1\ddot{y}_{C_1} = -k_1 f \dfrac{m_1 g l_2 \cos\beta}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\sin(\theta) - k_1 f \dfrac{m_1 g l_1 \cos\alpha}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\cos(\theta) \\ J_{C_1}\ddot{\varphi} = -k_2 f \dfrac{m_1 g l_2 \cos\beta}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta} l_1 - k_2 f \dfrac{m_1 g l_1 \cos\alpha}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta} l_2 \end{cases}$$

Интегрируя уравнения (20) дважды получаем уравнения движения автомобиля в плоскости полотна дорожного покрытия в общем виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_{C_1} = \left(- k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\cos(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\sin(\theta) \right) t + C_1 \\ \dot{y}_{C_1} = \left(- k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\sin(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\cos(\theta) \right) t + C_3 \\ \dot{\varphi} = \left(- k_2 f \dfrac{m_1 g l_2 \cos\beta}{J_{C_1}\left(l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta\right)} l_1 - k_2 f \dfrac{m_1 g l_1 \cos\alpha}{J_{C_1}\left(l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta\right)} l_2 \right) t + C_5 \end{cases} \quad (2.23)$$

$$\begin{cases} x_{C_1} = \left(-k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\cos(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\sin(\theta) \right) \dfrac{t^2}{2} + C_1 t + C_2 \\ y_{C_1} = \left(-k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\sin(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta}\cos(\theta) \right) \dfrac{t^2}{2} + C_3 t + C_4 \\ \phi = \left(-k_2 f \dfrac{m_1 g l_2 \cos\beta}{J_C\left(l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta\right)} l_1 - k_2 f \dfrac{m_1 g l_1 \cos\alpha}{J_C\left(l_1\cos\alpha + l_2\cos\beta\right)} l_2 \right) \dfrac{t^2}{2} + C_5 t + C_6 \end{cases} \quad (2.24)$$

Константы интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, зависят от начальных условий.

При $t=0$

$$\begin{cases} \dot{x}_{C_1} = \upsilon_1\cos\theta \\ \dot{y}_{C_1} = \upsilon_1\sin\theta \\ \dot{\varphi} = \Omega_{01} \end{cases}; \quad \begin{cases} x_{C_1} = 0 \\ y_{C_1} = 0 \\ \varphi = 0 \end{cases}$$

Конечным условием, является момент остановки транспортного средства.

При $t=t$

$$\begin{cases} \dot{x}_{C_1} = 0 \\ \dot{y}_{C_1} = 0; \\ \dot{\varphi} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_{C1} = x_{1C_1} \\ y_{C1} = y_{1C_1} \\ \varphi = \varphi_1 \end{cases}$$

Окончательно уравнения движения, после остановки, имеют вид:

$$\begin{cases} 0 = \left(-k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \cos(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \sin(\theta) \right) t + \upsilon_1 \cos\theta \\ 0 = \left(-k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \sin(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \cos(\theta) \right) t + \upsilon_1 \sin\theta \\ 0 = \left(-k_2 f \dfrac{m_1 g l_2 \cos\beta}{J_{C_1}\left(l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta\right)} l_1 - k_2 f \dfrac{m_1 g l_1 \cos\alpha}{J_{C_1}\left(l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta\right)} l_2 \right) t + \Omega_{01} \end{cases} \quad (2.25)$$

В общем виде, для определения кинематических параметров движения в любой момент времени, уравнения движения записываются в форме:

$$\begin{cases} x_{1C_1} = \left(-k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \cos(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \sin(\theta) \right) \dfrac{t^2}{2} + \upsilon_1 \cos\theta \cdot t \\ y_{1C_1} = \left(-k_1 f \dfrac{g l_2 \cos\beta}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \sin(\theta) - k_1 f \dfrac{g l_1 \cos\alpha}{l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta} \cos(\theta) \right) \dfrac{t^2}{2} + \upsilon_1 \sin\theta \cdot t \\ \phi_1 = \left(-k_2 f \dfrac{m_1 g l_2 \cos\beta}{J_C\left(l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta\right)} l_1 - k_2 f \dfrac{m_1 g l_1 \cos\alpha}{J_C\left(l_1 \cos\alpha + l_2 \cos\beta\right)} l_2 \right) \dfrac{t^2}{2} + \Omega_{01} t \end{cases} \quad (2.26)$$

Аналогичные уравнения движения получаем для второго транспортного средства – участника ДТП. Таким образом, решая систему уравнений (2.23), (2.24) будут определены кинематические характеристики движения, а в контексте ДТП конечное положение транспортного средства.

2.5 Выводы по главе

1. Предложена математическая модель, которая позволяет учитывать при расчете неконтролируемого перемещения параметры, такие как ударные импульсы и совокупные системы уравнений движения, учитывающие силовой баланс конкретного автомобиля при перемещении.

2. Теоретическими исследованиями установлено, что существует условие, при котором фрикционное взаимодействие колес транспортного средства с опорной поверхностью может наступить момент, при котором наступает потеря вертикальной устойчивости. Данное условие и процесс опрокидывания в целом описаны в математических зависимостях.

3. Предложена модель решения прямой и обратной задачи, которая позволяет вычислять параметры неконтролируемого перемещения транспортного средства с целью определения кинематических и динамических параметров его движения, а также параметры перемещения транспортного средства до момента контакта, зная конечные параметры, выявляя тем самым предпосылки к опасной обстановке.

ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.

Одним из основных параметров, характеризующих неконтролируемое перемещение транспортного средства, является его боковое скольжение. При этом данный процесс при потере курсовой устойчивости сопровождается боковом скольжением шин колес по опорной поверхности, а при потери вертикальной устойчивости – зачастую скольжением различных частей кузова автомобилей или иных транспортных средств. Данные особенности следует учитывать при разработки способов получения исходных данных для расчета указанных выше процессов.

В большинстве случаев данные процессы сопряжены с тем или иным торможением (потерей кинетической энергии) транспортных средств, что в свою очередь влечет определение замедления тела, возникающего при данном процессе. Замедление находится в корреляционной зависимости от коэффициента сцепления (трения/волочения), который может быть определен экспериментально, что увеличивает точность расчетов.

Дорожное покрытие характеризуется своими сцепными качествами, основные параметры которых шероховатость ее поверхности и степень увлажнения (загрязнения), в том числе и различными покрывными субстанциями (снег, лед, вода, минеральные соединения и т.д.). Сцепные качества автомобиля определяются состоянием его контактных элементов – шин его колес. Определение характера взаимодействия данных контактных элементов подразумевает наличие способа, который был бы адаптивен к различным условиям, зависящим от свойств контактных элементов, а также подразумевающем возможность имитации бокового скольжения колеса или волочения металлических элементов транспортного средства. [48,49]

Для выявления конструктивного тренда установки, которая позволить измерять необходимые параметры для поставленных задач, а также с целью оптимизации и универсализации измерений, рассмотрим существующие способы и конструкции, которые позволяют определять аналогичные параметры с допущениями.

3.1 Экспериментальные методы, позволяющие определить коэффициент сцепления.

Методы экспериментального определения коэффициента сцепления, а также устройства его определения, можно сгруппировать в две категории:

– устройства и методы, позволяющие определять коэффициент сцепления или замедление ТС;

– оценка свойств дорожного покрытия без учета свойств ТС, перемещающихся по ним.

Первая группа дает более точные и объективные исходные данные для расчета.

Измерение коэффициента сцепления при прямом измерении возможно при использовании способа динамометрирования, портативных приборов объективного измерения или самого транспортного средства, которое подвергается ходовым или иным испытаниям. [60, 65]

Одним из самых точных самодостаточных методов измерения коэффициента сцепления, согласно результатам испытаний следует считать способ динамометрирования, поскольку он позволяет производить измерения непосредственно на объектах, участвовавших в дорожно-транспортном происшествии, на участках, где данное происшествие было совершено. Помимо этого, существуют приборы, которые действуют по иному принципу. Их можно разделить на три группы с учетом механики реализации их действий [13]:

1) Прибор буксируется тягачом через прицепной принцип;

2) Прибор навешивается на испытуемое транспортное средство, фиксируя показания его торможения;

3) Приборы имитируют поведение шины при торможении на модельной поверхности, имитирующей работу колеса при торможении.

3.1.1 Устройства буксировочного типа.

Первым устройством, которое стоит упомянуть из этой категории, это динамометрическая тележка. Данная конструкция предложена к реализации и реализована в МАДИ Э. Г. Подлихом. Данная конструкция впоследствии послужила прототипом современного аналога – динамометрического прицепа комплексной дорожной лаборатории ПКРС-2У.

Конструктивная часть данного устройства крайне проста и базируется на динамометрическом принципе измерения, т.е. сила сцепления между опорной поверхностью и колесом устройства измеряется динамометром. Схематично конструкцию тележки можно наблюдать на рис. 3.1 [51].

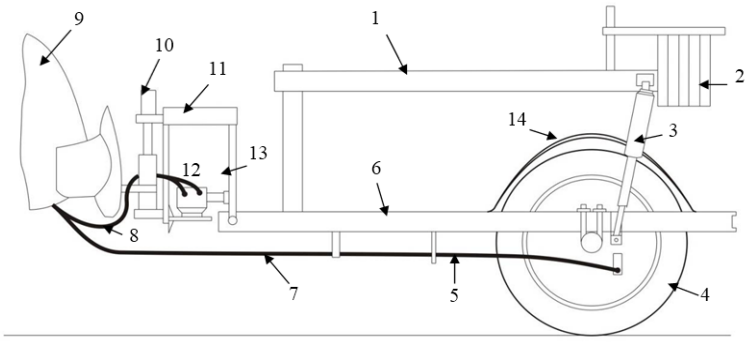


Рисунок 3.1 – Схематичное изображение конструкции динамометрической тележки для измерения коэффициента сцепления.

Конструкция тележки для измерения коэффициента сцепления состоит из: 1 – рамы, отвечающей за нагрузку установки дополнительными грузами для доведения общего веса установки до необходимого состояния; 2 – грузы различного веса, выполненные в виде металлических дисков; 3 –

амортизационное устройство; 4 – колесо с шиной в сборе; 5 – кинематический трос, выполняющий роль тормозной тяги; 6 – основная рама; 7 – гибкий кинематический трос; 8 – электрические магистрали; 9 – тягач (может использоваться любое транспортное средство); 10 – шкворень; 11 – динамометр; 12 – датчик; 13 – пружина; 14 – крыло.

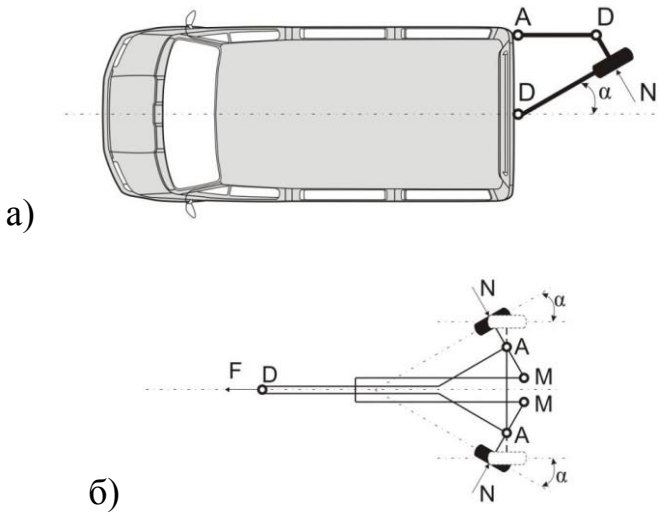
Для измерения коэффициента сцепления, как и в любом другом динамометрическом способе, необходимо тележку перемещать с помощью тягача, после чего происходит затормаживание колеса с измерением тягового усилия ($F_{тяги}$). После этого проводят расчеты значения коэффициента сцепления:

$$\varphi = \frac{F_{тяги}}{mg}, \qquad (3.1)$$

где: $F_{тяги}$ – тяговое усилие, Н;

m – масса нагрузки на колесо (масса установки), кг.

Также существуют конструкции динамометрических тележек, которые применимы для измерения коэффициентов бокового скольжения колеса. Схематично возможные конструкции тележек можно наблюдать на рис. 3.2.



а)

б)

Рисунок – 3.2. Схематичное изображение конструкций тележек для измерения коэффициента бокового скольжения.

Несмотря на хорошо зарекомендовавший себя способ измерения и простоту, однако, данные конструкции имеют и очевидные недостатки. Например, основным недостатком является факт отсутствия универсализма измерения на представленных установках, т.е. отсутствие возможности измерять параметры прямого торможения и бокового скольжения на одном устройстве, а также отсутствие возможности смены колеса для измерения коэффициентов с учетом особенностей конкретной шины.

Вторым способом измерения коэффициента сцепления буксировочным принципом является экспериментальная буксировка испытуемого транспортного средства через динамометрический измеритель. При этом буксируемый автомобиль находится в заторможенном состоянии, а измерение тягового усилия ($F_{тяги}$) происходит через динамометр (рис. 3.3).

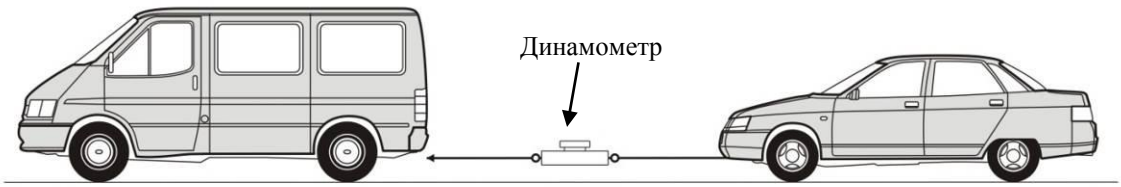


Рисунок – 3.3. Схематичное изображение способа динамометрического буксировочного измерения для измерения коэффициента сцепления.

После этого по формуле (3.1) проводят расчет коэффициента сцепления.

Недостатком данного способа является невозможность проведения измерений на транспортных средствах, получивших значительные повреждения и непригодных к ходовым испытаниям.

3.1.2 Устройства инерционного типа.

Устройства данного типа базируются на том принципе, когда измерительное тело (маятник или жидкость) после разгона транспортного средства и его резкого замедления, обладая инерцией, перемещается на

определенную величину, маркированную шкалой. Данные приборы как правила навешиваются на автомобиль вертикально или устанавливаются на пол горизонтально, после чего рабочее тело занимает исходное положение. Такие устройства называются деселерометрами [74, 94]. Замедление такими приборами измеряется непосредственно и сразу, без дополнительных расчетов, а коэффициент сцепления уже рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \frac{К_э \cdot j}{g}, \tag{3.2}$$

где j – замедление, измеренное деселерометром, м/с^2.

Изначально деселерометры были двух видов: маятникового и гидравлического принципа действия.

Маятниковый прибор (рисунок 3.4) состоит из 1 – креплений к стеклу ТС (резиновые присоски); 2 – указывающая стрелка, показывающая значение замедления; 3 – маятник, который меняет положение стрелки; 4 – шкала.

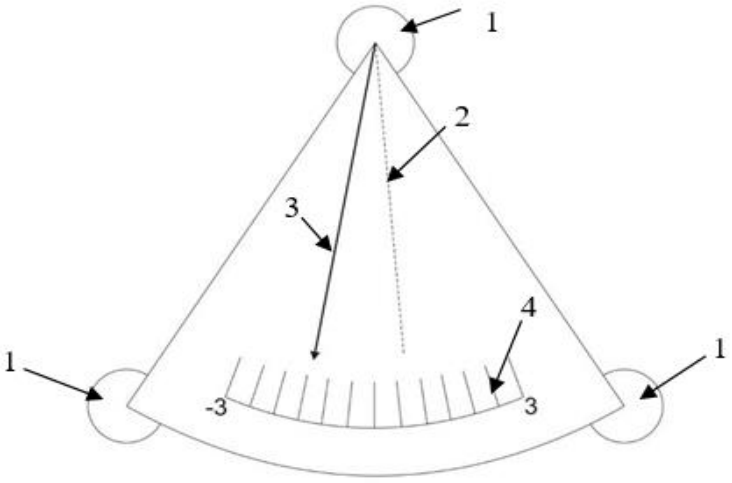


Рисунок – 3.4. Схематичное изображение конструкции маятникового деселерометра для измерения замедления ТС.

Гидравлический прибор (рисунок 3.5) состоит из 1 – креплений к стеклу ТС (резиновые присоски); 2 – прозрачной трубы, замкнутой в

прямоугольный контур; 3 – измерительная жидкость, наполняющая контур наполовину; 4 – шкала.

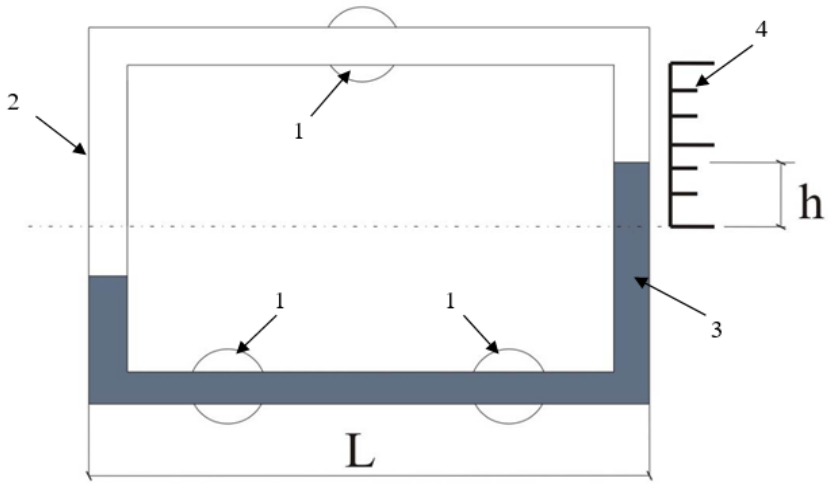


Рисунок – 3.5. Схематичное изображение конструкции гидравлического деселерометра для измерения замедления ТС.

По высоте подъема уровня жидкости (h), образованной в результате действия инерционной силы в момент торможения транспортного средства, определяют замедление:

$$\varphi = \frac{2К_э \cdot h}{g \cdot L}, \qquad (3.3)$$

где: L – горизонтальный размер прибора, м;

h – уровень инерционного подъема жидкости, м.

Данные приборы послужили прототипами таких современных вариаций деселерометров как прибор Эффект 02, прибор ДЭ 01, прибор VZM 300 и т.д., которые в настоящее время имеют электронный принцип измерения, однако, базисный принцип, как и в исходных приборах, остался тем же – измерение инерционных сил.

Недостатком данных приборов является невозможность проведения измерений на транспортных средствах, получивших значительные повреждения и непригодных к ходовым испытаниям.

3.1.3 Устройства имитационного типа.

Имитационные приборы основаны на принципе имитации работы автомобильного колеса путем имитационных резиновых накладок. Существуют устройства ударного типа и маятникового. [100-101]

Прибор ППК-МАДИ (рисунок 3.6) ударного типа конструкции, состоит из: 1 – ударного груза; 2 – накладок, которые имитируют шину; 3 – толкающие рычаги; 4 – возвратный пружинный механизм; 5 – опора; 6 – шкала; 7 – указательное кольцо, которое фиксируется в конечном положении после испытаний. Принцип работы прибора состоит в том, что под действием силы тяжести толкающие рычаги, преодолевая сопротивление пружинного механизма, толкают накладки, имитирующие протектор шины, и вынуждая их скользить по опорной поверхности.

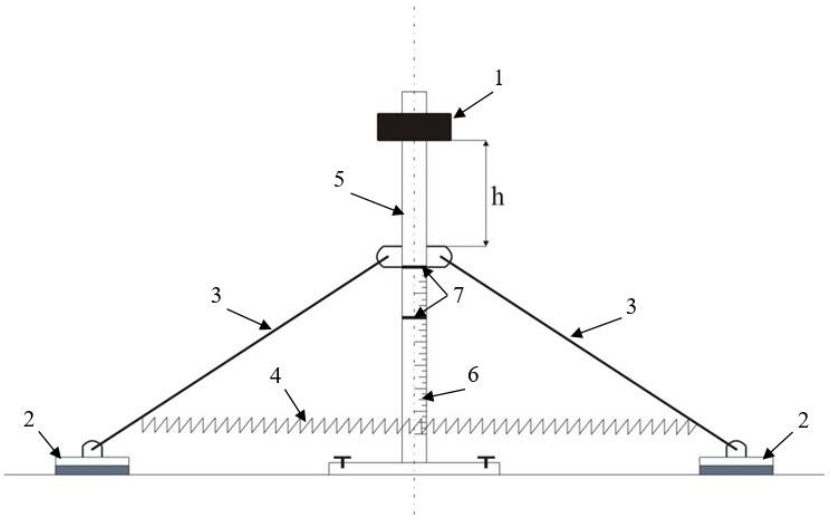


Рисунок – 3.6. Схематичное изображение конструкции ППК-МАДИ ударного типа для измерения коэффициента сцепления.

Прибор Леру (рисунок 3.7) маятниковое типа конструкции, состоит из: 1 – маятник, на основании которого установлена имитационная накладка; 2 – накладка, которая имитирует шину; 3 – пружинный механизм; 4 – стабилизаторные опоры. Принцип работы прибора состоит в том, что под действием силы тяжести маятник опускается на опорную поверхность и теряя

при скольжении кинетическую энергию снова поднимается вверх, однако, на иную высоту.

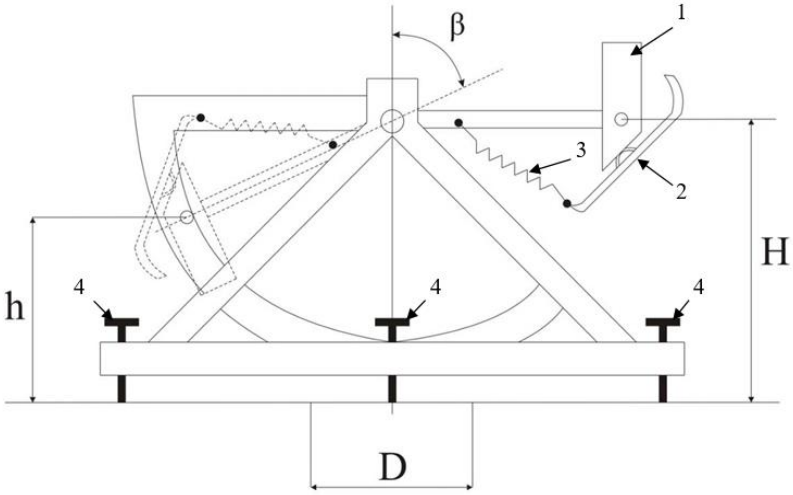


Рисунок – 3.7. Схематичное изображение конструкции маятникового типа для измерения коэффициента сцепления (прибор Леру).

По разнице высот определяю коэффициент сцепления:

$$\varphi = \frac{m \cdot (H - h)}{P \cdot D}, \tag{3.4}$$

где m – масса маятника, кг;

H – начальная высота, м;

h – конечная высота после потери кинетической энергии, см;

P – сила, которая характеризует натяжение пружинного механизма, кгс;

D – размер участка скольжения накладки по опорной поверхности, см.

Основным недостатком данных приборов является сам принцип измерения, который всего лишь имитирует поведение колеса на дорожном покрытии, но не воспроизводит его, что приводит к значительным погрешностям и допущениям. В действительности поведение шины колеса, в особенности при неконтролируемом сложном перемещении, более сложный процесс, зависящий от ряда факторов, которые могут значительно влиять на конечный результат перемещения, и чтобы учесть это влияние и минимизировать погрешности измерений, то необходимо спроектировать

оборудование, позволяющее учесть положительные стороны аналогов и исключить отрицательные.

3.2 Общие положения экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных замеров выбран способ измерения путем динамометрирования, поскольку данный способ наиболее универсальный, независящий от внешних факторов (нам не важно – в ходовом состоянии объект динамометрирования или нет) и легковоспроизводимый (эксперимент настолько прост в исполнении, что воспроизвести его может каждый).

Целями экспериментальных исследований являются:

– определение показателей силы тяги колес разных типов (летней и зимней) в различных дорожных условиях (сухое асфальтобетонное покрытие, мокрое асфальтобетонное покрытие, снежный накат) с целью расчета коррелирующих значений коэффициента сцепления шин колес транспортного средства с поверхностью в зависимости от различных условий положения колес экспериментально;

– определение значений установившегося замедления с использованием сертифицированного прибора Эффект 02 с целью получения сравнительной информации для определения адекватности модели;

– проверка адекватности предложенного способа путем сравнительного анализа результатов измерений и расчетов относительно общепринятых значений (табличных значений и значений, полученных при использовании сертифицированного прибора – Эффект 02).

Задачи экспериментальных исследований:

– апробация оборудования для определения характеристик неконтролируемого перемещения автомобиля;

– установление зависимости коэффициента сцепления от угла поворота колес относительно оси скольжения [68, 94];

– графоаналитическая оценка результатов эксперимента.

Исходя из обозначенных целей и задач экспериментальные замеры будет проведены в несколько этапов:

1. Определение коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием в различных условиях путем динамометрирования и получения массива данных о силе тяги блокированного колеса с дорожным покрытием с дальнейшим математическим расчетом;
2. Определение значений замедления автомобиля в различных (аналогичных первому этапу) условиях;
3. Сравнительный анализ полученных результатов первого и второго этапов.

3.3 Методология эксперимента и исходные параметры

Одним из основополагающих показателей неконтролируемого перемещения автомобиля является коэффициент сцепления шин с дорогой при боковом скольжении. От его значения зависит показатели замедления автомобиля, которое в свою очередь влияет на образование различного баланса сил, приводящего к тому или иному развитию перемещений по характерным траекториям в различных системах отсчета, а также потери кинетической энергии в целом.

С целью повышения эффективности получения исходных данных для расчета неконтролируемого перемещения транспортных средств в каждую единицу времени необходимо соответствующее инженерное оборудование, которое будет отвечать требованиям универсальности и функциональности. С этой целью была предложена конструкция установки, которая была реализована в опытном образце. [66-67]

Схематичные изображения установки представлены на рисунках 3.8 – 3.11. Сущность установки для измерения коэффициента сцепления

заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием поясняется графическими изображениями, на которых изображены:

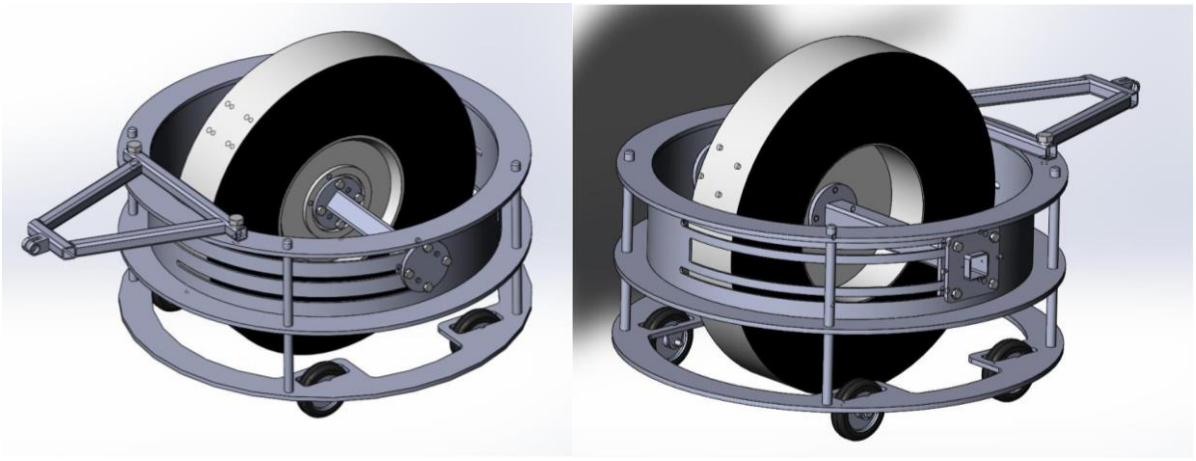


Рисунок 3.8 – Общий вид установки в 3D-виде при проектировании.

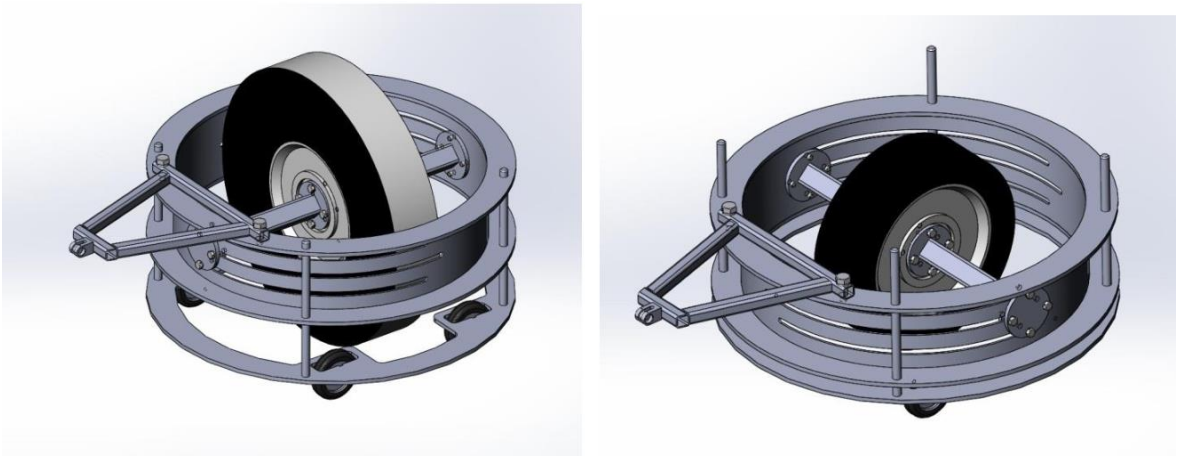


Рисунок 3.9 – Общий вид установки в 3D-виде при проектировании.

Задачей данной установки является расширение функциональных возможностей устройства за счет обеспечения измерения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием в состоянии бокового скольжения под разными углами скольжения для более достоверной имитации перемещения колеса при сложном движении.

Это достигается тем, что установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием, содержит горизонтально расположенные

подвижную раму, на которой закреплено более одной стойки и несущую раму с автомобильным колесом и отверстиями под стойки через которые осуществляется ее крепление с подвижной рамой, на несущей раме закреплено прицепное устройство, причем подвижная и несущая рамы выполнены круглого сечения, кроме того, несущая рама выполнена с конструктивными сквозными каналами в боковой поверхности и горизонтальными штангами, имеющими возможность горизонтального радиального перемещения по конструктивным сквозным каналам относительно несущей рамы на необходимый угол разворота. [57-58]

Технический результат заключается в конструктивном универсализме установки, который позволяет в равной степени измерять коэффициент сцепления заблокированного автомобильного колеса, привязанного к конкретному ДТП, с дорожным покрытием непосредственно на месте ДТП, как при прямом торможении, так и при боковом скольжении под различными углами колеса относительно вектора волочения.

Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием содержит горизонтально расположенную круглую подвижную раму 1, снизу на которой диагонально установлены по два колеса 2 свободного вращения подшипникового типа с каждой стороны от продольной оси установки. К верхней части подвижной рамы 1 жестко закреплены, например, сваркой, вертикальные направляющие стойки 3, не менее двух с каждой стороны от продольной оси установки. Вертикальные направляющие стойки 3 предназначены для установки на подвижной раме 1 круглой несущей рамы 4 через соответствующие сквозные отверстия, изготовленные в стенках несущей рамы 4. К боковой стенке несущей рамы 4 крепятся две штанги 5, на которые, например, через фланец 6 крепится автомобильное колесо 7. Штанги 5 через фланцы 8 и 9 закреплены болтовыми соединениями с боковой стенкой несущей рамы 4 через конструктивные сквозные каналы 10, вырезанные в этой стенке. На верхней поверхности несущей рамы 4 соосно продольной оси закреплено прицепное

устройство 11. Для снятия показаний и имитации нагрузки используется соответственно измерительное устройство, например – динамометр, и дополнительные грузы, в общей сложности до 120 кг. (на рисунках не показаны). [57-58]

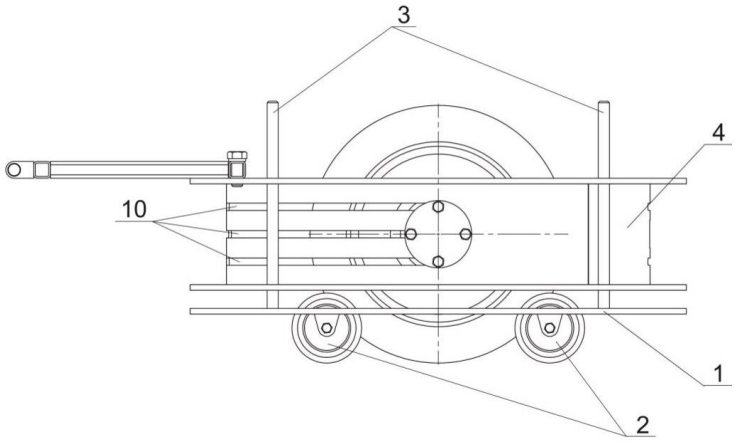


Рисунок 3.10 – Чертежный вид установки сбоку.

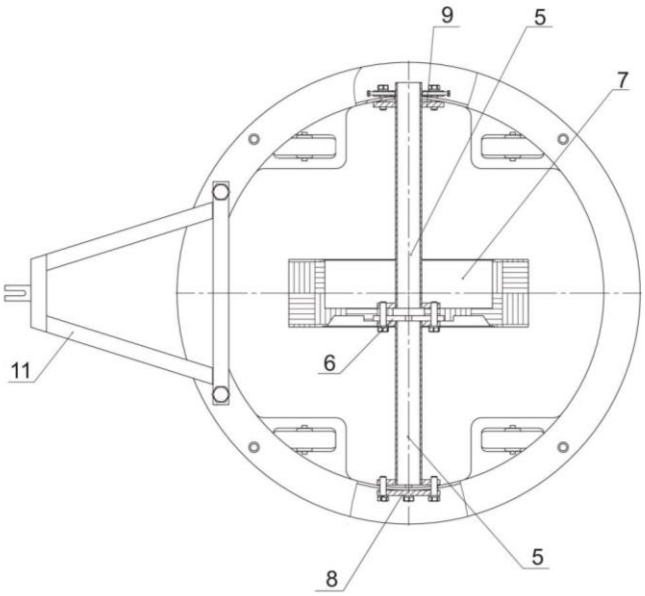


Рисунок 3.11 – Чертежный вид установки сверху.

Для проведения экспериментальных исследований был собран опытный образец (Рисунок 3.12).

Рисунок 3.12 – Общий вид предложенной экспериментальной установки

Пример использования установки. Для измерения коэффициента сцепления при прямом торможении круглую несущую раму 4 через сквозные отверстия, с помощью вертикальных направляющих стоек 3, устанавливают на круглую подвижную раму 1. Через фланец 6 к двум штангам 5 крепят автомобильное колесо 7, демонтированное с автомобиля, участвовавшего в ДТП. Через фланцы 8 и 9 и конструктивные сквозные каналы 10 штанги 5 крепят к несущей раме 4. С помощью такого соединения несущая рама 4 свободно перемещается вверх и вниз относительно вертикальных направляющих стоек 3 (перемещение ограничено конструктивными размерами колеса) и имеет возможность демонтажа с подвижной рамы 1 для транспортировки. Конструктивные сквозные каналы 10 позволяют радиально перемещать штанги 5 с закрепленным на них колесом 7 внутри несущей рамы 4, что позволяет измерять коэффициент бокового скольжения колеса 7 в различных угловых положениях. Для имитации фактической нагрузки, приходящейся на колесо автомобиля, несущую раму 4 нагружают дополнительными грузами (например, в общей сложности до 120 кг.). Распределение нагрузки дополнительными грузами происходит равномерно или из расчета перераспределения нагрузки при торможении на

автомобильное колесо, при давлении в колесе 0,2 МПа (или иное, если оно отличалось на момент ДТП). Прицепное устройство 11 сцепляют жестко через измерительное устройство, например, динамометр (на рисунках не показан), с автомобилем, который осуществляет транспортировку установки, с помощью установленных снизу на подвижной раме 1 колес 2, по участку дороги с постоянной заданной скоростью с целью измерения коэффициента сцепления. Для измерения коэффициента сцепления при боковом скольжении, штанги 5 перемещают радиально внутри несущей рамы 4 по конструктивным сквозным каналам 10, выставляя необходимый угол разворота колеса для измерения. Дальнейшая работа по измерению коэффициента сцепления при прямом торможении или боковом скольжении сводится к перемещению устройства в ведомом режиме по поверхности дороги. Динамометром измеряется сила тяги, исходя из которой вычисляется искомый коэффициент по формуле:

$$\varphi = \frac{P}{q \cdot A}, \qquad (3.5)$$

где: q – удельное давление в колесе, МПа;

A – площадь пятна контакта шины с опорной поверхностью, м^2;

P – буксирующая сила, Н.

Для получения необходимых данных, с учетом непрямого измерения искомой величины (она рассчитывается исходя из полученных значений силы тяги – см. формулу (3.5), которая получена для расчета коэффициента сцепления) измерения проводились в несколько этапов. На первом этапе несущую раму устанавливают на подвижную раму по направляющим через отверстия. К двум поперечинам через универсальный фланец крепят экспериментальное колесо (то колесо, которое находилось на автомобиле, замедление которого необходимо определить). После этого через торцевые фланцы и болтовые соединения поперечины крепят к несущей раме, выставляя угол оси колеса (начальное значение составляет 0º). Вертикальные направляющие позволяют несущей раме свободно вертикально

перемещаться, создавая тем самым имитацию подрессоренной массы. Для имитации необходимого веса несущую раму необходимо догрузить дополнительными грузами (нагрузка возможна до 120 кг). Далее, к тяговому устройству подсоединяют динамометр, который в свою очередь фиксируется к фаркопу тягача (буксирующего автомобиля). Далее проводят измерения и замеры. С целью измерения углов, отличных от прямого торможения (дифференциация справедлива для диапазона от 0º до 90º), болтовые соединения торцевых фланцев ослабляют, разворачивают поперечины на необходимый угол и снова фиксируют болтовые соединения. [113-114] При этом фиксируются показания измерительного прибора, после чего рассчитываются значения коэффициента сцепления и замедления.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны шины разных моделей (зимней и летней) фирмы Dunlop (шины одной фирмы выбраны для снижения влияния разнородности материалов изготовления и влияния технологического процесса изготовления на характеристики шины), размером 215/60R17. Так, летняя модель шин – Grandtrek PT3 (Рисунок 3.13а), зимняя модель шин – Grandtrek Ice03 (Рисунок 3.13б)

а б

Рисунок 3.13 – Шины, выбранные для экспериментальных испытанний

Измерение проводилось с помощью динамометра ДПУ-5-2 (погрешность которого ±0,1% от наибольшего предела измерения), который показан на рисунке 3.14.

Рисунок 3.14 – Измерительное устройство (динамометр)

При проведении экспериментальных замеров следует принять, что давление воздуха в шине выставлялось до стандартного значения (0,2 МПа), нагрузка на колесо составляла нормированное значение четвертой части снаряженной массы автомобиля Nissan Qashqai (355 кг в общей сложности с весом конструкции и дополнительными грузами), который был выбран в качестве испытуемого транспортного средства для ходовых испытаний с использованием измерительного прибора Эффект 02 (Рисунок 3.15).

Рисунок 3.15 – Измерительное устройство (Эффект 02)

Предлагаемая установка проста в монтаже, по размерам соответствует установке ПКРС-2У, что позволяет ее использовать в передвижной лаборатории, а следовательно, не исключается фактор ее мобильности. При этом установка адаптивна к условиям осмотра места происшествия, т.е. возможно использования колес, демонтированных с транспортного средства – участника ДТП, на месте совершения происшествия с учетом тех дорожных условий, которые имели место быть в момент ДТП. При этом данная установка универсальна в применении еще и по той причини, что имеет опцию измерения как прямого торможения, так и бокового скольжения с возможностью варьирования угла поворота колес в диапазоне от 0 до 90 град.

3.4 Выводы по главе

1. Существующие приборы по измерению коэффициента сцепления можно разделить по принципу действия на следующие группы: буксировочного типа; инерционного типа; имитационного типа. Данные приборы имеют свои различные недостатки, которые не позволяющие считать их универсальными. Также установлено, что в настоящее время нет приборов и установок, позволяющих определять исходные данные для расчета параметров неконтролируемого перемещения.

2. Установлено, что наиболее адекватным способом измерения (имеющим наименьшее количество минусов) является способ динамометрирования, как наиболее универсальный и легковоспроизводимый.

3. Разработана установка, которая может быть применена непосредственно на месте ДТП с использованием колес, демонтированных с транспортного средства (участника ДТП) с учетом дорожных условий на момент ДТП с опцией измерения как прямого торможения, так и бокового скольжения с варьированием угла поворота колес в диапазоне от 0 до 90 град.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.

4.1 Первый этап экспериментальных исследований (измерение с помощью предложенной установки)

Для определения коэффициента сцепления при различных положениях оси колеса относительно вектора волочения измерительную установку соединяют через измерительное устройство (динамометр) с тягачом (транспортным средством), после чего установку догрузили до необходимой нагрузки (355 кг). Для испытаний использовались шины разных сезонов, а также штампованный диск данных колес.

Измерения выполнялись по следующему алгоритму: сцепка тягача и установки начинает движение со скоростью, рекомендованной к испытаниям (от 20 км/ч до 40 км/ч), после чего фиксируется значение силы тяги путем видеофиксации с помощью камеры, установленной на заднем бампере тягача. Замеры повторяют несколько раз (не менее пяти на одну позицию), меняя при этом угол поворота колеса с шагом 10º (от 0º до 90º).

Для получения более адекватного, объективного и всестороннего массива эмпирических данных испытания проводились в различных дорожных условиях на различных, но наиболее типичных, покрытиях, а именно на сухом асфальтобетонном покрытии в летнее время суток (Рисунок 4.1-4.2), на мокром асфальтобетонном покрытии в осенний период времени (Рисунок 4.3-4.4), в зимний период по снежному накату (Рисунок 4.5-4.6). Также исследовалось скольжение металлических поверхностей (Рисунок 4.7). Последнее относится к неконтролируемому перемещению транспортного средства при выходе из строя одной или нескольких опор автомобиля (например, при разрушении подвесной части автомобиля) или при потере вертикальной устойчивости (при опрокидывании, когда автомобиль контактирует с опорной поверхностью металлическими элементами кузова).

Рисунок 4.1 – Проведение испытаний в летнее время года с летней шиной на сухом покрытии

Рисунок 4.2 – Проведение испытаний в летнее время года с летней шиной на сухом покрытии

Рисунок 4.3 – Проведение испытаний в осенний период с летней шиной на мокром покрытии

Рисунок 4.4 – Проведение испытаний в осенний период с летней шиной на мокром покрытии

Рисунок 4.5 – Проведение испытаний в зимнее время года с зимней шиной на снежном накате

Рисунок 4.6 – Проведение испытаний в зимнее время года с зимней шиной на снежном накате

Рисунок 4.7 – Проведение испытаний со скольжением металлической поверхности (диска в данном случае)

Результаты измерения силы тяги при экспериментальных замерах с использованием летней шины Dunlop Grandtrek PT3 215/60R17 на сухом асфальтобетонном покрытии представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты экспериментальных замеров на сухом асфальтобетонном покрытии

Угол поворота колеса, град	Сила тяги, Н				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	12402	11392	12125	12000	11900
10	11536	11536	11756	11860	11753
20	11232	11990	11232	11123	10900
30	10896	11890	10567	10963	10236
40	10456	11123	10324	10563	9785
50	10265	10864	9980	10050	10236
60	10563	10123	11020	10750	10120
70	12350	13290	12563	11420	13340
80	14563	15632	13550	13300	13800
90	16539	17360	15863	15630	14980

Результаты измерения силы тяги при экспериментальных замерах с использованием летней шины Dunlop Grandtrek PT3 215/60R17 на мокром асфальтобетонном покрытии представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты экспериментальных замеров на мокром асфальтобетонном покрытии

Угол поворота колеса, град	Сила тяги, Н				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	7150	7950	7230	7452	6900
10	6853	7700	7123	7230	6850
20	6423	7650	6750	6850	6756
30	5923	7300	6520	6230	6500
40	5800	7156	5900	5632	6230
50	5756	6990	5950	5450	6120
60	5560	7563	6125	5450	7120
70	7320	8352	6950	6950	7210
80	8962	8540	7420	7520	8100
90	9150	8630	8950	8756	8900

Результаты измерения силы тяги при экспериментальных замерах с использованием летней шины Dunlop Grandtrek PT3 215/60R17 на грунтовом покрытии представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты экспериментальных замеров на грунтовом покрытии

Угол поворота колеса, град	Сила тяги, Н				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	9600	9256	8965	9120	8965
10	9230	9120	8750	9002	8800
20	8780	8950	8550	8750	8420
30	8560	8560	8123	8560	7950
40	8423	8320	8100	8320	7750
50	8120	8100	7950	7950	8230
60	8100	7980	7860	8008	8756
70	9560	8330	8563	9623	9123
80	9950	9500	9950	10950	10124
90	10800	10956	11100	11089	10956

Результаты измерения силы тяги при экспериментальных замерах с использованием зимней шины Dunlop Grandtrek Ice03 215/60R17 на снежном накате представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты экспериментальных замеров на снежном накате

Угол поворота колеса, град	Сила тяги, Н				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	3650	4128	4200	4100	4614
10	3460	4020	3670	3963	3800
20	3350	3980	3220	3760	3690
30	3120	2960	2900	3560	3156
40	2750	3128	2400	2852	2780
50	2980	2658	2450	2560	2200
60	3452	3650	3120	2400	3125
70	3780	3890	3980	3423	3900
80	3920	4120	4320	4230	4230
90	4560	4750	4900	5100	5230

По формуле (3.5) проводим вычисления и получаем значения коэффициента сцепления для сухого асфальтобетонного покрытия, представленного в таблице 4.5. Для получения регрессионных уравнений углы поворота колес были переведены в радианы (как безразмерные величины).

Таблица 4.5 – Результаты расчетов коэффициента сцепления летней шины Dunlop Grandtrek PT3 215/60R17 на сухом асфальтобетонном покрытии

Угол поворота колеса, рад	Коэффициент сцепления				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	0,860	0,790	0,841	0,832	0,825
0,17	0,800	0,800	0,815	0,822	0,815
0,35	0,779	0,831	0,779	0,771	0,756
0,52	0,756	0,825	0,733	0,760	0,710
0,7	0,725	0,771	0,716	0,732	0,679
0,87	0,712	0,753	0,692	0,697	0,710
1,05	0,732	0,702	0,764	0,745	0,702
1,22	0,856	0,922	0,871	0,792	0,925
1,4	1,010	1,084	0,940	0,922	0,957
1,57	1,147	1,204	1,100	1,084	1,039

Откуда построен график зависимости коэффициента сцепления от угла поворота колеса (Рисунок 4.8) для сухого асфальтобетонного покрытия.

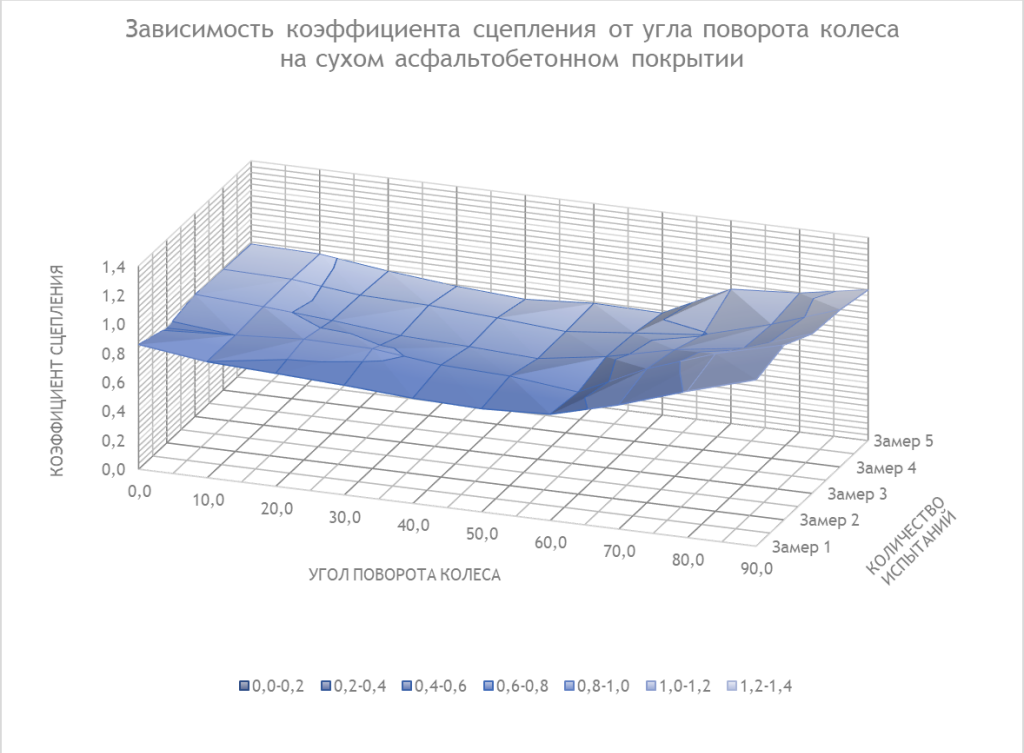


Рисунок 4.8 – Зависимость коэффициента сцепления от угла поворота колеса на сухом асфальтобетонном покрытии

Аналогичными расчетами получаем значения коэффициента сцепления для мокрого асфальтобетонного покрытия, представленного в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты расчетов коэффициента сцепления летней шины Dunlop Grandtrek PT3 215/60R17 на мокром асфальтобетонном покрытии

Угол поворота колеса, рад	Коэффициент сцепления				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	0,496	0,485	0,501	0,517	0,478
0,17	0,475	0,534	0,494	0,501	0,475
0,35	0,445	0,530	0,468	0,475	0,468
0,52	0,411	0,506	0,452	0,432	0,451
0,7	0,402	0,496	0,409	0,391	0,432
0,87	0,399	0,485	0,413	0,378	0,424
1,05	0,386	0,524	0,425	0,378	0,494
1,22	0,508	0,579	0,482	0,482	0,500
1,4	0,621	0,592	0,515	0,521	0,562
1,57	0,635	0,598	0,621	0,607	0,617

По полученным значениям построен график зависимости коэффициента сцепления от угла поворота колеса (Рисунок 4.9) для мокрого асфальтобетонного покрытия.

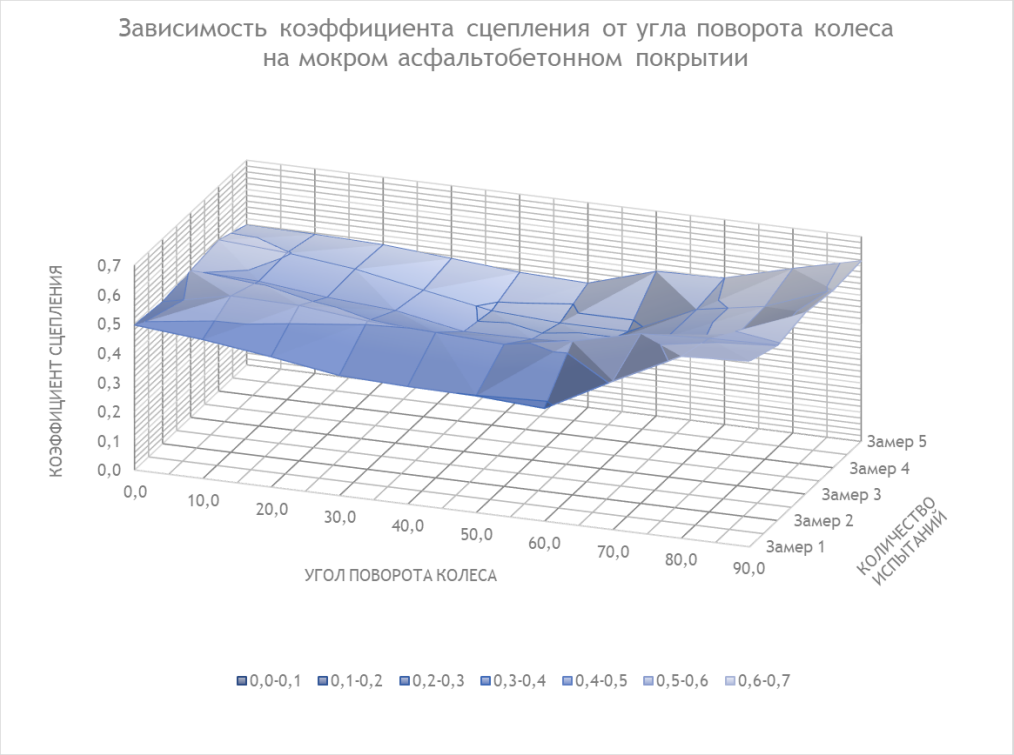


Рисунок 4.9 – Зависимость коэффициента сцепления от угла поворота колеса на мокром асфальтобетонном покрытии

Также расчетным способом получены значения коэффициента сцепления для грунтового покрытия, представленного в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты расчетов коэффициента сцепления летней шины Dunlop Grandtrek PT3 215/60R17 на грунтовом покрытии

Угол поворота колеса, рад	Коэффициент сцепления				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	0,666	0,642	0,622	0,632	0,622
0,17	0,676	0,663	0,631	0,638	0,648
0,35	0,691	0,683	0,672	0,647	0,660
0,52	0,702	0,691	0,673	0,655	0,666
0,7	0,711	0,702	0,697	0,677	0,683
0,87	0,726	0,711	0,710	0,704	0,694
1,05	0,728	0,725	0,723	0,709	0,713
1,22	0,739	0,745	0,734	0,725	0,725
1,4	0,746	0,749	0,759	0,759	0,735
1,57	0,749	0,760	0,770	0,769	0,760

Данные значения преобразовались в график зависимости коэффициента сцепления от угла поворота колеса (Рисунок 4.10) для грунтового покрытия.

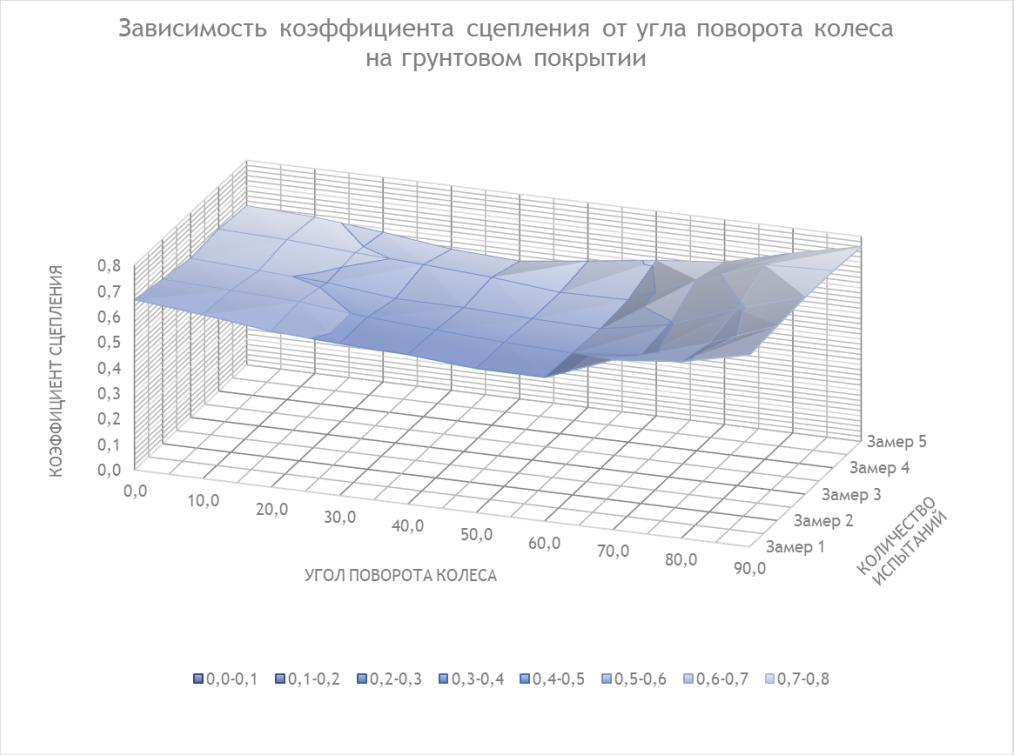


Рисунок 4.10 – Зависимость коэффициента сцепления от угла поворота колеса на грунтовом покрытии

Расчет значений коэффициента сцепления для снежного наката представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчетов коэффициента сцепления зимней шины Dunlop Grandtrek Ice03 215/60R17 на снежном накате

Угол поворота колеса, рад	Коэффициент сцепления				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	0,253	0,286	0,291	0,284	0,320
0,17	0,240	0,279	0,254	0,275	0,264
0,35	0,232	0,276	0,223	0,261	0,256
0,52	0,216	0,205	0,201	0,247	0,219
0,7	0,191	0,217	0,166	0,198	0,193
0,87	0,207	0,184	0,170	0,178	0,153
1,05	0,239	0,253	0,216	0,166	0,217
1,22	0,262	0,270	0,276	0,237	0,270
1,4	0,272	0,286	0,300	0,293	0,293
1,57	0,316	0,329	0,340	0,354	0,363

Откуда построен график зависимости коэффициента сцепления от угла поворота колеса (Рисунок 4.11) для снежного наката.

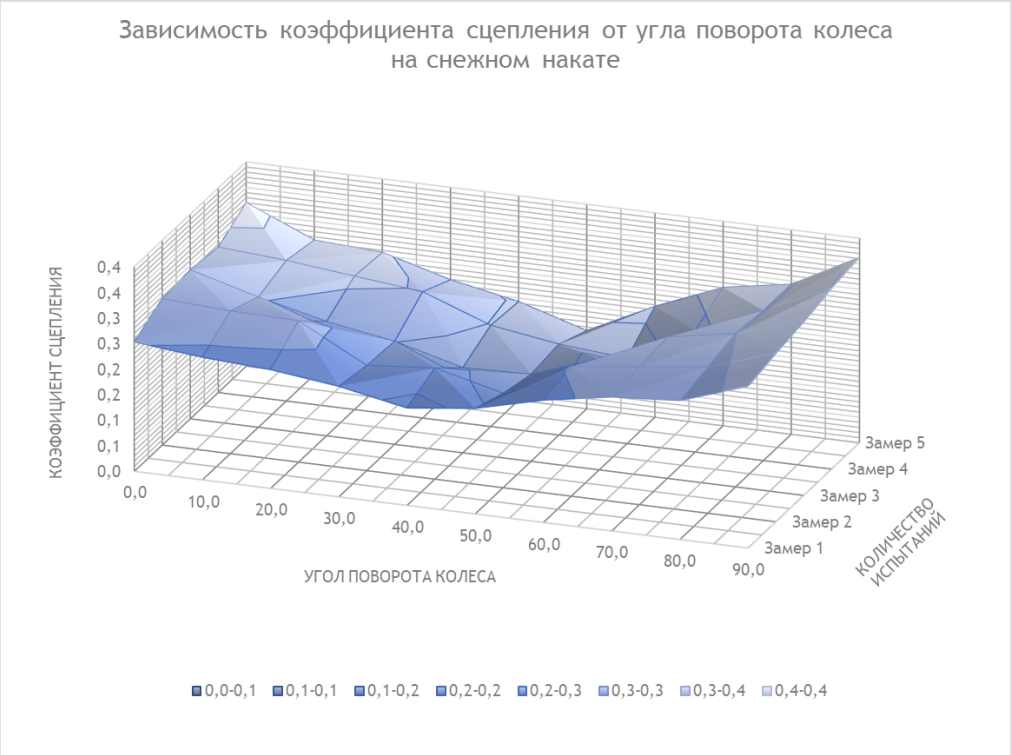


Рисунок 4.11 – Зависимость коэффициента сцепления от угла поворота колеса на снежном накате

Также нередки случаи выхода из строя одной из опор транспортного средства (колеса или подвески в общем, шины в частности), что также требует проработки к практическому применению через выявление значений коэффициента трения (волочения) для учета в расчетах неконтролируемого перемещения. Также следует отметить тот момент, что при опрокидывании транспортного средства (независимо – один оборот совершает ТС или несколько) при контакте с опорной поверхностью (боковыми сторонами или крышей), вследствие наличия инерционной силы, происходит динамическое скольжение металлических кузовных плоскостей относительно опорной поверхности. Данные процессы также сопровождаются потерей кинетической энергии и сложным трением [97-98], которое можно рассчитать используя коэффициенты трения (скольжения). При этом предложенная установка позволяет имитировать или повторять (при наличии должного оборудования) трение металлических элементов автомобиля. Для этого использовался диск колеса (в дальнейшем на представленной установке

возможны любые замеры с любыми металлическими поверхностями при использовании универсальных крепежных переходников) без установленной на него шины (рисунок 4.7). По результатам замеров были получены соответствующие величины силы тяги, представленные в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Результаты экспериментальных замеров при использовании диска колеса

Угол поворота колеса, град	Сила тяги, Н				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	4536	4125	3956	4260	4950
10	5123	5680	5420	6100	6125
20	6423	6123	6560	7125	6540
30	7358	6980	7536	7956	6980
40	7750	7650	7900	8125	7560
50	8426	8125	8124	9650	7950
60	9350	9630	8356	10890	9650
70	11856	10960	9956	11230	11230
80	12300	13000	13680	14300	13850
90	16530	15600	14789	16120	15680

По формуле (3.5) проводим вычисления и получаем значения коэффициента сцепления, представленные в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Результаты расчетов коэффициента сцепления при использовании диска колеса

Угол поворота колеса, рад	Коэффициент сцепления				
	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
0	0,315	0,286	0,274	0,295	0,343
0,17	0,355	0,394	0,376	0,423	0,425
0,35	0,445	0,425	0,455	0,494	0,454
0,52	0,510	0,484	0,523	0,552	0,484
0,7	0,537	0,530	0,548	0,563	0,524
0,87	0,584	0,563	0,563	0,669	0,551
1,05	0,648	0,668	0,579	0,755	0,669
1,22	0,822	0,760	0,690	0,779	0,779
1,4	0,853	0,901	0,949	0,992	0,960
1,57	1,146	1,082	1,026	1,118	1,087

После чего также выстраиваем график его зависимости от угла поворота колеса, который можно наблюдать на рисунке 4.12.

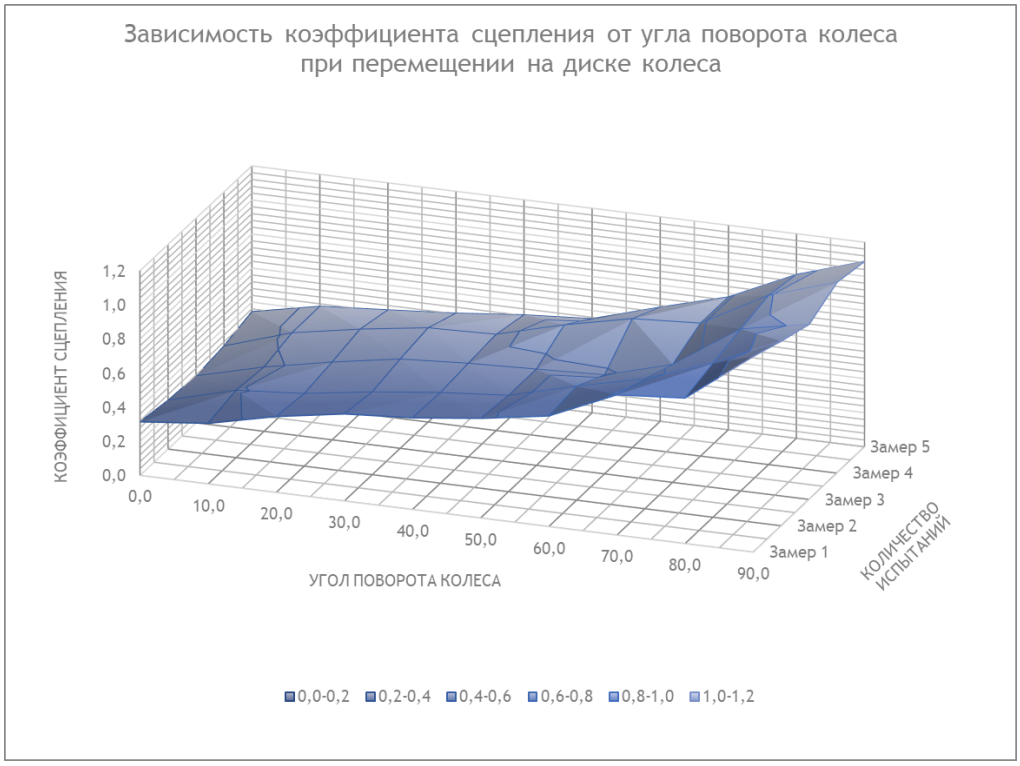


Рисунок 4.12 – Зависимость коэффициента сцепления от угла поворота колеса при измерениях с диском колеса

Все полученные точки распределения экспериментальных замеров, отображенных на графиках, нелинейны и имеют экспоненциальный полиномиальный характер распределения. При этом видна тенденция к тому, что с увеличением угла поворота колеса (при пошаговом повороте в поперечную позицию) сила сопротивления перемещению возрастает (что наблюдаемо по возрастающей силе тяги), а следовательно, растет значение коэффициента сцепления. Однако, при углах поворота, близких к 45 градусам, наблюдается просадка до минимальных значений.

Для полноты исследования были проведены замеры на других поверхностях, средние значения которых сведены в таблицу 4.11, которые были преобразованы в график зависимости (Рисунок 4.13). Здесь также в целом наблюдаются обозначенные выше тенденции.

Таблица 4.11 – Результаты измерений коэффициента сцепления автомобиля при различных дополнительных дорожных условиях

Угол / Покрытие	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
Сухой асфальтобетон	0,83	0,81	0,78	0,76	0,72	0,71	0,73	0,87	0,98	1,11
Мокрый асфальтобетон	0,50	0,50	0,48	0,45	0,43	0,42	0,44	0,51	0,56	0,62
Грунтовое покрытие	0,64	0,62	0,60	0,58	0,57	0,56	0,56	0,63	0,70	0,76
Травяное покрытие	0,41	0,37	0,34	0,33	0,29	0,30	0,31	0,48	0,51	0,54
Щебеночное покрытие	0,50	0,50	0,47	0,44	0,41	0,43	0,59	0,62	0,84	0,97
Плиточное покрытие	0,30	0,27	0,27	0,25	0,22	0,23	0,29	0,33	0,45	0,50
Снежный накат	0,29	0,26	0,25	0,22	0,19	0,18	0,22	0,26	0,29	0,34
Криталовидный лед	0,12	0,10	0,11	0,13	0,14	0,15	0,15	0,18	0,20	0,21
Металл на сухом асфальте	0,30	0,39	0,45	0,51	0,54	0,59	0,66	0,77	0,93	1,09
Металл на мокром асфальте	0,29	0,40	0,43	0,49	0,52	0,55	0,61	0,69	0,75	0,80
Металл на грунтовом покрытии	0,72	0,75	0,79	0,81	0,86	0,90	0,92	0,95	1,10	1,20
Металл на снежном покрытии	0,11	0,12	0,20	0,27	0,30	0,35	0,47	0,56	0,68	0,80

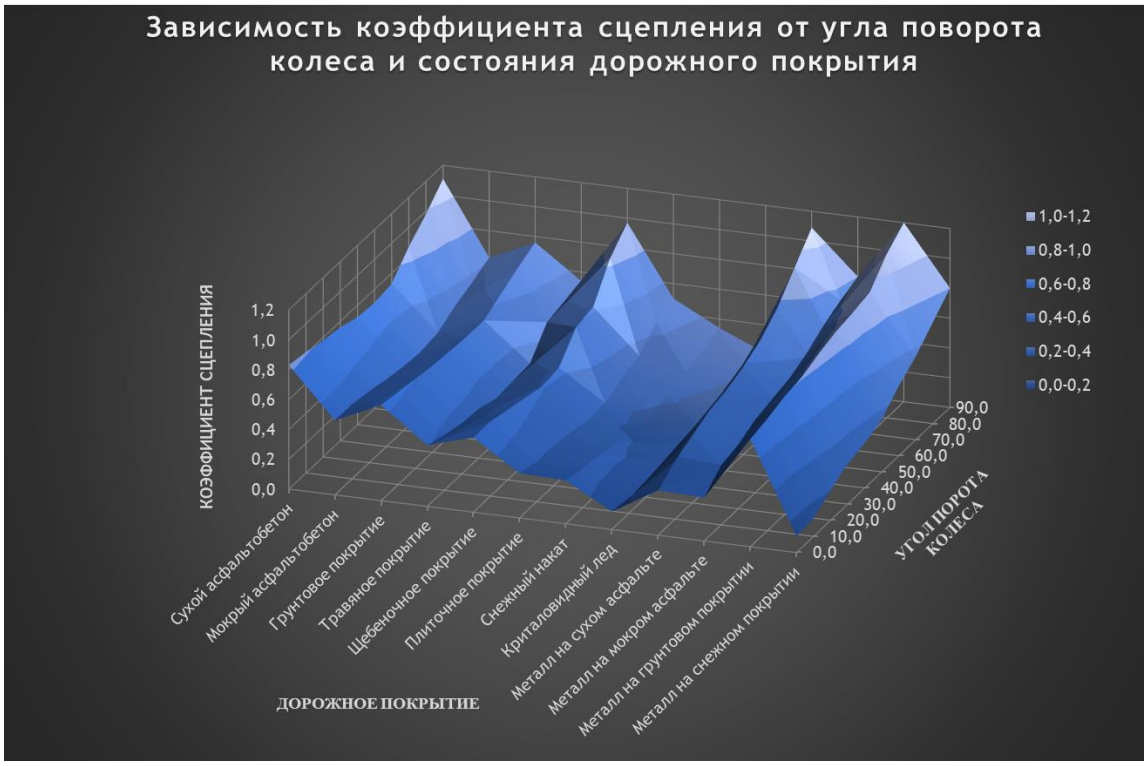


Рисунок 4.13 – Зависимость коэффициента сцепления от угла поворота колеса и состояния дорожного покрытия

Для сравнительного анализа с сертифицированным измерительным устройством результаты замеров при прямом торможении колеса (поскольку сертифицированное измерительное устройство не имеет возможность измерять боковое скольжение) были преобразованы в замедление по формуле (1.1) и сведены в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Результаты измерений замедления автомобиля при различных дорожных условиях, м/с^2

Номер замера / Покрытие	1	2	3	4	5
Асфальтобетон сухой	7,2	7,0	6,9	7,1	6,9
Асфальтобетон мокрый	3,4	3,3	3,3	3,5	3,2
Грунтовое покрытие	6,5	6,3	6,1	6,2	6,1
Снежный накат	1,2	1,4	1,2	1,3	1,2

4.2 Второй этап экспериментальных исследований (измерение с помощью прибора Эффект-02)

Для сравнения адекватности показаний предлагаемой установки также были проведены испытания на сухом асфальтобетонном покрытии, мокром асфальтобетонном покрытии и снежном накате путем замедления автомобиля Nissan Qashqai, оснащенного сертифицированным измерительным устройством Эффект 02.

Данное измерительное устройство работает при помощи считывания информации с датчика ускорения при торможении, обеспечивая измерение замедления автомобиля. Также установленный датчик усилия позволяет отсекать варианты, где нажатие на педаль тормоза было недостаточным. Устройство позволяет замерять кроме того время срабатывания тормозной системы и значение тормозного пути [116].

Эффект 02 крепиться в вертикально ориентированном состоянии на боковое стекло автомобиля, на педаль помещается специальный датчик измерения нажимного усилия водителя (рисунок 4.14-4.16).

Рисунок 4.14 – Автомобиль Nissan Qashqai, оснащенный сертифицированным измерительным устройством Эффект 02.

Рисунок 4.15 – Автомобиль Nissan Qashqai, оснащенный сертифицированным измерительным устройством Эффект 02.

Рисунок 4.16 – Автомобиль Nissan Qashqai, оснащенный сертифицированным измерительным устройством Эффект 02.

Испытания проводились на аналогичных предыдущему этапу дорожных покрытиях (сухой асфальтобетон, мокрый асфальтобетон, грунтовое покрытие, снежный накат). Измерительное устройство Эффект-02 монтировался на транспортное средство, которое перемещалось с нормированной скоростью (около 40 км/ч), после чего затормаживалось и фиксировались показания устройства. [33, 46]

Результаты были сведены в таблицу.

Таблица 4.13 – Результаты измерений замедления автомобиля при различных дорожных условиях

	Замер 1	Замер 2	Замер 3	Замер 4	Замер 5
Асфальтобетон сухой	8,1	7,5	7,3	7,2	7,8
Асфальтобетон мокрый	3,8	3,6	3,5	3,9	4,1
Грунтовое покрытие	6,1	5,9	6,0	5,8	6,2
Снежный накат	1,27	1,2	1,5	1,41	1,36

4.3 Сравнение результатов экспериментальных исследований

Анализ корреляции полученных экспериментальных замеров (экспериментальных предложенным способом, с использованием сертифицированного измерительного устройства Эффект-02), а также нормативных табличных значений показал, что результаты, полученные с применением предложенного способа, находятся в корреляции с результатами ходовых испытаний с использованием сертифицированного измерительного устройства Эффект-02, который наиболее объективен. Исходя из этого, можно сделать вывод об адекватности использования предложенного способа для экспериментальных измерений.

Результаты сравнительного анализа при различных способах получения исходных данных (с помощью установки, прибора Эффект 02, табличных нормативных значений) были сведены в таблицу 4.14.

Таблица 4.14 – Результаты измерений замедления автомобиля при различных дорожных условиях

	Установка	Эффект 02	Табличные значения
Асфальтобетон сухой	8,00	7,58	6,8
Асфальтобетон мокрый	4,64	3,78	4,9
Грунтовое покрытие	6,25	6,00	5,9
Снежный накат	1,33	1,35	2

Откуда построен сравнительный график, представленный на рисунке 4.17.

Рисунок 4.17 – Зависимость замедления от дорожных условий

Анализом экспериментальных данных, полученных предложенным способом, установлена взаимосвязь между углом поворота колес и коэффициентом сцепления. Для определения функциональной зависимости этой взаимосвязи будем использовать регрессионный анализ экспериментальных данных, представленных в предыдущем разделе.

Как видно из графиков рисунков 4.8-4.11 наблюдается полиномиальный характер зависимости между данными параметрами. В данном случае графики в основном имеют параболический вид, поэтому уравнение полиномиальной регрессии представляется в виде полинома второй степени. [31, 80]

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \tag{4.1}$$

Используя метод наименьших квадратов возможно установить необходимые коэффициенты, решая нормальную систему линейных уравнений с матрицей

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & \overline{x} & \overline{x^2} & \overline{y} \\ \overline{x} & \overline{x^2} & \overline{x^3} & \overline{yx} \\ \overline{x^2} & \overline{x^3} & \overline{x^4} & \overline{yx^3} \end{array}\right) \tag{4.2}$$

Значения с параметром x это значения независимой переменной, в данном случае угла поворота колес в радианах, которые принимает значения 0, 0,17, …, 1,57, а величина Y принимает значения зависимой переменной, в данном случае коэффициента сцепления при экспериментальных замерах – 0,7, 0,75, …, 0,96. Правая сторона матрицы вычисляются как средние значения произведений:

$$\overline{x^k} = \frac{\sum x^k}{n} \quad \text{или} \quad \overline{yx^2} = \frac{\sum y_i \cdot x_i^2}{n} \tag{4.3}$$

В результате решения системы уравнений, находим коэффициенты регрессии.

Для наших данных при сухом асфальтобетонном покрытии коэффициент составит 0,92, т.е. наблюдается почти полное совпадение. Результаты корреляционного построения представлены на рисунке 4.18.

Параболическая линия тренда, описывающая регрессионное уравнение показана на рисунке 4.19.

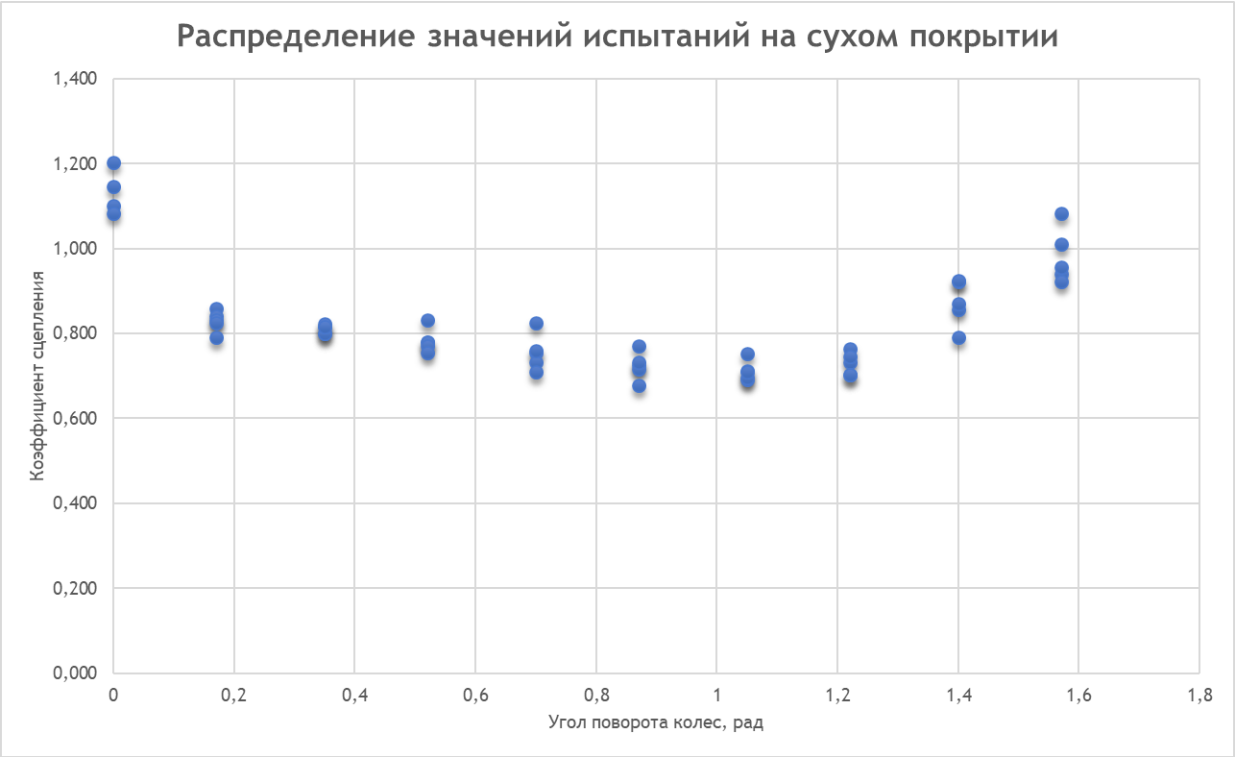


Рисунок 4.18 – Распределение значений испытаний на сухом покрытии

Рисунок 4.19 – Регрессионный анализ значений на сухом покрытии

При этом уравнение регрессии для сухого асфальтобетонного покрытия примет вид: $\varphi = 0{,}8728 - 0{,}5181 \cdot \lambda + 0{,}4210 \cdot \lambda^2$, где λ – угол поворота колеса относительно вектора скольжения, рад.

Высокий показатель коэффициента корреляции указывает на адекватность предложенной модели, что позволяет использовать ее для получения исходных данных при расчете неконтролируемого движения автомобиля на сухом асфальтобетонном покрытии.

Для мокрого асфальтобетонного покрытия с учетом наших данных коэффициент составит 0,82, что хуже предыдущего корреляционного массива, но в целом показывает высокую корреляционную составляющую модели. Результаты корреляционного построения представлены на рисунке 4.20.

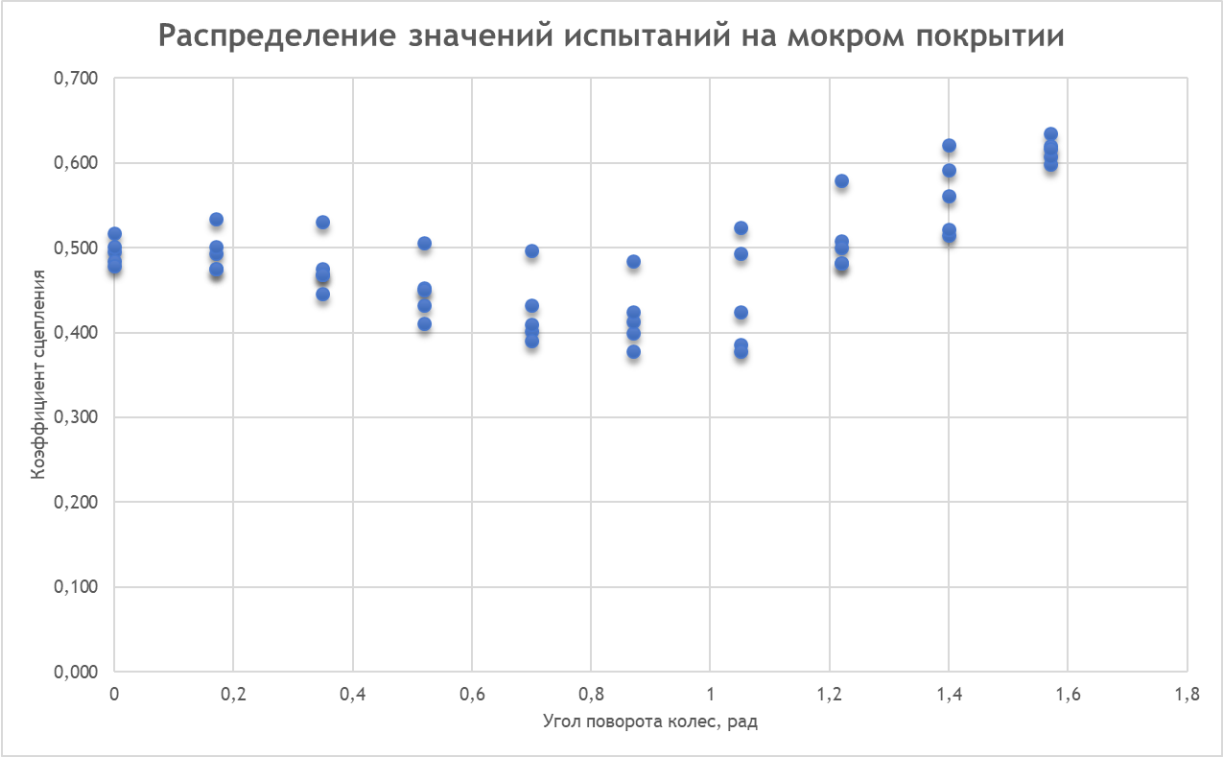


Рисунок 4.20 – Распределение значений испытаний на мокром покрытии

При этом уравнение регрессии (Рисунок 4.21) для мокрого асфальтобетонного покрытия примет вид: $\varphi = 0,5225 - 0,2810 \cdot \lambda + 0,2159 \cdot \lambda^2$, где λ – угол поворота колеса относительно вектора скольжения, рад.

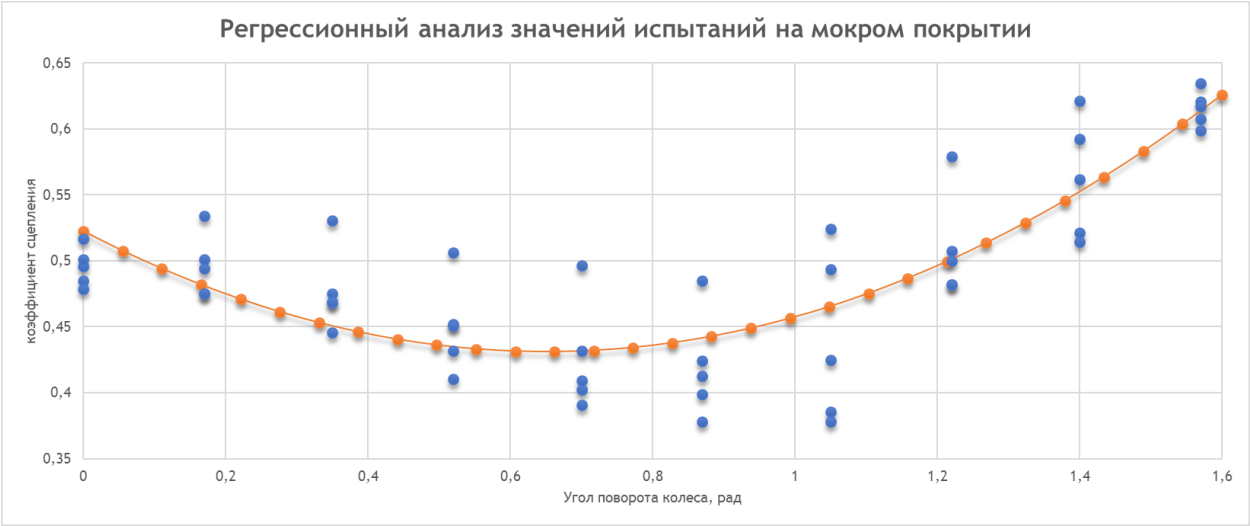


Рисунок 4.21 – Регрессионный анализ значений на мокром покрытии.

Высокий показатель коэффициента корреляции указывает на адекватность предложенной модели, что позволяет использовать ее для получения исходных данных при расчете неконтролируемого движения автомобиля на мокром асфальтобетонном покрытии.

Для грунтового покрытия с учетом наших данных коэффициент составит 0,92, т.е. наблюдается почти полное совпадение. Результаты корреляционного построения представлены на рисунке 4.22.

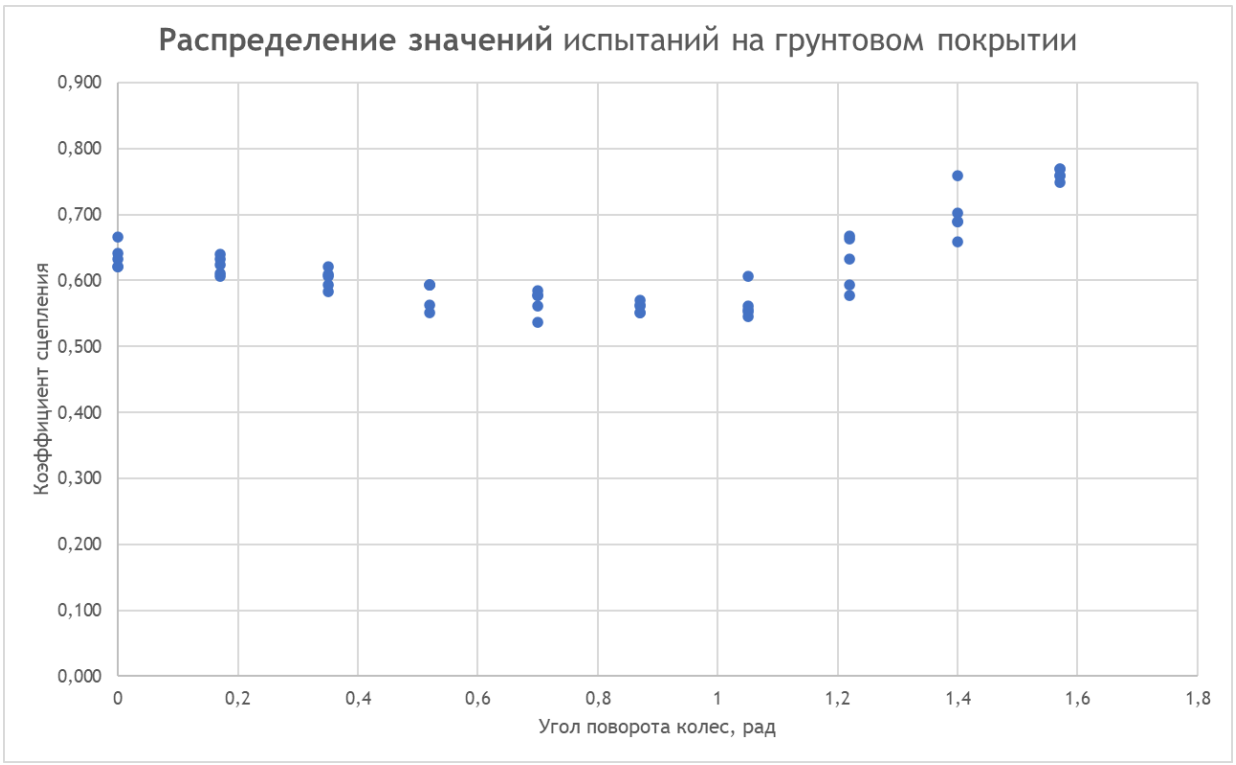


Рисунок 4.22 – Распределение значений испытаний на мокром покрытии

При этом уравнение регрессии (Рисунок 4.23) для грунтового покрытия примет вид: $\varphi = 0,6594 - 0,3040 \cdot \lambda + 0,2319 \cdot \lambda^2$, где λ – угол поворота колеса относительно вектора скольжения, рад.

Рисунок 4.23 – Регрессионный анализ значений на грунтовом покрытии.

Высокий показатель коэффициента корреляции указывает на адекватность предложенной модели, что позволяет использовать ее для получения исходных данных при расчете неконтролируемого движения автомобиля на грунтовом покрытии.

Для снежного наката с учетом наших данных коэффициент составит 0,89, что хуже предыдущего корреляционного массива, но в целом показывает высокую корреляционную составляющую модели. Результаты корреляционного построения представлены на рисунке 4.24.

Параболическая линия тренда, описывающая регрессионное уравнение показана на рисунке 4.25.

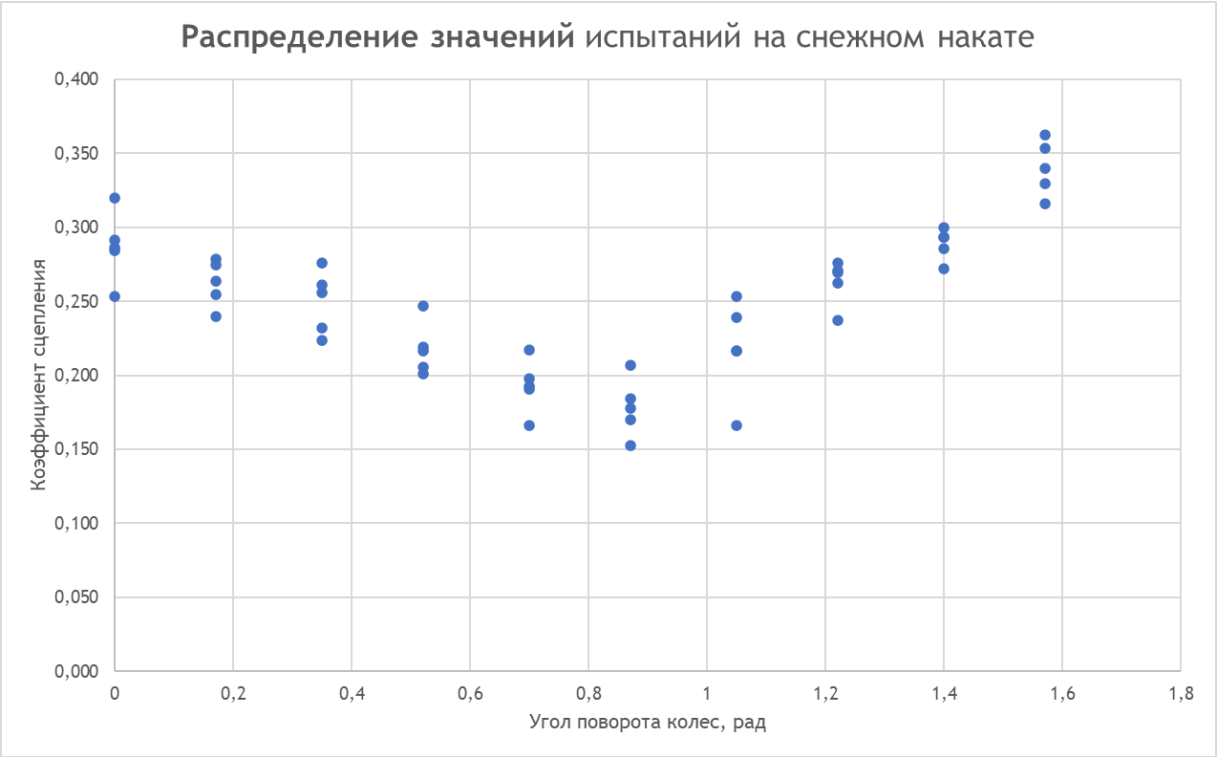


Рисунок 4.24 – Распределение значений испытаний на снежном накате

Рисунок 4.25 – Регрессионный анализ значений на снежном накате.

При этом уравнение регрессии для снежного наката примет вид: $\varphi = 0,3008 - 0,2794 \cdot \lambda + 0,1939 \cdot \lambda^2$, где λ – угол поворота колеса относительно вектора скольжения, рад.

Как показывает анализ результатов экспериментальных исследований, предложенная модель адекватна для получения исходных данных для расчета

неконтролируемого движения транспортных средств на снежном накате. Полученные результаты замеров предложенной установки коррелируют с незначительными отклонениями с замерами, проведенными при использовании сертифицированного измерительного устройства.

Аналогичный анализ результатов был проведен в отношении испытаний нештатного перемещения на диске колеса либо иной металлической поверхности. Для данного случая коэффициент корреляции составит 0,98, т.е. наблюдается почти полное совпадение. Результаты корреляционного построения представлены на рисунке 4.26.

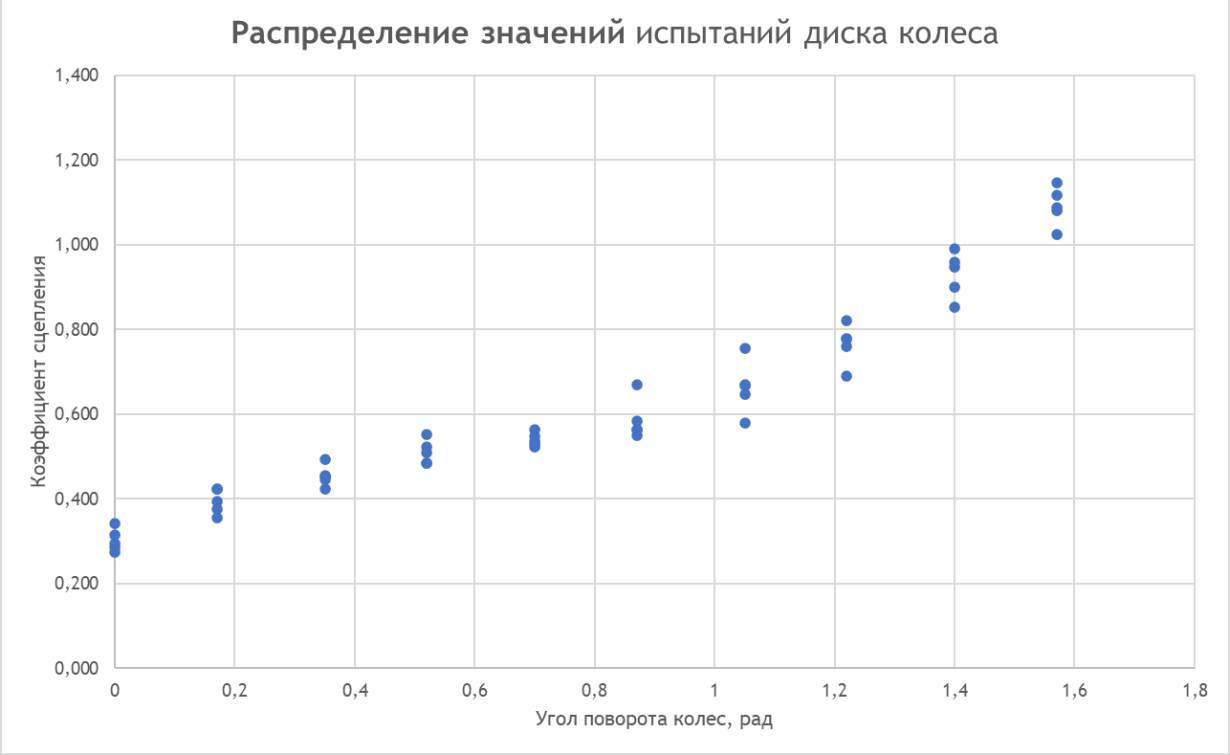


Рисунок 4.26 – Распределение значений испытаний на диске колеса

При этом уравнение регрессии (Рисунок 4.27) для мокрого асфальтобетонного покрытия примет вид: $\varphi = 0{,}3527 - 0{,}1029 \cdot \lambda + 0{,}2196 \cdot \lambda^2$, где λ – угол поворота колеса относительно вектора скольжения, рад.

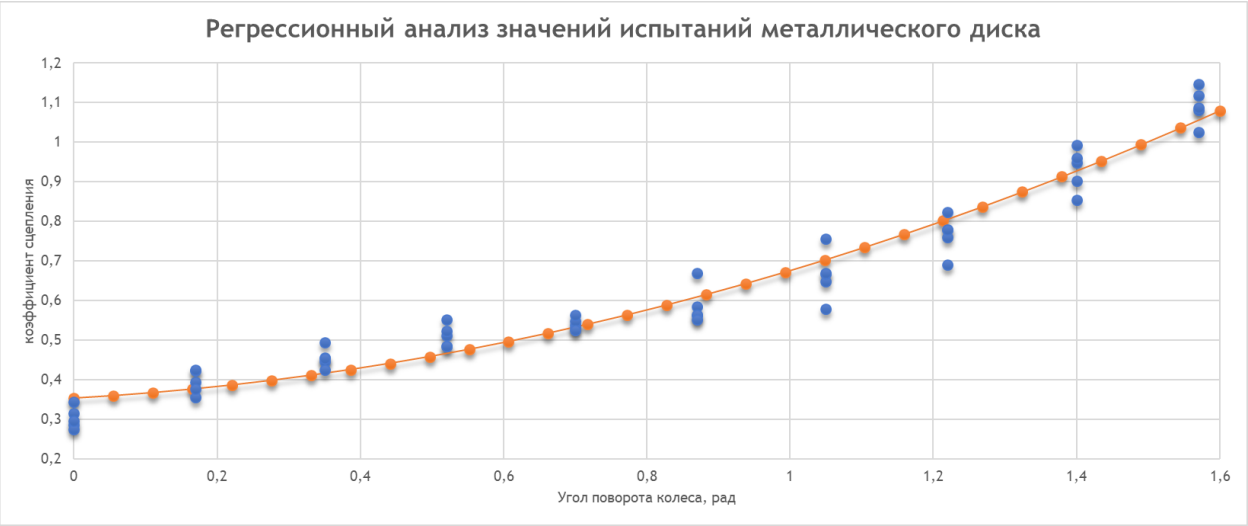


Рисунок 4.27 – Регрессионный анализ значений при испытаниях диска колеса.

Как показывает анализ результатов экспериментальных исследований, предложенная модель адекватна для получения исходных данных для расчета неконтролируемого движения транспортных средств при нештатной ситуации или разрушенной в результате контакта подвеской. При этом испытания диска колеса можно также расширить на другие типы поверхностей (см. рисунок 4.13).

Также по результатам испытаний были составлены поверхностные диаграммы зависимости коэффициента сцепления от динамических сил перемещения и угла поворота колес при неконтролируемом перемещении, что может облегчить выбор исходных данных для динамического дисперсного расчета в условиях меняющегося угла положения колес относительно вектора перемещения транспортного средства. Каждая из поверхностей соответственно (сухой асфальтобетон, мокрый асфальтобетон, грунтовое покрытие, снежный накат, волочение металла) представлены на рисунках 4.28-4.32.

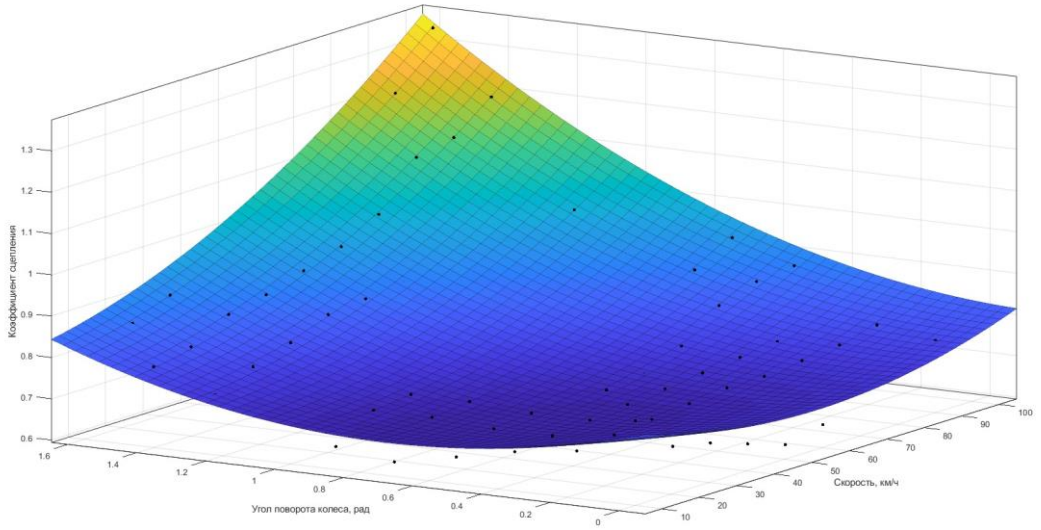


Рисунок 4.28 – График зависимости коэффициента сцепления от скорости перемещения и угла положения колес относительно вектора перемещения на сухом асфальтобетонном покрытии.

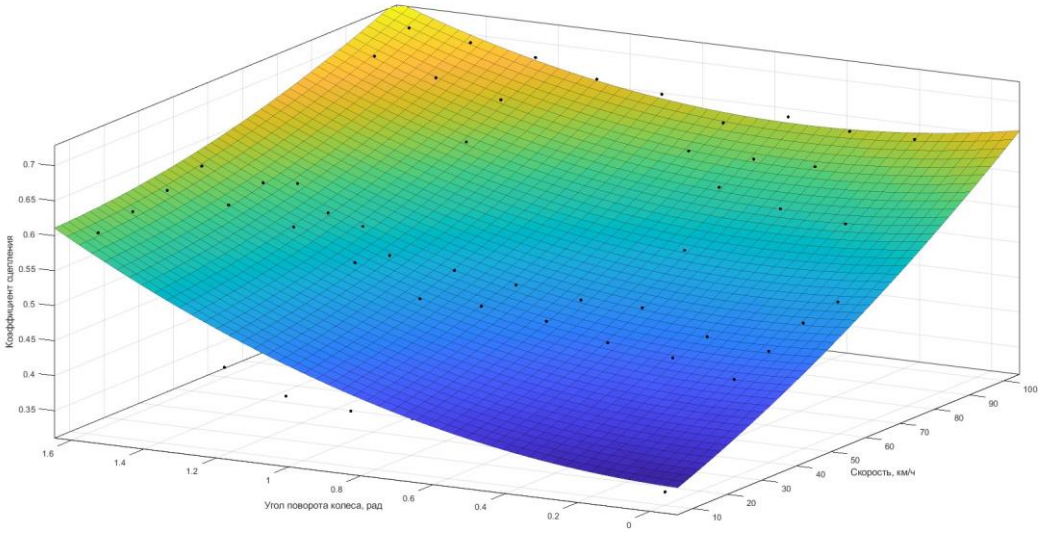


Рисунок 4.29 – График зависимости коэффициента сцепления от скорости перемещения и угла положения колес относительно вектора перемещения на мокром асфальтобетонном покрытии.

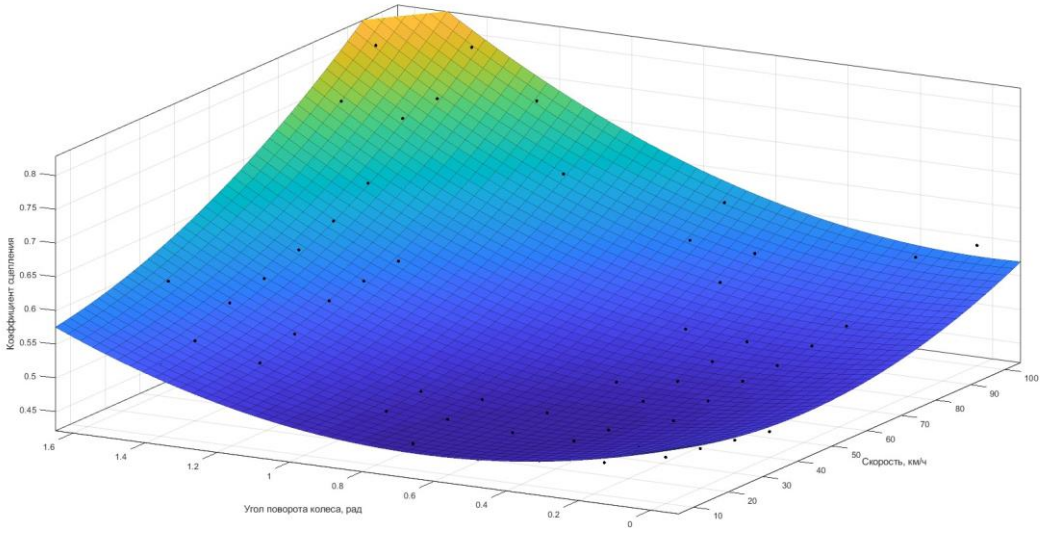


Рисунок 4.30 – График зависимости коэффициента сцепления от скорости перемещения и угла положения колес относительно вектора перемещения на грунтовом покрытии.

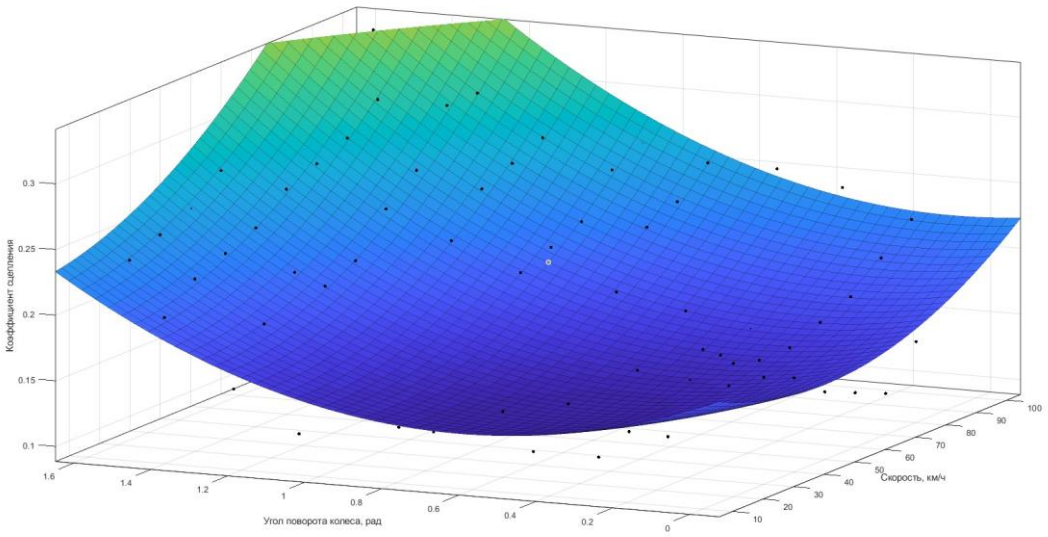


Рисунок 4.31 – График зависимости коэффициента сцепления от скорости перемещения и угла положения колес относительно вектора перемещения на снежном накате.

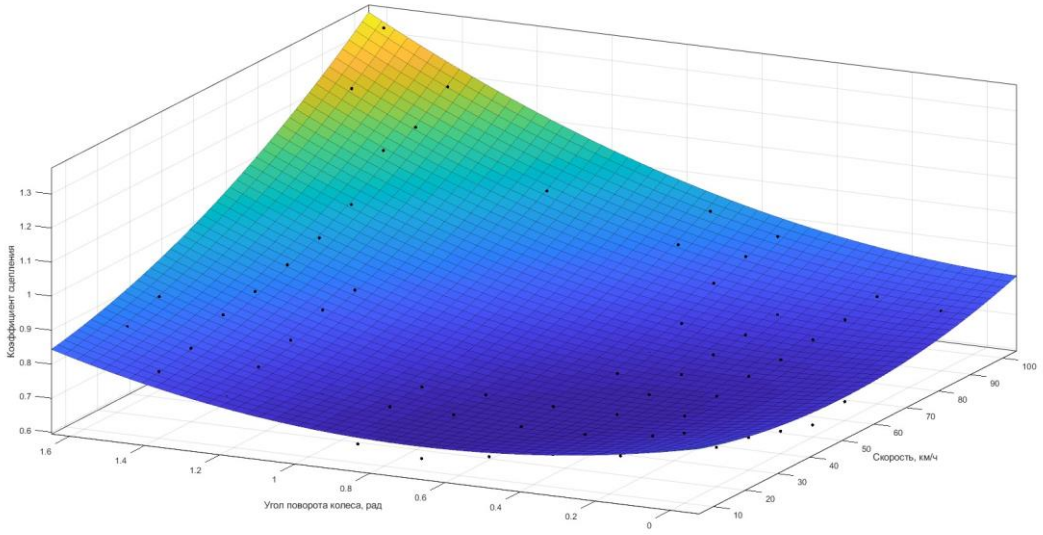


Рисунок 4.32 – График зависимости коэффициента сцепления от скорости перемещения и угла положения колес относительно вектора перемещения при скольжении без шины.

При этом корреляционное уравнение зависимости коэффициента сцепления от параметров силы инерции и угла поворота колес относительно вектора инерции на сухом асфальтобетонном покрытии будет иметь вид:

$$\varphi = 0,7845 - 0,003157 \cdot x - 0,2386 \cdot y + 3,326 \cdot e^{-5} \cdot x^2 + \cdots \\ \cdots + 0,002819 \cdot x \cdot y + 0,163 \cdot y^2 \quad (4.4)$$

на мокром покрытии:

$$\varphi = 0,3408 + 0,001848 \cdot x + 0,02727 \cdot y + 1,084 \cdot e^{-5} \cdot x^2 - \cdots \\ \cdots - 0,001093 \cdot x \cdot y + 0,08269 \cdot y^2 \quad (4.5)$$

на грунтовом покрытии:

$$\varphi = 0,5163 - 0,001747 \cdot x - 0,1584 \cdot y + 2,199 \cdot e^{-5} \cdot x^2 + \cdots \\ \cdots + 0,001451 \cdot x \cdot y + 0,1169 \cdot y^2 \quad (4.6)$$

на снежном накате:

$$\varphi = 0,1736 - 0,001227 \cdot x - 0,1114 \cdot y + 1,611 \cdot e^{-5} \cdot x^2 + \cdots \\ \cdots + 0,0009022 \cdot x \cdot y + 0,08875 \cdot y^2 \quad (4.7)$$

при скольжении без шины:

$$\varphi = 0,7845 - 0,003157 \cdot x - 0,2386 \cdot y + 3,326 \cdot e^{-5} \cdot x^2 + \cdots$$
$$\cdots + 0,002819 \cdot x \cdot y + 0,163 \cdot y^2 \quad (4.8)$$

Как наблюдается из графиков и зависимостей основным параметром, влияющим на коэффициент сцепления является угол поворота колеса, а иные параметры (скорость движения колеса) позволяет скорректировать динамику перемещения исходя из особенностей состояния опорной поверхности.

4.4 Пример расчета неконтролируемого движения транспортного средства на примере реального происшествия

Для проверки адекватности предложенной во второй главе модели рассмотрим пример дорожно-транспортного происшествия. Данное происшествие произошло в городе Курске на Магистральном проезде. Автопоезд, состоящий из автомобиля Freightliner GL120 Columbia и соединенного с ним полуприцепа Schwarzmuller KIS 3/E, находился в статичном положении на проезжей части указанной автодороги. По правой полосе данной автодороги перемещался автобус ГАЗ 322133, перевозивший пятерых пассажиров. Несколько позади от него по левой полосе в том же направлении перемещался автомобиль Mercedes Benz 280 GE. В определенный момент времени, вероятно не просчитав скорость сближения со стоящим автопоездом, водитель автобуса, пытаясь перестроиться на левую полосу движения, совершил наезд на левую угловую часть полуприцепа автопоезда. В результате этого, автобус получил вращающий момент относительно точки контакта и сместился задней частью на левую полосу, где произошел вторичный контакт с автомобилем Mercedes Benz 280 GE. Пассажиры автобуса в результате данного ДТП получили телесные повреждения, не совместимые с жизнью, вследствие чего скончались. Водитель автобуса получил тяжкие телесные повреждения и был доставлен в медицинское учреждение (Рисунок 4.33-4.34). [110-111]

Повреждения, полученные транспортными средствами при происшествии, свидетельствуют о том, что первоначально автобуса ГАЗ 322133 контактировал своей правой частью передней стороны кузова с левой частью задней стороны полуприцепа Schwarzmьller KIS 3/E. При этом контактная зона перекрытия не превышала 0,2 метра.

Рисунок 4.33 – Фотоснимки с места ДТП

Рисунок 4.34 – Фотоснимки с места ДТП

В результате данного контакта образовался момент вращения относительно точки блокировки (зоны контакта) автобуса ГАЗ 322133. Под действием этого момента автобус развернулся задней частью на угол около 12˚ (0,21 рад), что привело к второму контакта с автомобилем Mercedes Benz 280 GE. При этом последний вступал в контакт своей передней частью кузова, а первый – передней. В ходе осмотра автобуса было установлено, что показания спидометра на панели приборов автобуса ГАЗ 322133 зафиксировано на позиции 80 км/ч (рисунок 4.35), что указывает на то, что данное значение скорости было в момент контакта с полуприцепом.

Рисунок 4.35 – Вид показаний спидометра автобуса ГАЗ 322133

С целью определения технической возможности для водителя автомобиля Mercedes Benz 280 GE предотвратить данное дорожно-транспортное происшествие необходимо знать время с момента возникновения опасности (начало вращения автобуса) до момента контакта. Данный вопрос сопряжен с исследованием механизма отброса автобуса в состоянии неконтролируемого перемещения, поскольку водитель повлиять на перемещение своего ТС на данном этапе не мог. Исходя из этой задачи возможно применение предложенной модели расчета.

В таблице 4.15 указаны исходные данные для расчета неконтролируемого перемещения автобуса ГАЗ 322133 исходя из материалов дела и справочной литературы.

Таблица 4.15 – Исходные данные для экспертного исследования неконтролируемого перемещения

V_1	V_2	f	ε	α	β
80 км/ч	0 км/ч	0,7	0,3	5˚	0˚
$2a_1$	$2b_1$	$2a_2$	$2b_2$	m_1	m_2
1,7 м	5,54 м	2,55	13,845	3,5 т	39 т

На рисунке 4.36 показан силовой баланс, который действует на транспортные средства в момент их взаимодействия.

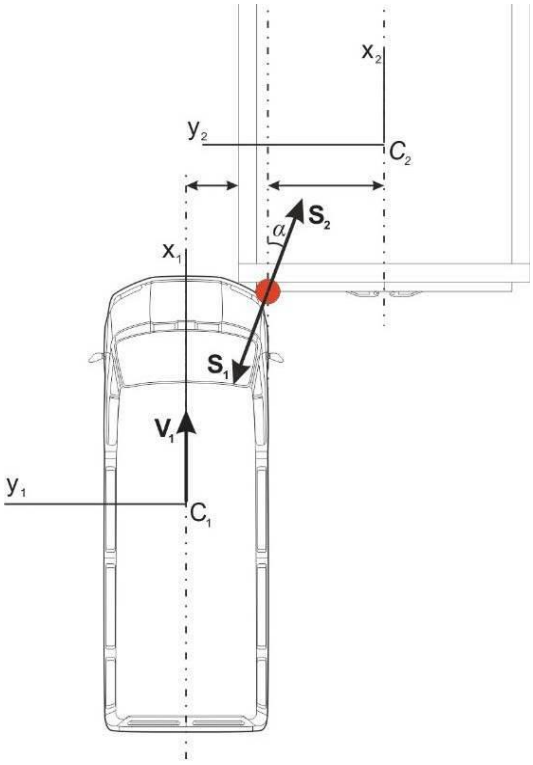


Рисунок 4.36 – Схема силового баланса контакта транспортных средств

Используя уравнения расчета из второй главы, а также экспериментальные данные, полученные в четвертой главе, проводим ряд расчетов с целью получения исходных параметров для дальнейшего исследования механики отброса автобуса. Полученные значения указаны в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Параметры соударения транспортных средств

J_1	J_2	G	S	V_{1x}	V_{1y}
9794,63 кг·м^2	644106,21 кг·м^2	$0{,}6\cdot10^{-3}$	$47{,}9\cdot10^{-3}$ Н·с	8,6 м/с	1,19 м/с
V_{2x}	V_{2y}	h_1	h_2	Ω_{1z}	Ω_{2z}
1,22 м/с	0,12 м/с	0,89 м	1,6 м	4,35 рад/с	0,12 рад/с

Теперь получим уравнения движения для нашего примера.

$$\begin{cases} m\cdot\dfrac{dx_{1c}}{dt^2}=\sum F_{kx}^{e} \\ m\cdot\dfrac{dy_{1c}}{dt^2}=\sum F_{ky}^{e} \\ J_c\cdot\dfrac{d\phi}{dt^2}=2M_c\cdot\mathbf{F}_k^{e} \end{cases} \tag{4.9}$$

Подставив все известные величины имеем следующий результат

$$\begin{cases} x_1=-\dfrac{-5{,}8\cdot t^2}{2}+V_{1x}\cdot t \\ y_1=-\dfrac{-0{,}4\cdot t^2}{2}+V_{1y}\cdot t \\ \varphi_1=-\dfrac{5{,}8\cdot t^2}{2}+\Omega_{1z}\cdot t \end{cases} \tag{4.10}$$

С тем условием, что угол разворота автобуса ГАЗ 322133 имел значение около 12˚ (0,21 рад), то проведя нехитрые преобразования полученной системы уравнений можем определить, что время с момента возникновения опасности для водителя автомобиля Mercedes Benz 280 GE и до момента столкновения с автобусом составило 0,68 секунды.

Для проверки полученного результата воспользуемся графоаналитическим методом. Для этого построим плечо разворота автобуса и определим его графическим вычислением (Рисунок 4.37). Данное плечо будет равно h_1 = 3,4 метра.

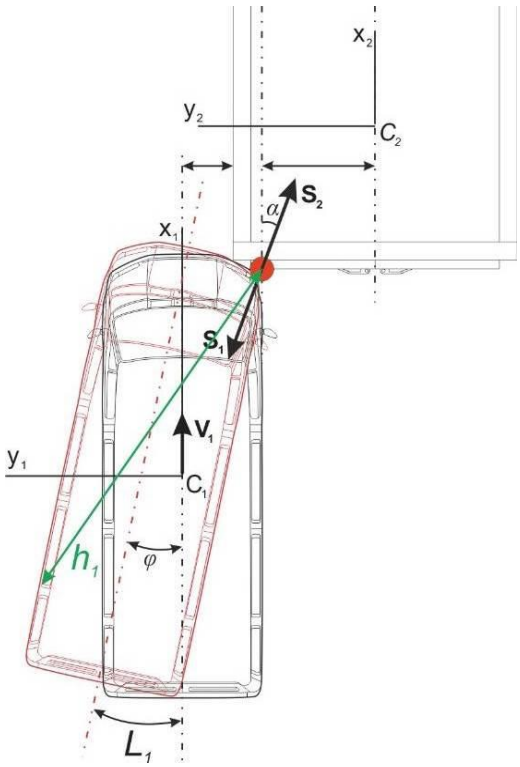


Рисунок 4.37 – Схема силового баланса контакта транспортных средств с указанием плеча разворота.

При этом дифференцированная зависимость дугового сегмента перемещения зависит от угла разворота:

$$dL_1 = h_1 \cdot d\varphi \qquad \text{откуда} \qquad L_1 = h_1 \cdot \varphi \tag{4.11}$$

Совершив простой расчет получим, что расстояние L_1 составляет величину 0,7 метра, что и подтверждается визуально-графическим контролем по фотоснимкам (см. рисунок 4.33) и подтверждает проведенный ранее расчет по предложенному способу.

Расчет на примере дорожно-транспортного происшествия подтвердил адекватность предложенной модели, что позволит комплексно подходить к решению задач, связанных с исследованием неконтролируемого перемещения транспортных средств в результате их столкновения.

4.5 Выводы по главе

1. Были получены зависимости значений коэффициента сцепления от угла поворота колеса относительно вектора скольжения. Регрессионное уравнение для сухого асфальтобетонного покрытия имеет вид: $\varphi = 0,8728 - 0,5181 \cdot \lambda + 0,4210 \cdot \lambda^2$; для мокрого асфальтобетонного покрытия: $\varphi = 0,5225 - 0,2810 \cdot \lambda + 0,2159 \cdot \lambda^2$; для грунтового покрытия: $\varphi = 0,6594 - 0,3040 \cdot \lambda + 0,2319 \cdot \lambda^2$; для снежного наката: $\varphi = 0,3008 - 0,2794 \cdot \lambda + 0,1939 \cdot \lambda^2$. Также были получены зависимости коэффициента сцепления от силы инерции и угла поворота колес относительно вектора инерции, а также параметры перемещения автомобиля при потере опоры (выхода из строя шины).

2. В результате экспериментальных испытаний установлено, что средние показания предложенной установки ($1,33 \div 8,0$ м/с^2) наиболее близки к средним показаниям сертифицированного измерительного устройства Эффект-02 ($1,35 \div 7,58$ м/с^2). При этом точность получения исходных данных (замедления ТС) относительно табличных значений на сухом асфальтобетонном покрытии составляет 15%, а на снежном накате – до 34%.

3. Проведена графическая оценка полученных результатов эксперимента, в результате которой установлено, что предложенная модель адекватна для получения исходных данных для расчета неконтролируемого движения транспортных средств.

4. Предложенная математическая модель апробирована на практическом примере реального дорожно-транспортного происшествия, в результате чего получены исчерпывающие искомые результаты, которые подтверждаются средствами объективного контроля (фотосъемкой).

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО СПОСОБА.

Дорожно-транспортные происшествия, как элемент транспортных процессов, в социально-экономическом плане представляют из себя значимую и актуальную проблему. Это сопряжено в первую очередь с экономическими и социальными потерями:

1) в результате дорожно-транспортного происшествия происходит блокирование транспортного сообщения, вызванное перекрытием проезжей части участниками ДТП, а также для проведения следственных действий различного характера и продолжительности, что влечет за собой образование заторов;

2) при дорожно-транспортных происшествиях, как показывает статистика, не редки случае смертельных исходов, ранений и возникновению инвалидности людей. [41]

Для уяснения степени вины участников и для определения механизма дорожно-транспортного происшествия необходимы следственные действия. В процессе этих действий проводятся длительные мероприятия, такие как например осмотр места происшествия, дополнительные осмотры места происшествия, следственные эксперименты и т.д. Под цели проведения данных мероприятий обычно вводится ограничение или запрет на движение по участку, на котором они проходят, поскольку следственные действия требуют использования всего пространства места дорожно-транспортного происшествия для исключения посторонних лиц, установки оборудования, а также для сохранения следовой обстановки и обеспечения безопасности участников мероприятия. Как правило, такие следственные действия не проводятся сразу (исключением является первичный осмотр места происшествия), а в ходе расследования дела по мере необходимости. Например, перед назначением дорожно-транспортной экспертизы, для чего необходимо организовать следственный эксперимент с целью получения

исходных данных для расчетов, которые будет проводить эксперт. Поэтому зачастую возникает целесообразность в проведении дополнительного осмотра мета дорожно-транспортного происшествия, что требует повторного ограничения движение автотранспорта по исследуемому участку, что влечет за собой увеличение экономических потерь.

5.1 Оценка экономической эффективности предложенного способа на примере дорожно-транспортного происшествия

Рассмотрим на примере дорожно-транспортного происшествия, описанного в предыдущей главе (рисунки 4.46-4.47), как внедрение предлагаемого способа получения исходных данных влияет на экономические потери народного хозяйства.

Данное дорожно-транспортное происшествие произошло с участием одного статично расположенного грузового автомобиля и двух транспортных средств (автобуса и легкового автомобиля), двигавшихся попутно в соседних полосах. При условии, что встречная полоса для движения отделена от исследуемого участка дороги дорожным ограждением, то данное происшествие вызвало затор на улице с остановкой движения в одном направлении.

В ходе рассмотрения материалов дела возникла потребность в расчете технической возможности для водителя легкового автомобиля предотвратить данное дорожно-транспортное происшествие, для чего необходимо знать какое время затрачивает на разворот после столкновения с грузовым автомобилем автобус. Для этого необходимо исследовать механизм его бокового смещения, что относится к неконтролируемому сложному перемещению, а следовательно необходимо иметь представление о значении коэффициента бокового скольжения (сцепления) на данном участке дороги. Для этого необходимо было организовать дополнительный осмотр места дорожно-транспортного происшествия с замерами необходимых величин.

Для этого движение по участку места ДТП вновь было ограничено. Предложенный способ упрощает задачу, исключая необходимость в повторном осмотре и позволяя провести необходимые замеры оперативно при первичном осмотре места происшествия, что сокращает экономические потери от образования затора в два раза.

Предлагается оценивать предложенный способ с экономической точки зрения по двум позициям:

1) необходимо провести расчет экономического эффекта от исключения вторичного ограничения движения на участке дорожно-транспортного происшествия, который зависит от затрат времени транспортных средств и пребывания пассажиров в пути;

2) Необходимо провести расчет экономических потерь для народного хозяйства, вызванных наличием смертей или ранений людей.

Экономический эффект от снижения затрат времени транспортных средств на преодоление проблемного участка зависит от разности стоимости времени $C_{тр}$, которое теряют транспортные средства на преодоление проблемного участка с предложенным способом и без такового [7, 59]:

$$Э_{тр} = C_{тр.сущ} - C_{тр.пр}. \quad (5.1)$$

Для начала необходимо определить сколько за год будет общая стоимость времени, которые теряют транспортные средства на преодоление проблемного участка. Данная величина рассчитывается по формуле:

$$C_{тр} = T_{тр} \cdot S_{а-ч}, \quad (5.2)$$

где $T_{тр}$ – годовые потери времени транспортных средств в автомобиле–часах при ограничении движения на данном участке;

$S_{а-ч}$ – стоимость одного автомобиле–часа.

Согласно действующим нормативным документам стоимость одного автомобиле–часа определяется как 440 руб [59].

На основе времени, которое теряют транспортные средства на преодоление проблемного участка, определяются затраты, связанные с пребыванием пассажиров в пути:

$$C_{пас} = T_{тр} \cdot S_{ч-ч} \cdot \left(d_a \cdot B_a \cdot \eta_a + d_л \cdot B_л \cdot \eta_л\right), \quad (5.3)$$

где d_a, $d_л$ – доля автобусов и легковых автомобилей в транспортном потоке; B_a, $B_л$ – номинальная вместимость автобусов и легковых автомобилей; η_a, $\eta_л$ – средний коэффициент заполнения автобусов и легковых автомобилей; $S_{ч-ч}$ – средняя величина потерь, приходящаяся на 1 час пребывания пассажиров в пути (принимается равной 59 руб [59]).

Экономические транспортные потери на прохождение проблемного участка приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Потери времени транспортных средств и пассажиров.

Направление	Задержки		Интенсивность	Стоимость потерь от задержек ТС		Экономия	Стоимость потерь от задержек пассажиров		Экономия
	проект кажд день	сущ при ДТП		проект	сущ		проект	сущ	
Транспортный поток, дв–ся в прямом направлении (2725 авт/ч)	94	125	2725	31307	41632	10325	16162	21492	5330
Всего за час				31307	41632	10325	16162	21492	5330
Всего за день				75137	99917	24779	38790	51582	12792
Всего за год				27425127	36469583	9044457	14158222	18827422	4669201

Из таблицы 5.1 следуют следующие выводы:

1) Экономический эффект от исключения необходимости повторного осмотра участка улично-дорожной сети с ограничением движения и увеличением затрат времени нахождения транспортных средств на нем составила 9044,5 тыс. руб;

2) Экономический эффект от исключения необходимости повторного осмотра участка улично-дорожной сети с ограничением движения и увеличением затрат времени нахождения пассажиров в пути на нем составила 4669,2 тыс. руб.

Суммарные экономические потери от ограничения дорожного движения на рассматриваемом участке для проведения следственных действий составят 13713,7 тыс. руб.

Экономические потери от дорожно-транспортного происшествия на рассматриваемом участке за год рассчитывается по формуле: [75, 99, 105]

$$C_{ДТП}^{сущ} = \Sigma(n \cdot П) + \Sigma(a \cdot М) \quad (5.4)$$

где n - количество пострадавших людей по i-ому виду травмы (гибель, ранение); П - потери по одному человеку с i-ой травмой, руб (таблица 5.2); a - количество ДТП; М - материальный ущерб от 1 ДТП, руб (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Стоимостная оценка последствий ДТП.

Вид травмы	Потери, руб	Материальный ущерб от 1 ДТП	Ущерб, руб
Гибель	9345000		69000
Ранение	285000		

В исследуемом дорожно-транспортном происшествии 5 человек погибло и 1 был тяжело ранен. С учетом этих условий экономические потери составят:

$$C_{ДТП}^{сущ} = (5 \cdot 9345000 + 1 \cdot 285000) + (1 \cdot 69000) = 47079{,}0 \text{ тыс. руб.}$$

Как показывают расчеты экономический негативный эффект от конкретного дорожно-транспортного происшествия для социально-экономической сферы государства составит 47079,0 тыс. руб.

5.2 Выводы по главе

1. Предлагаемый способ позволяет исключить необходимость повторного осмотра участка улично-дорожной сети с ограничением движения на нем поскольку необходимые замеры возможно выполнить при первичном осмотре, а следовательно в два раза сокращает экономические потери от образования затора. Суммарные экономические потери от ограничения дорожного движения на рассматриваемом участке для проведения следственных действий составят 13713,7 тыс. руб.

2. Экономический негативный эффект от конкретного дорожно-транспортного происшествия для социально-экономической сферы государства составит 47079,0 тыс. руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ статистики за последние 10 лет, то есть с 2014 – 2023 гг. показал, что в Российской Федерации было зафиксировано 1 591 840 дорожно-транспортных происшествий, при этом погибло 183 804 человек и получили травмы различной степени тяжести 2 015 595 человек. Согласно статистическим данным основным видом ДТП за 2023 г., как и в другие годы, по-прежнему являются столкновения транспортных средств, занимающие 45% от общей доли. Наезды на пешеходов расположены на втором месте с 25,0%, замыкают тройку опрокидывания ТС (11,0%). Как показывает данная выборка столкновения ТС является наиболее распространенным и травмоопасным видом ДТП.

2. Разработана математическая модель определения динамических параметров неконтролируемого перемещения транспортных средств при дорожно-транспортном происшествии на основе взаимосвязи начальной и завершающей фаз такого перемещения, в том числе с возможностью решения прямой и обратной задачи.

3. Разработана установка, которая может быть применена непосредственно на месте ДТП с использованием колес, демонтированных с транспортного средства (участника ДТП) с учетом дорожных условий на момент ДТП с опцией измерения как прямого торможения, так и бокового скольжения с варьированием угла поворота колес в диапазоне от 0 до 90 град.

4. Были получены зависимости значений коэффициента сцепления от угла поворота колеса относительно вектора скольжения. Регрессионное уравнение для сухого асфальтобетонного покрытия имеет вид: $\varphi = 0,8728 - 0,5181 \cdot \lambda + 0,4210 \cdot \lambda^2$; для мокрого асфальтобетонного покрытия: $\varphi = 0,5225 - 0,2810 \cdot \lambda + 0,2159 \cdot \lambda^2$; для грунтового покрытия: $\varphi = 0,6594 - 0,3040 \cdot \lambda + 0,2319 \cdot \lambda^2$; для снежного наката:

$\varphi = 0,3008 - 0,2794 \cdot \lambda + 0,1939 \cdot \lambda^2$. Также были получены зависимости коэффициента сцепления от силы инерции и угла поворота колес относительно вектора инерции, а также параметры перемещения автомобиля при потере опоры (выхода из строя шины).

5. В результате экспериментальных испытаний установлено, что средние показания предложенной установки ($1,33 \div 8,0$ м/с^2) наиболее близки к средним показаниям сертифицированного измерительного средства Эффект-02 ($1,35 \div 7,58$ м/с^2). При этом точность получения исходных данных (замедления ТС) относительно табличных значений на сухом асфальтобетонном покрытии составляет 15%, а на снежном накате – до 34%.

6. Проведена графическая оценка полученных результатов эксперимента, в результате которой установлено, что предложенная модель адекватна для получения исходных данных для расчета неконтролируемого движения транспортных средств. Предложенная математическая модель апробирована на практическом примере реального дорожно-транспортного происшествия, в результате чего получены исчерпывающие искомые результаты, которые подтверждаются средствами объективного контроля (фотосъемкой). Предлагаемый способ позволяет исключить необходимость повторного осмотра участка улично-дорожной сети с ограничением движения на нем поскольку необходимые замеры возможно выполнить при первичном осмотре, а, следовательно, в два раза сокращает экономические потери от образования затора. Суммарные экономические потери от ограничения дорожного движения на рассматриваемом участке для проведения следственных действий составят 13713,7 тыс. руб. Экономический негативный эффект от конкретного дорожно-транспортного происшествия для социально-экономической сферы государства составит 47079,0 тыс. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов, В.Н. Словарь основных терминов судебной автотехнической экспертизы / В.Н. Аверьянов – М.: ВНИИСЭ, 1988. – 66 с.

2. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учеб. для вузов / В.Ф. Бабков - М.: Транспорт, 1993, – 271 с.

3. Байэтт Р. Расследование дорожно-транспортных происшествий / Р. Байэтт, Р. Уоттс / Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 288с.

4. Балакин, В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие / В.Д. Балакин. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. –136 с.

5. Басков, В.Н. Влияние эксплуатационных факторов на психофизиологическое состояние водителя и его энергозатраты / В.Н. Басков, А.Р. Рейн // в сборнике: Информационные технологии и инновации на транспорте материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. под общей редакцией А.Н. Новикова. - 2016. - С. 139-147.

6. Басков, В.Н. Критериальная база обеспечения качества и безопасности транспортных процессов / В.Н. Басков Л.Я. Кожуховская // Научное обозрение. - 2013. - № 12. - С. 387-392.

7. Басков, В.Н. Современные методы по ликвидации мест концентрации ДТП и увеличению пропускной способности дорог / В.Н. Басков, Б.И. Борисов, А.Б. Кокушкин // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2013. - Т. 2. № 2 (71). - С. 337-341.

8. Боровской, Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта / Б.Е. Боровской – Л.: Лениздат, 1984. – 304 с., ил.

9. Блинкин, М.Я. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции: монография / М.Я. Блинкин, Е.М. Решетова - М.: издат. дом высшей школы экономики, 2013. - 157 с.

10. Бугров, Я.С. Дифференциальные уравнения. Кратные интегралы. Ряды. Функции комплексного переменного: учебник / Я.С. Бугров, С.М. Никольский. - Люберцы: Юрайт, - 2016. - 507 с.

11. Вонг, Дж. Теория наземных транспортных средств / Перевод с английского к.т.н. Аксенова А.И. – М.: Машиностроение, 1982. – с. 19-56.

12. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]: Дорожно-транспортные травмы. Информационный бюллетень. Май 2017 г. – Режим доступа: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/ru. – Дата доступа: 28.10.2023.

13. ГОСТ 33078-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием: Введены 14.08.2015. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.

14. ГОСТ 33997-2016. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки: Введены 01.02.2018. – М.: Стандартинформ, 2018. – 67 с.

15. Государственная инспекция безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gibdd.ru/stat

16. Грановский, Г.Л. Транспортно- трасологическая экспертиза по делам о ДТП (диагностические исследования): Методическое пособие для экспертов, следователей, судей. – ч.2/ Г.Л. Грановский, Ю.Г. Корухов, Н.М. Кристи, И.В. Горская. – М. ВНИИСЭ, 1977. – 104 с.

17. Григорян, В.Г. Применение в экспертной практике параметров торможения автотранспортных средств. Методические рекомендации для экспертов / В. Г. Григорян, А. В. Григорян. – М.: РФЦСЭ, М., 2021.

18. Департамент обеспечения безопасности дорожного движения. Дорожно- транспортные происшествия в России (2023 г.). Обобщённые сведения. Москва. 2023.

19. Добромиров, В.Н. Скорость как фактор влияния на безопасность дорожного движения / В.Н. Добромиров, С.С. Евтюков С.С. // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 5. - С. 73.

20. Домке, Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э.Р. Домке. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2012. - 288 с.

21. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2023 года. Оперативный информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ НИЦ БДД МВД России, 2023, 19 с.

22. Евтюков, С.А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. №3. – С. 97.

23. Евтюков, С.А. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев Я.В. – СПб.: ООО Изд-во «ДНК», 2004.–288 с.

24. Евтюков, С.А., Справочник по экспертизе ДТП / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. – ИД «Петрополис», Санкт-Петеребург, 2015. – 512 с.

25. Евтюков, С.А., Судебная автотехническая экспертиза дорожно-транспортных происшествий / С.А. Евтюков, В.А.Пучкин. – ИД «Петрополис», Санкт-Петербург, 2017. – 416 с.

26. Евтюков, С.А. Экспериментальные исследования факторов, влияющих на значение установившегося замедления двухколёсных механических транспортных средств / С. А. Евтюков, И. С. Брылев // Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» 19–20 мая 2015 г. – Орёл: Госуниверситет – УНПК, 2015. – С.131–136.

27. Евтюков, С.С. Методика расчета тормозного пути на сухом асфальтобетонном покрытии при движении на шипованных шинах/ С.С. Евтюков, И.С. Гладушевский // Вестник гражданских инженеров. - 2019. - №2. - С.142-146 (0,5п.л./0,4п.л.).

28. Евтюков, С.С. Оценка свойств замедления автомобиля при использовании зимнего типа шин на укатанном снежном покрытии / И.С. Гладушевский, С.С.Евтюков // Вестник гражданских инженеров. - 2019. - №5. - С. 217- 221 (0,5п.л./0,4п.л.).

29. Евтюков, С.С. Российский опыт совершенствования методик определения скорости движения транспортных средств при экспертизах ДТП

/ С.С. Евтюков, В.Н. Добромиров // Вестник гражданских инженеров. - 2013. - № 5 (40). - С. 160-165.

30. Жуков, А.И. Уточненное определение скорости и удаление повторно заторможенного транспортного средства: Методические письмо для экспертов / А.И. Жуков, В.И. Чернов. – М.: ВНИИСЭ 1989.

31. Ибрагимов, И.М. Высшая математика. Математическое программирование: Учебник / И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров. - СПб: Лань, - 2010. - 352 с.

32. Иванова, Н.Н. Высшая математика / Н.Н. Иванова, С.А. Яковлев. - М.: МГИУ, - 2010. - 188 с.

33. Измеритель эффективности тормозных систем автомобилей. Модификации «Эффект-02.01», «Эффект-02». Руководство к эксплуатации. Методика проверки. – М.: НПФ «Мета», 2011. – 23 с.

34. Иларионов, В.А. Автотехническая экспертиза. / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 240 с.

35. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 255. 64. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.

36. Инфографика ИТАР-ТАСС [Электронный ресурс]: Статистика ДТП в России и мире. Досье. – Режим доступа: http://tass.ru/info/3233185 – Дата доступа: 15.11.2023.

37. Инфографика Транспорт [Электронный ресурс]: Статистика по безопасности дорожного движения в РФ 2014 — 2022. – Режим доступа: http://transspot.ru/2017/02/27/statistika-po-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya-v-rf-2014-2022/– Дата доступа: 16.11.2023.

38. Исследование сопротивления скольжению автомобильных шин по дорожным покрытиям различной шероховатости: Отчет/МАДИ; Руководитель темы Бабков В.Ф. - № ГР 79025961. – М., 1979.

39. Исхаков, М.М. Терминологический словарь автотехнической экспертизы: справочное издание / М.М. Исхаков, В.И. Рассоха. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 40 с.

40. Кабардин, О.Ф. Физика: Справочные материалы: Учебное пособие для учащихся / О.Ф. Кабардин – М.: Просвещение, 1991. – 367 с.: ил.

41. Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения Учеб. для вузов 5-е изд., переработано и дополнено. / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001, – 247 с.

42. Коллинз, Д. Анализ дорожно-транспортных происшествий: пер. с англ./ Д. Коллинз, Д. – М.: Транспорт, 1971. – 128 с.

43. Кремер, Н.Ш. Высшая математика для экономистов: учебник / Н.Ш. Кремер и др. - М.: Юнити, - 2017. - 448 с.

44. Кристи Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы. М.: ЦНИИСЭ, 1971 – 112 с.

45. Кристи Н.М. Решение отдельных типовых задач судебной автотехнической экспертизы: справочное пособие для экспертов-автотехников. М.: ВНИИСЭ, 1988. – 72.

46. Кручинин, П. А. Математической модель автомобильного колеса на антиблокировочных режимах движения. / П.А. Кручинин, М.Х. Магомедов, И.В. Новожилов. – Изв. РАН. МТТ. – 2001. № 6. – С. 63 - 69.

47. Кудряшов, Д.А. Теория и практика комплексной судебной экспертизы: диссертация канд. юрид. наук.: 12.00.12. – М, 2018. – 264с.

48. Куракина, Е.В. Влияние параметров дороги на определение скорости движения при экспертном исследовании ДТП. / Е.В. Куракина, С.С. Евтюков // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. – №1 (42). – 2014. – С.103-109.

49. Лазарев Д.А. Повышение эффективности проведения автотехнической экспертизы на основе теоретического подхода при изучении процесса торможения / Баранов Ю.Н.// Мир транспорта и технологических машин. – 2017. №4 (55). – С. 82-90.

50. Лазарев, Д.А. Расчет коэффициента трения заблокированного автомобильного колеса / А.И. Шутов, Кущенко С.В. // Автомобильная промышленность. - 2010. № 6. - С. 17-19.

51. Лазарев, Д.А. Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием / Д.А. Лазарев, И.А. Новиков // в сборнике: Информационные технологии и инновации на транспорте материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией А.Н. Новикова. - 2016. - С. 124-129.

52. Лукьянов, В.В. Безопасность дорожного движения / В.В. Лукьянов. - М.: Транспорт, 2003. – 260 с.

53. Макагонов, А.Е. Анализ основных методов определения скорости движения автомобиля при проведении автотехнической экспертизы / А.Е. Макагонов, А.Г. Шевцова, И.А. Новиков // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. - 2017. - Т. 4. № 1 (7). - С. 275-279.

54. Махонин, В.Л. Исследование потери курсовой и вертикальной устойчивости транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы / А.Н. Новиков, И.А. Новиков, Д.А. Лазарев, В.Л. Махонин. – Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3-1 (78). С. 41-49.

55. Махонин, В.Л. Исследование процесса перемещения автомобиля при потери вертикальной устойчивости на примере дорожно-транспортного происшествия в рамках проведения дорожно-транспортной экспертизы / С.В. Еремин, В.Л. Махонин. – Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 1-2 (84). С. 51-57.

56. Махонин, В.Л. Исследование сложного перемещения транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы / А.Н. Новиков,

И.А. Новиков, Д.А. Лазарев, В.Л. Махонин. – Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3-3 (78). С. 53-59.

57. Махонин, В.Л. Патент № 210446 Российская Федерация, СПК G 01 M 17/00 (2022.02). Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием [Текст] / Махонин В.Л., Новиков А.Н., Новиков И.А., Лазарев Д.А., Загородний Н.А., Шевцова А.Г., Кущенко Л.Е.; Заявитель и патентообладатель Махонин В.Л. - № 2021139420; заявл. 28.12.2021; опубл. 15.04.2022, Бюл. № 11.

58. Махонин, В.Л. Патент № 217339 Российская Федерация, СПК G 01 N 19/02 (2023.02). Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием [Текст] / Махонин В.Л., Дорохин С.В., Лазарев Д.А., Загородний Н.А., Корнеев А.С., Семыкина А.С.; Заявитель и патентообладатель Махонин В.Л. - № 2022134921; заявл. 28.12.2022; опубл. 28.03.2023, Бюл. № 10.

59. Методологические особенности оценки экономических потерь от дорожно-транспортных происшествий / М.Г. Полозков, С.А. Аблалиев, Д.К. Саканов, Д.А. Аспанбетов // Экономика и современный менеджмент: теория и практика. – 2016, №7–8. – С.61–93.

60. Миронова, Ю. А. Исследование процессов торможения автомобилей зарубежного и отечественного производства: Методические рекомендации / Ю.А. Миронова, Е.А. Китайгородский – М.: ЭКЦ МВД России, 2005. – 176 с.

61. Независимая газета [Электронный ресурс]: Россия опережает всю Европу по числу ДТП – Режим доступа: http://www.ng.ru/world/7_roads. html. - Дата доступа: 28.05.2023.

62. Новиков, А.Н. Концепция имитационного моделирования, оптимизации и проектирования транспортной инфраструктуры в условиях стохастической и лингвистической неопределенности / А.Н. Новиков, С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. - 2019. - № 2 (65). - С. 42-50.

63. Новиков, И.А. Комплексная оценка и анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на примере регионов Черноземья / А.С. Бобешко, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4. – С. 62–68.

64. Новиков, И.А. Современные подходы в исследовании обстоятельств дорожно-транспортных происшествий: монография / А.В. Сараев, Е.А. Новописный, И.А. Новиков, С.В. Дорохин. – Воронеж: Изд-во ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2016. –105 с.

65. Новиков, И.А. Повышение эффективности проведения дорожно-транспортной экспертизы на основе теоретического подхода при изучении процесса торможения / Д.А. Лазарев, И.А. Новиков // Альтернативные транспортные технологии – Воронеж: ВГЛТУ, 2018. – Т. 5. – № 1 (8). – С. 286-292.

66. Новиков, И.А. Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием: пат. № 158239 РФ / Д.А. Лазарев, И.А. Новиков, А.Е. Боровской, В.П. Логвинов; заявл. 01.04.2015; опубл. 27.12.2015, Бюл. № 36.

67. Новиков, И.А. Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием: пат. № 159197 РФ / Д.А. Лазарев, И.А. Новиков, А.Е. Боровской, В.П. Логвинов; заявл. 08.09.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.

68. Новопольский, В.И., Третьяков О.Б. Оборудование и приборы для исследования работы протектора автомобильных шин в контакте с плоской опорной поверхностью / В.И. Новопольский, О.Б. Третьяков. – М.: Каучук и резина, 1967, № 5.

69. Ожегов, С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. 4-е изд., доп. М., 1997. – 760с.

70. Озорнин, С.П. Влияние состояния покрытия «мерзлый асфальт» на риск возникновения дорожно-транспортных происшествий. / С.П. Озорнин,

В.Г. Масленников, И.Е. Бердников//Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 1 (52). – С. 95 -105.

71. О мерах по реализации Постановления Правительства Российской Федерации от 29 июня 1995 г. N 647: приказ МВД РФ от 18.06.1996 N 328 (вместе с «Инструкцией по учету дорожно-транспортных происшествий в органах внутренних дел»). https://base.garant.ru.

72. О судебной экспертизе по уголовным делам: постановление Пленума Верховного Суда РФ от 21.12.2010. http://www.consultant.ru.

73. Орлов, Ю.К. Заключение эксперта и его оценка (по уголовным делам): учебное пособие / Ю.К. Орлов. – М.: Юрист, 1995. – 64 с.

74. Подопригора, Н.В. Методика определения параметров процесса торможе- ния автотранспортных средств при реконструкции и экспертизе дорожно- транспортных происшествий: диссертация ... кан.тех. наук: 05.22.10. - СПб, 2013. - 145 с.

75. Правила дорожного движения Российской Федерации: утв. постановление Правительства Российской Федерации от 23.10.1993 №1090 (в редакции постановления правительства Российской Федерации от 26.03.2020).

76. Пугачев, И.Н. Организация и безопасность движения. / И.Н. Пугачев. – Хабаровск.: Изд-во Хабаровского гос. университета, 2004. – 232 с.

77. Пучкин, В.А. Судебная автотехническая экспертиза. Анализ ДТП: научно-практическое пособие. / В.А. Пучкин. – Ростов н/Д: Профпресс, 2015. – 360 с.

78. Раус, Э. Динамика системы твердых тел. Пер. с англ. В 2-х томах. Т. 1 /Под ред. Ю.А. Архангельского и В.Г. Демина. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 467 с.

79. Россинская, Е.Р. Судебная экспертиза в уголовном, гражданском, арбитражном процессах / Е.Р. Россинская. – М., 1996. – 224 с.

80. Руне, Э. Справочник по безопасности дорожного движения / Э. Руне, Анне Боргер Мюсен, Трулс Ваа. Пер. с норв. У. Агоповой; под ред. проф. В.В. Сильянова. – М.: МАДИ, 2001. – 746 с.

81. Рябчинский, А.И. Динамика автомобиля и безопасность дорожного движения: учебное пособие / А.И. Рябчинский, А.А. Токарев, В.З. Русаков – М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2002. – 131 с.

82. Сараев, А.В. Общие вопросы экспертизы дорожно-транспортных происшествий: монография / А.В. Сараев, Е.А. Новописный, С.В. Дорохин, И.А. Новиков. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. - 102 с.

83. Селиванов, Н.А. Расследование дорожно-транспортных происшествий: справ.-метод. пособие/ Н.А. Селиванов, А.И. Дворкин, Б.Д. Завидов и др. – М.: Лига Разум, 1998. – 448 с.

84. Сильянов, В.В. Федеральные целевые программы повышения безопасности дорожного движения / В.В. Сильянов // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2007. - № 4 (43). - С. 2-8.

85. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП: Учеб. пособие для вузов / Ю.Б. Суворов. – М.: Экзамен, 2004. – 208 с.

86. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Техникоюридический анализ причин и причинно-действующих факторов: учебное пособие / Ю.Б. Суворов. – М.: Изд-во «Приор», 1998. – 112 с.

87. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов. 15-е изд., стер./ С.М. Тарг. –М.: Высш.шк., 2007. – 415 с.

88. Типовые экспертные методики исследования вещественных доказательств: Ч. 1/ Под ред. канд. техн. наук Ю.М. Дильдина. Общая редакция канд. техн. наук В.В. Мартынова. – М.: ИНТЕРКРИМ-ПРЕСС, 2010. – 568 с.

89. Управление государственной инспекции по безопасности дорожного движения УМВД России по Белгородской области. Дорожно-транспортные происшествия в России (2022 г.). Обобщённые сведения. Белгород. 2023.

90. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 - 2012 годах» (утв. постановлением Правительства РФ от 20 февраля 2006 г. N 100). М.: 2006.

91. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах» (утв. постановлением Правительства РФ от 3 октября 2013 г. N 864). М.: 2013.

92. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/

93. Федоров, В.А. Расследование дорожно-транспортных происшествий. / В.А. Федоров, Б.Я. Гаврилов. – Москва: Экзамен, 2003. – 464 с.

94. Христофоров, Е.Н., Исследование систем повышения тормозной динамичности автотранспортных средств /Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е., Баранов Ю.Н., Гринь А.М., Бодров А.С.//Мир транспорта и технологических машин. 2016. № 3 (54). С. 98-107.

95. Чава, И.И. Судебная автотехническая экспертиза: учеб.-метод. пособие для экспертов, следователей, дознавателей и адвокатов. / И.И. Чава. – Москва: НП «Судекс». – 2014. – 312 с.

96. Чванов, В.В. Методы оценки безопасности дорожного движения, основанные на анализе режимов движения автомобилей / «Дороги и мосты», Сборник ст. / ФГУП РОСДОРНИИ. – М.. 2011, Вып. 26/2. – 243-260 с.

97. Чичинадзе, А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-е изд./ А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с., ил.

98. Чичнадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). / А.В. Чичнадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др. – М.: Машиностроение, 2003.

99. Чубуков, А.Б. Расчет числа погибших в ДТП на основе социально-экономических показателей / А.Б. Чубуков, В.В. Сильянов, В.Т. Капитанов, О.Ю. Монина // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2014. № 3 (69). - С. 3-5.

100. Чудакова, Н.В. Влияние шин с учетом их сезонности и степенью износа на установившееся замедление автомобиля. / Н.В. Чудакова//Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. – 2016. – Вып. № 1(54). – 2016. – С. 141-145.

101. Чудакова, Н.В. Применение установившегося замедления транспортного средства в экспертной практике. / Н.В. Чудакова, С.С. Евтюков// Инновации на транспорте в машиностроении. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 2016. – С. 41-45.

102. Яблонский А.А., В.М. Никифорова Курс теоретической механики. Учеб. пособие для вузов: 13-е изд., исправ.-М.: Интеграл-Пресс,2009.-603с.

103. Якунин, Н.Н. Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации: моногр. / Н.Н. Якунин. – Москва: Машиностроение, 2003. – 178 с.

104. Яхьев, Н.Я. Безопасность транспортных средств : учебник для высш. учеб. заведений / Н. Я. Яхьяев. - М.: Издательский центр «Академия», - 2011. - 432 с.

105. Chubukov, A. Calculation of traffic capacity of signaled intersections / A. Chubukov, V. Silyanov, V. Kapitanov, O. Monina, U. Brannolte // Transportation Research Procedia. - 2017. - pp. 125-131.

106. Eichenwald, A.A. Theoretical Physics: General Mechanics, PH Librokom, Moscow, p. 328 (2016)

107. Eichenwald, A.A. Theoretical Physics: Solid State Mechanics, PH Librokom, Moscow, p. 224 (2011)

108. International transport forum [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.itf-oecd.org

109. M.G. Valishchev, A.A. Povzner, General Physics Course, PH Lan, Moscow, p. 576 (2010)

110. Makhonin, V.L. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash / I. Novikov, A. Degtyar, D. Lazarev, V. Makhonin // MATEC Web of Conferences 341, 00070. – 2021. DOI.org/10.1051/matecconf/202134100070.

111. Makhonin, V.L. A new approach to the study of complex vehicle movement during road transport expertise // I. Novikov, A. Degtyar, D. Lazarev, N. Zagorodniy, V. Makhonin. – E3S Web of Conferences 371, 04008 (2023), https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337104008.

112. Mobility and transport road safety [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics_en

113. Novikov, I.A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel // I. Novikov, D. Lazarev. – International Journal «Transportation Research Procedia» Vol. 20 (2017) pp 463-467.

114. Novikov, I.A. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface / I.A. Novikov, D.A. Lazarev, D.V. Kudinov // International Journal of Applied Engineering Research 2015. – Vol. 10, No 21. P. 42721–42724.

115. Podoprigora, N. Methods of assessing the influence of operational factors on brake system efficiency in investigating traffic accidents / N. Podoprigora, V. Dobromirov, A. Pushkarev, V. Lozhkin // Transportation Research Procedia - 2017. - pp. 516-522.

116. McHenry, R.R. Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report No. ZQ-5341-V-2, 1975.

117. United nations ESCAP [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.unescap.org/ru.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Патенты на полезную модель

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 210446

Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием

Патентообладатель: ***Махонин Виталий Леонидович (RU)***

Авторы: ***Махонин Виталий Леонидович (RU), Новиков Александр Николаевич (RU), Новиков Иван Алексеевич (RU), Загородний Николай Александрович (RU), Лазарев Дмитрий Александрович (RU), Шевцова Анастасия Геннадиевна (RU), Кущенко Лилия Евгеньевна (RU)***

Заявка № **2021139420**
Приоритет полезной модели **28 декабря 2021 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **15 апреля 2022 г.**
Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает **28 декабря 2031 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b80077e1 4e-5000a94edbd24145d5c7
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 26.05.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 217339

Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием

Патентообладатель: ***Махонин Виталий Леонидович (RU)***

Авторы: ***Дорохин Сергей Владимирович (RU), Махонин Виталий Леонидович (RU), Лазарев Дмитрий Александрович (RU), Загородний Николай Александрович (RU), Корнеев Артем Сергеевич (RU), Семыкина Алла Сергеевна (RU)***

Заявка № **2022134921**
Приоритет полезной модели **28 декабря 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **28 марта 2023 г.**
Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает **28 декабря 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b80077e14e60f0a94edbd24145d5c7
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 2.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

Приложение Б

Акт внедрения мероприятий и рекомендаций

МВД РОССИИ
УМВД РОССИИ ПО БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ
ЭКСПЕРТНО-КРИМИНАЛИСТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

г. Белгород ул. Князя Трубецкого 60 *тел. 354-645, 354-944*

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ЭКЦ
УМВД России по Белгородской области
полковник полиции

Р.В. Курганский

«01» апреля 2024 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы «Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования неконтролируемого перемещения автомобиля при дорожно-транспортном происшествии» соискателя Махонина В.Л. Научный руководитель – Еремин С.В.

г. Белгород «___»_____2024 г.

В рамках выполнения диссертационной работы «Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования неконтролируемого перемещения автомобиля при дорожно-транспортном происшествии» получено два патента на полезную модель РФ на разработанную Махониным В.Л. установку для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием.

Комиссия в составе: Загородний Н.А. – заведующий кафедрой эксплуатации и организации движения автотранспорта, Щетинин Н.А. – доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, Шапаренко К.А. – заместитель начальника отдела технических экспертиз и Шаповалова В.А. – старший эксперт отдела технических экспертиз, составила настоящий акт в том, что в Экспертно-криминалистический центр УМВД России по Белгородской области передан комплект документации и опытный образец данной установки для повышения эффективности проведения автотехнической экспертизы путем получения более полных и точных исходных данных для расчета.

Установка позволяет учесть конструктивные особенности колеса и условия эксплуатации непосредственно на месте совершения ДТП. Ее применение позволяет учитывать влияние изменения нагрузки на колесо и (или) его внутреннее давление, а также тангенциальные напряжения, возникающие при перемещении пятна контакта шины относительно опорной поверхности с определенной скоростью (скоростью движения автомобиля). Также, установка позволяет, в том числе, измерить боковое скольжение колеса автомобиля при различных углах его поворота относительно оси скольжения. Испытания установки показали, что ее измерения наиболее близки к измерениям сертифицированного измерительного устройства Эффект-02, однако, универсальность предлагаемой установки позволяет производить измерения в более широком спектре условий, в отличие от сертифицированного оборудования.

Применение данной установки позволяет повысить качество проведения автотехнической экспертизы путем получения более полных и точных исходных данных для расчета, а также сократить время на мероприятия по проведению осмотра места ДТП.

Загородний Н.А. Щетинин Н.А.

Шапаренко К.А. Шаповалова В.А.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Костюкова ул., д.46, Белгород, 308012, тел.(4722)54-20-87, факс (4722)55-71-39.
E-mail: rector@intbel.ru, http://www.bstu.ru

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по цифровой трансформации и образовательной деятельности
_____ Поляков В.М.
«_22_» _____января_____ 2024 г.

АКТ
внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Комиссия в составе: Новиков И.А. – директор транспортно-технологического института; Загородний Н.А. – заведующий кафедрой эксплуатации и организации движения автотранспорта; Лазарев Д.А. – доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, настоящим актом подтверждает внедрение результатов научно-исследовательской работы на тему «Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования неконтролируемого перемещения автомобиля при дорожно-транспортном происшествии» (автор – Махонин В.Л.) в учебный процесс кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» для преподавания дисциплин «Экспертиза дорожно-транспортных происшествий», «Технические средства организации дорожного движения», «Дорожный надзор» у студентов направления подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов», а также дисциплин «Методология проектирования транспортных систем», «Научно-исследовательская работа в семестре» у магистрантов направления подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов».

Председатель комиссии: _____ Новиков И.А.

Члены комиссии: _____ Загородний Н.А.

_____ Лазарев Д.А.

Межрегиональное бюро независимой
экспертизы и оценки **ООО «Экспертные Решения»**

г. Курск, ул. Гайдара, д. 3, оф. 4. Тел. (4712)55-17-01, 89107408231, e-mail: calgen@yandex.ru
Сайт организации: www.m-ocenka46.ru

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель межрегионального бюро
независимой экспертизы и оценки ООО
«Экспертные решения»

Калабухов Е.В.

«02» апреля 2024 г.

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОМ ПРОИСШЕСТВИИ»

Комиссия в составе Ляндрес Ольги Георгиевны – эксперта бюро, Демьянова Василия Александровича – старшего эксперта бюро, Кобзарева Владимира Витальевича – эксперта бюро, составила настоящий акт в том, что результаты диссертационного исследования Махонина В.Л. на тему «Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования неконтролируемого перемещения автомобиля при дорожно-транспортном происшествии» используются в работе межрегионального бюро независимой экспертизы и оценки ООО «Экспертные решения», в частности при производстве автотехнических экспертиз применяется установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием (Патенты РФ на полезную модель № 210446; №217339).

Председатель комиссии Ляндрес О.Г.

Члены комиссии: Демьянов В.А.

Кобзарев В.В.

УТВЕРЖДАЮ
Начальник
отдела размещения государственных заказов
областного казенного учреждения
«КУРСКАВТОДОР»
Пояркова И.Н.

АКТ

о практическом внедрении результатов диссертационной работы Махонина В.Л. «Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования неконтролируемого перемещения автомобиля при дорожно-транспортном происшествии»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе Пояркова И.Н. - начальника отдела размещения государственных заказов, Поярковой Н.Ю. - ведущего эксперта отдела размещения государственных заказов, Михайловой Е.А. - ведущего эксперта отдела размещения государственных заказов, составили настоящий акт в том, что результаты диссертационного исследования «Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования неконтролируемого перемещения автомобиля при дорожно-транспортном происшествии» Махонина В.Л. применяются ОКУ «КУРСКАВТОДОР» для исследования безопасности дорожного движения для обследования дорог общего пользования и на объектах проектирования в Курской агломерации.

При исследованиях по безопасности дорожного движения были учтены наработки Махонина В.Л. в области совершенствования способа измерения коэффициента сцепления колес транспортных средств с опорной поверхностью, в тех случаях, когда известные методы измерения, предусмотренные ГОСТ 33078-2014, не позволяют исследовать весь комплекс характеристик дорожного покрытия, в том числе и тех, которые учитываются при проектировании участков автомобильных дорог, на которых предусмотрены закругления и высока вероятность потери курсовой устойчивости движения транспортных средств.

Председатель комиссии Пояркова И.Н.

Члены комиссии: Пояркова Н.Ю.

Михайлова Е.А.

Приложение В

Таблицы экспериментальных замеров

Приложение 3.1 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для сухого асфальтобетонного покрытия (Замер №1)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,79	0,70	0,68	0,67	0,64	0,64	0,70	0,73	0,76	0,8
0,17	0,72	0,71	0,73	0,73	0,75	0,74	0,75	0,75	0,78	0,81
0,35	0,69	0,7	0,71	0,71	0,72	0,73	0,75	0,74	0,77	0,84
0,52	0,65	0,71	0,72	0,68	0,71	0,73	0,76	0,8	0,85	0,89
0,7	0,64	0,72	0,72	0,7	0,71	0,73	0,78	0,81	0,87	0,94
0,87	0,64	0,72	0,73	0,72	0,72	0,76	0,8	0,82	0,9	0,96
1,05	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,81	0,83	0,88	0,95	0,99
1,22	0,74	0,75	0,81	0,85	0,83	0,86	0,88	0,94	1,0	1,1
1,4	0,8	0,79	0,85	0,87	0,90	0,93	0,99	1,09	1,08	1,2
1,57	0,82	0,84	0,88	0,91	0,94	0,96	1,03	1,14	1,22	1,3

Приложение 3.2 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для сухого асфальтобетонного покрытия (Замер №2)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,8	0,71	0,69	0,66	0,63	0,65	0,71	0,74	0,77	0,79
0,17	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
0,35	0,69	0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78	0,83
0,52	0,66	0,7	0,71	0,68	0,71	0,72	0,76	0,83	0,86	0,87
0,7	0,63	0,71	0,72	0,69	0,7	0,73	0,77	0,81	0,87	0,92
0,87	0,65	0,71	0,72	0,71	0,73	0,75	0,8	0,81	0,89	0,95
1,05	0,71	0,72	0,73	0,73	0,75	0,81	0,84	0,89	0,98	0,99
1,22	0,74	0,78	0,81	0,85	0,86	0,87	0,89	0,95	1,01	1,09
1,4	0,79	0,81	0,86	0,88	0,91	0,94	0,99	1,1	1,12	1,19
1,57	0,81	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,01	1,12	1,21	1,34

Приложение 3.3 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для сухого асфальтобетонного покрытия (Замер №3)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,81	0,71	0,68	0,65	0,63	0,66	0,72	0,73	0,76	0,8
0,17	0,72	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77	0,78	0,81
0,35	0,69	0,71	0,72	0,72	0,73	0,74	0,75	0,78	0,79	0,82
0,52	0,65	0,68	0,69	0,7	0,7	0,73	0,75	0,84	0,86	0,88
0,7	0,65	0,7	0,72	0,69	0,71	0,74	0,76	0,8	0,87	0,93
0,87	0,66	0,71	0,74	0,72	0,74	0,76	0,8	0,81	0,88	0,95
1,05	0,72	0,74	0,76	0,73	0,77	0,81	0,83	0,87	0,97	0,99
1,22	0,73	0,78	0,83	0,86	0,87	0,88	0,87	0,94	1,02	1,1
1,4	0,78	0,82	0,87	0,88	0,92	0,95	0,99	1,0	1,09	1,24
1,57	0,83	0,85	0,9	0,92	0,94	0,98	1,05	1,12	1,2	1,35

Приложение 3.4 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для сухого асфальтобетонного покрытия (Замер №4)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,79	0,7	0,69	0,65	0,64	0,66	0,73	0,76	0,79	0,81
0,17	0,7	0,73	0,73	0,75	0,76	0,76	0,76	0,78	0,8	0,82
0,35	0,67	0,7	0,72	0,71	0,74	0,75	0,76	0,77	0,79	0,85
0,52	0,64	0,69	0,71	0,69	0,7	0,74	0,77	0,81	0,85	0,89
0,7	0,63	0,71	0,73	0,69	0,69	0,76	0,79	0,82	0,86	0,93
0,87	0,66	0,73	0,75	0,73	0,74	0,77	0,8	0,82	0,87	0,96
1,05	0,72	0,75	0,76	0,75	0,78	0,82	0,81	0,87	0,95	0,97
1,22	0,77	0,79	0,82	0,85	0,86	0,88	0,87	0,96	1,0	1,05
1,4	0,8	0,81	0,86	0,87	0,92	0,93	0,97	1,09	1,13	1,14
1,57	0,83	0,86	0,9	0,91	0,95	0,98	1,05	1,1	1,25	1,3

Приложение 3.5 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для сухого асфальтобетонного покрытия (Замер №5)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,78	0,7	0,67	0,65	0,64	0,68	0,72	0,75	0,77	0,78
0,17	0,7	0,72	0,73	0,73	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,82
0,35	0,67	0,68	0,7	0,71	0,72	0,73	0,76	0,77	0,79	0,84
0,52	0,65	0,69	0,72	0,69	0,72	0,72	0,77	0,81	0,84	0,86
0,7	0,62	0,7	0,73	0,7	0,71	0,74	0,78	0,82	0,86	0,91
0,87	0,64	0,71	0,72	0,72	0,73	0,76	0,81	0,83	0,88	0,96
1,05	0,7	0,73	0,74	0,74	0,76	0,82	0,83	0,9	0,95	0,98
1,22	0,75	0,79	0,8	0,84	0,85	0,88	0,88	0,98	1,02	1,12
1,4	0,8	0,82	0,85	0,89	0,92	0,94	0,97	1,11	1,15	1,21
1,57	0,82	0,84	0,9	0,92	0,95	0,97	1,06	1,15	1,26	1,36

Приложение 3.6 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для мокрого асфальтобетонного покрытия (Замер №1)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,34	0,36	0,46	0,48	0,5	0,51	0,53	0,54	0,56	0,61
0,17	0,35	0,38	0,44	0,49	0,41	0,43	0,49	0,55	0,57	0,62
0,35	0,38	0,39	0,46	0,52	0,46	0,48	0,51	0,58	0,61	0,63
0,52	0,4	0,4	0,5	0,5	0,43	0,49	0,53	0,6	0,62	0,64
0,7	0,4	0,42	0,52	0,51	0,46	0,47	0,49	0,53	0,63	0,63
0,87	0,41	0,44	0,53	0,53	0,47	0,48	0,5	0,53	0,56	0,65
1,05	0,42	0,45	0,56	0,53	0,5	0,53	0,54	0,57	0,61	0,67
1,22	0,43	0,49	0,59	0,6	0,54	0,56	0,58	0,61	0,64	0,68
1,4	0,51	0,53	0,62	0,63	0,6	0,59	0,61	0,63	0,68	0,69
1,57	0,59	0,6	0,63	0,64	0,62	0,61	0,64	0,66	0,69	0,7

Приложение 3.7 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для мокрого асфальтобетонного покрытия (Замер №2)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,35	0,37	0,43	0,46	0,49	0,51	0,52	0,55	0,58	0,6
0,17	0,34	0,36	0,45	0,49	0,42	0,44	0,48	0,56	0,58	0,61
0,35	0,37	0,37	0,47	0,51	0,45	0,47	0,51	0,59	0,61	0,63
0,52	0,41	0,4	0,5	0,5	0,44	0,45	0,52	0,6	0,62	0,65
0,7	0,42	0,41	0,51	0,52	0,47	0,46	0,5	0,54	0,61	0,65
0,87	0,42	0,43	0,52	0,53	0,48	0,49	0,51	0,55	0,55	0,66
1,05	0,43	0,45	0,55	0,56	0,51	0,52	0,55	0,56	0,62	0,68
1,22	0,44	0,46	0,58	0,61	0,55	0,57	0,59	0,6	0,63	0,69
1,4	0,5	0,52	0,61	0,62	0,61	0,6	0,62	0,63	0,68	0,7
1,57	0,58	0,6	0,63	0,65	0,63	0,61	0,65	0,67	0,69	0,71

Приложение 3.8 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для мокрого асфальтобетонного покрытия (Замер №3)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,33	0,35	0,45	0,47	0,49	0,5	0,51	0,52	0,57	0,61
0,17	0,35	0,35	0,47	0,48	0,4	0,41	0,48	0,56	0,58	0,62
0,35	0,37	0,38	0,48	0,51	0,43	0,45	0,5	0,57	0,61	0,63
0,52	0,38	0,39	0,5	0,51	0,42	0,47	0,52	0,59	0,61	0,64
0,7	0,39	0,41	0,51	0,52	0,45	0,46	0,48	0,52	0,61	0,63
0,87	0,39	0,44	0,51	0,53	0,48	0,48	0,49	0,53	0,55	0,65
1,05	0,4	0,46	0,55	0,54	0,51	0,51	0,55	0,54	0,6	0,67
1,22	0,43	0,49	0,59	0,59	0,55	0,55	0,57	0,61	0,65	0,68
1,4	0,54	0,52	0,61	0,62	0,6	0,58	0,61	0,6	0,67	0,69
1,57	0,6	0,61	0,62	0,63	0,61	0,6	0,63	0,65	0,69	0,7

Приложение 3.9 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для мокрого асфальтобетонного покрытия (Замер №4)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,34	0,36	0,42	0,45	0,48	0,5	0,52	0,55	0,59	0,6
0,17	0,35	0,37	0,44	0,47	0,44	0,46	0,49	0,57	0,6	0,61
0,35	0,37	0,38	0,46	0,49	0,49	0,47	0,5	0,58	0,61	0,62
0,52	0,42	0,4	0,49	0,51	0,45	0,46	0,51	0,59	0,62	0,63
0,7	0,43	0,42	0,51	0,52	0,48	0,47	0,5	0,53	0,63	0,64
0,87	0,42	0,45	0,53	0,55	0,47	0,49	0,52	0,54	0,59	0,65
1,05	0,44	0,46	0,56	0,57	0,52	0,53	0,54	0,59	0,63	0,68
1,22	0,44	0,48	0,57	0,6	0,54	0,58	0,6	0,62	0,64	0,7
1,4	0,49	0,53	0,6	0,62	0,62	0,61	0,61	0,65	0,66	0,72
1,57	0,55	0,59	0,62	0,64	0,65	0,62	0,64	0,68	0,7	0,73

Приложение 3.10 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для мокрого асфальтобетонного покрытия (Замер №5)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,35	0,36	0,4	0,45	0,48	0,5	0,53	0,55	0,58	0,6
0,17	0,35	0,37	0,42	0,49	0,43	0,45	0,48	0,56	0,58	0,61
0,35	0,36	0,38	0,45	0,5	0,46	0,48	0,49	0,59	0,61	0,63
0,52	0,4	0,4	0,49	0,51	0,45	0,46	0,5	0,6	0,62	0,65
0,7	0,41	0,42	0,51	0,52	0,48	0,47	0,5	0,54	0,61	0,65
0,87	0,42	0,44	0,53	0,55	0,49	0,5	0,53	0,55	0,55	0,66
1,05	0,44	0,46	0,54	0,57	0,52	0,53	0,54	0,56	0,62	0,68
1,22	0,46	0,48	0,59	0,61	0,56	0,59	0,61	0,6	0,63	0,69
1,4	0,51	0,53	0,62	0,63	0,62	0,61	0,63	0,63	0,68	0,7
1,57	0,57	0,61	0,64	0,66	0,64	0,63	0,66	0,67	0,69	0,71

Приложение 3.11 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для грунтового покрытия (Замер №1)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,5	0,49	0,48	0,47	0,48	0,49	0,5	0,52	0,53	0,61
0,17	0,48	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,52	0,52	0,52	0,56
0,35	0,46	0,46	0,46	0,47	0,48	0,48	0,50	0,51	0,54	0,54
0,52	0,45	0,46	0,48	0,45	0,46	0,47	0,52	0,55	0,58	0,59
0,7	0,46	0,47	0,49	0,47	0,48	0,48	0,52	0,56	0,59	0,6
0,87	0,47	0,47	0,49	0,48	0,49	0,5	0,53	0,57	0,6	0,64
1,05	0,47	0,48	0,49	0,5	0,51	0,53	0,54	0,6	0,64	0,69
1,22	0,48	0,51	0,52	0,58	0,56	0,59	0,57	0,64	0,68	0,74
1,4	0,51	0,53	0,56	0,59	0,6	0,62	0,63	0,71	0,73	0,79
1,57	0,54	0,56	0,58	0,6	0,62	0,65	0,66	0,72	0,82	0,83

Приложение 3.12 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для грунтового покрытия (Замер №2)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,51	0,49	0,49	0,48	0,49	0,5	0,51	0,52	0,55	0,56
0,17	0,49	0,48	0,47	0,48	0,5	0,51	0,52	0,52	0,57	0,57
0,35	0,47	0,46	0,45	0,47	0,49	0,49	0,51	0,52	0,58	0,58
0,52	0,46	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,52	0,54	0,59	0,6
0,7	0,45	0,46	0,48	0,48	0,48	0,49	0,53	0,55	0,6	0,62
0,87	0,46	0,47	0,49	0,5	0,5	0,51	0,54	0,58	0,61	0,66
1,05	0,47	0,49	0,5	0,51	0,52	0,52	0,55	0,61	0,63	0,68
1,22	0,48	0,5	0,52	0,57	0,55	0,6	0,57	0,63	0,67	0,71
1,4	0,5	0,52	0,55	0,58	0,61	0,63	0,62	0,69	0,7	0,8
1,57	0,53	0,54	0,57	0,59	0,63	0,64	0,66	0,73	0,8	0,84

Приложение 3.13 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для грунтового покрытия (Замер №3)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,5	0,48	0,48	0,5	0,51	0,52	0,53	0,54	0,57	0,59
0,17	0,49	0,47	0,46	0,49	0,51	0,51	0,52	0,52	0,56	0,57
0,35	0,48	0,45	0,44	0,47	0,48	0,5	0,5	0,51	0,57	0,58
0,52	0,47	0,44	0,45	0,47	0,47	0,48	0,51	0,52	0,6	0,62
0,7	0,46	0,45	0,47	0,49	0,49	0,5	0,53	0,54	0,62	0,64
0,87	0,47	0,47	0,48	0,52	0,51	0,52	0,53	0,58	0,63	0,68
1,05	0,48	0,48	0,51	0,54	0,53	0,53	0,56	0,63	0,65	0,7
1,22	0,49	0,5	0,53	0,58	0,56	0,59	0,58	0,66	0,68	0,75
1,4	0,5	0,51	0,54	0,59	0,62	0,63	0,66	0,7	0,71	0,81
1,57	0,51	0,52	0,58	0,6	0,64	0,65	0,68	0,74	0,8	0,82

Приложение 3.14 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для грунтового покрытия (Замер №4)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,49	0,48	0,47	0,46	0,47	0,48	0,49	0,51	0,53	0,60
0,17	0,47	0,47	0,49	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,53	0,57
0,35	0,46	0,47	0,46	0,48	0,49	0,49	0,50	0,51	0,52	0,55
0,52	0,45	0,47	0,47	0,44	0,47	0,48	0,51	0,55	0,57	0,58
0,7	0,46	0,47	0,48	0,46	0,46	0,49	0,51	0,54	0,58	0,61
0,87	0,46	0,47	0,48	0,47	0,49	0,49	0,53	0,54	0,59	0,63
1,05	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,54	0,55	0,59	0,65	0,66
1,22	0,49	0,52	0,54	0,57	0,57	0,58	0,59	0,62	0,67	0,73
1,4	0,53	0,54	0,57	0,59	0,61	0,63	0,66	0,73	0,74	0,79
1,57	0,54	0,57	0,59	0,61	0,63	0,64	0,67	0,75	0,81	0,81

Приложение 3.15 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для грунтового покрытия (Замер №5)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,48	0,47	0,46	0,49	0,52	0,53	0,54	0,55	0,58	0,61
0,17	0,48	0,47	0,47	0,5	0,51	0,51	0,52	0,53	0,57	0,59
0,35	0,47	0,46	0,45	0,48	0,49	0,5	0,51	0,52	0,57	0,58
0,52	0,46	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,52	0,52	0,59	0,6
0,7	0,46	0,46	0,47	0,48	0,49	0,51	0,54	0,55	0,6	0,63
0,87	0,47	0,48	0,49	0,51	0,5	0,52	0,54	0,57	0,64	0,67
1,05	0,48	0,49	0,5	0,53	0,54	0,55	0,57	0,63	0,66	0,71
1,22	0,5	0,51	0,52	0,57	0,57	0,58	0,59	0,66	0,69	0,76
1,4	0,51	0,52	0,55	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74	0,8
1,57	0,53	0,54	0,59	0,61	0,65	0,67	0,7	0,77	0,81	0,83

Приложение 3.16 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для снежного наката (Замер №1)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,2	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,16	0,17	0,19
0,17	0,19	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21
0,35	0,17	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21
0,52	0,16	0,13	0,13	0,14	0,13	0,14	0,18	0,19	0,2	0,23
0,7	0,14	0,14	0,14	0,11	0,15	0,15	0,19	0,22	0,23	0,26
0,87	0,14	0,13	0,14	0,13	0,15	0,21	0,22	0,23	0,25	0,27
1,05	0,13	0,14	0,15	0,15	0,17	0,23	0,24	0,27	0,28	0,29
1,22	0,14	0,2	0,23	0,21	0,22	0,25	0,26	0,3	0,32	0,32
1,4	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,31	0,33	0,34
1,57	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36

Приложение 3.17 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для снежного наката (Замер №2)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,15	0,16	0,19
0,17	0,18	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,2	0,2
0,35	0,16	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,2
0,52	0,15	0,12	0,14	0,13	0,13	0,14	0,17	0,19	0,2	0,21
0,7	0,14	0,13	0,13	0,11	0,12	0,14	0,15	0,2	0,21	0,23
0,87	0,13	0,14	0,14	0,12	0,13	0,19	0,2	0,22	0,23	0,25
1,05	0,12	0,13	0,15	0,14	0,15	0,2	0,21	0,26	0,27	0,29
1,22	0,13	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,3	0,31
1,4	0,2	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,3	0,31	0,32
1,57	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,3	0,31	0,32	0,33

Приложение 3.18 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для снежного наката (Замер №3)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,2	0,19	0,18	0,17	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
0,17	0,18	0,15	0,14	0,15	0,15	0,18	0,17	0,18	0,19	0,2
0,35	0,17	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22
0,52	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,14	0,18	0,2	0,22	0,23
0,7	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,15	0,19	0,21	0,23	0,24
0,87	0,14	0,15	0,15	0,12	0,14	0,17	0,2	0,22	0,24	0,26
1,05	0,13	0,14	0,16	0,15	0,16	0,2	0,22	0,26	0,27	0,29
1,22	0,15	0,16	0,2	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,31	0,32
1,4	0,21	0,22	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3	0,31	0,33	0,34
1,57	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28	0,3	0,32	0,33	0,35	0,36

Приложение 3.19 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для снежного наката (Замер №4)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,19	0,18	0,18	0,16	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,2
0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17	0,19	0,2	0,21
0,35	0,17	0,15	0,14	0,15	0,15	0,16	0,19	0,2	0,22	0,23
0,52	0,16	0,14	0,13	0,14	0,14	0,16	0,19	0,2	0,23	0,25
0,7	0,15	0,13	0,14	0,13	0,12	0,16	0,2	0,21	0,24	0,27
0,87	0,16	0,14	0,15	0,14	0,15	0,19	0,21	0,23	0,25	0,28
1,05	0,17	0,15	0,16	0,17	0,16	0,24	0,22	0,24	0,28	0,3
1,22	0,18	0,17	0,19	0,22	0,23	0,27	0,24	0,3	0,33	0,34
1,4	0,2	0,21	0,22	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,34	0,35
1,57	0,21	0,22	0,23	0,24	0,29	0,31	0,34	0,35	0,36	0,38

Приложение 3.20 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения для снежного наката (Замер №5)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,15	0,18	0,2
0,17	0,19	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,2	0,22
0,35	0,16	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,24
0,52	0,15	0,11	0,12	0,13	0,12	0,13	0,17	0,18	0,2	0,25
0,7	0,13	0,12	0,13	0,1	0,14	0,14	0,18	0,22	0,23	0,25
0,87	0,14	0,12	0,13	0,12	0,14	0,2	0,21	0,22	0,25	0,26
1,05	0,12	0,13	0,14	0,14	0,16	0,22	0,25	0,26	0,27	0,27
1,22	0,15	0,19	0,22	0,2	0,21	0,24	0,26	0,3	0,3	0,3
1,4	0,2	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,3	0,32	0,31
1,57	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,3	0,31	0,32	0,33

Приложение 3.21 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения при испытаниях металлических поверхностей (Замер №1)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,8	0,71	0,69	0,66	0,63	0,65	0,71	0,74	0,77	0,79
0,17	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
0,35	0,69	0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78	0,83
0,52	0,66	0,7	0,71	0,68	0,71	0,72	0,76	0,83	0,86	0,87
0,7	0,63	0,71	0,72	0,69	0,7	0,73	0,77	0,81	0,87	0,92
0,87	0,65	0,71	0,72	0,71	0,73	0,75	0,8	0,81	0,89	0,95
1,05	0,71	0,72	0,73	0,73	0,75	0,81	0,84	0,89	0,98	0,99
1,22	0,74	0,78	0,81	0,85	0,86	0,87	0,89	0,95	1,01	1,09
1,4	0,79	0,81	0,86	0,88	0,91	0,94	0,99	1,1	1,12	1,19
1,57	0,81	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,01	1,12	1,21	1,34

Приложение 3.22 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения при испытаниях металлических поверхностей (Замер №2)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,79	0,72	0,7	0,66	0,64	0,65	0,71	0,73	0,76	0,79
0,17	0,7	0,71	0,72	0,74	0,74	0,74	0,75	0,76	0,77	0,8
0,35	0,68	0,7	0,7	0,72	0,71	0,73	0,74	0,76	0,77	0,82
0,52	0,65	0,69	0,7	0,68	0,69	0,71	0,75	0,81	0,83	0,85
0,7	0,62	0,7	0,71	0,69	0,7	0,72	0,76	0,82	0,86	0,9
0,87	0,64	0,7	0,73	0,71	0,72	0,74	0,81	0,83	0,88	0,93
1,05	0,7	0,71	0,74	0,73	0,76	0,77	0,83	0,88	0,97	0,97
1,22	0,73	0,76	0,82	0,85	0,85	0,86	0,88	0,94	1,08	1,02
1,4	0,78	0,8	0,87	0,88	0,9	0,93	0,97	1,02	1,14	1,12
1,57	0,8	0,84	0,9	0,9	0,93	0,94	0,99	1,1	1,2	1,3

Приложение 3.23 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения при испытаниях металлических поверхностей (Замер №3)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,78	0,71	0,7	0,67	0,65	0,65	0,7	0,72	0,75	0,8
0,17	0,69	0,7	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,81
0,35	0,68	0,69	0,72	0,71	0,72	0,73	0,75	0,75	0,76	0,83
0,52	0,66	0,68	0,73	0,67	0,72	0,72	0,75	0,8	0,82	0,86
0,7	0,63	0,68	0,73	0,68	0,71	0,72	0,76	0,81	0,85	0,91
0,87	0,65	0,69	0,74	0,7	0,72	0,73	0,8	0,82	0,87	0,94
1,05	0,69	0,7	0,75	0,72	0,74	0,76	0,82	0,87	0,96	0,98
1,22	0,72	0,75	0,81	0,84	0,83	0,85	0,86	0,93	1,05	1,14
1,4	0,77	0,79	0,86	0,89	0,9	0,92	0,95	0,99	1,08	1,2
1,57	0,79	0,83	0,89	0,9	0,91	0,92	0,97	1,0	1,16	1,27

Приложение 3.24 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения при испытаниях металлических поверхностей (Замер №4)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,81	0,72	0,7	0,67	0,64	0,66	0,72	0,74	0,76	0,8
0,17	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,77	0,77	0,82
0,35	0,7	0,7	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,79	0,84
0,52	0,67	0,71	0,72	0,69	0,72	0,73	0,77	0,84	0,85	0,88
0,7	0,64	0,71	0,73	0,7	0,71	0,74	0,78	0,85	0,86	0,94
0,87	0,66	0,72	0,73	0,72	0,74	0,76	0,81	0,87	0,87	0,97
1,05	0,72	0,73	0,74	0,74	0,76	0,82	0,85	0,92	0,97	1,01
1,22	0,75	0,79	0,82	0,86	0,87	0,88	0,9	0,98	1,05	1,12
1,4	0,8	0,82	0,87	0,89	0,92	0,95	1,0	1,14	1,19	1,2
1,57	0,82	0,86	0,9	0,92	0,95	0,97	1,07	1,2	1,23	1,36

Приложение 3.25 Зависимость коэффициента сцепления от углов поворота колес относительно оси скольжения и скорости скольжения при испытаниях металлических поверхностей (Замер №5)

Угол, рад	Скорость, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,8	0,73	0,71	0,67	0,68	0,69	0,73	0,75	0,78	0,81
0,17	0,73	0,72	0,73	0,75	0,76	0,75	0,77	0,78	0,79	0,84
0,35	0,7	0,7	0,73	0,73	0,74	0,75	0,77	0,8	0,82	0,86
0,52	0,68	0,71	0,73	0,69	0,7	0,74	0,78	0,85	0,87	0,89
0,7	0,63	0,72	0,74	0,7	0,71	0,73	0,79	0,86	0,88	0,97
0,87	0,67	0,73	0,74	0,72	0,75	0,74	0,82	0,88	0,91	1,03
1,05	0,73	0,74	0,76	0,74	0,77	0,81	0,86	0,93	0,98	1,09
1,22	0,76	0,8	0,83	0,87	0,88	0,89	0,91	0,99	1,09	1,14
1,4	0,81	0,83	0,88	0,92	0,94	0,95	0,99	1,07	1,21	1,22
1,57	0,83	0,87	0,92	0,95	0,97	0,99	1,03	1,19	1,26	1,32