

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Е. С. Воеводин
«_____» _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение эффективности проведения экспертизы дорожно-транспортных
происшествий

23.04.01 – «Технология транспортных процессов»

23.04.01.02 – «Оценка соответствия и экспертиза безопасности на транспорте»

Научный руководитель _____ профессор, д-р техн. наук И.М. Блянкинштейн

Выпускник _____ А. О. Казанцев

Рецензент _____ старший эксперт-техник ООО КЦПОиЭ
«Движение» Н.А. Сачек

Нормоконтролер _____ профессор, д-р техн. наук И.М. Блянкинштейн

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Е. С. Воеводин
«_____» _____ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту: Казанцеву Андрею Олеговичу

Группа: ФТ18-06М Направление (специальность): 23.04.01 «Технология транспортных процессов».

Тема выпускной квалификационной работы: «Повышение эффективности проведения экспертизы дорожно-транспортных происшествий».

Утверждена приказом по университету № 16388/с от 25 октября 2018 г.

Руководитель ВКР: И.М. Блянкинштейн, профессор кафедры «Транспорт», д-р. техн. наук.

Перечень разделов ВКР:

1. Состояние вопроса и задачи исследования в отношении динамики транспортного средства при разгерметизации его шины.

2. Теоретические аспекты анализа динамики движения транспортного средства при внезапном торможении, связанном с повреждением шины.

3. Методики аналитических (теоретических) и компьютерных (экспериментальных) исследований.

4. Результаты проведенных исследований.

Руководитель ВКР

И.М. Блянкинштейн

Задание принял к исполнению

А.О. Казанцев

« ____ » _____ 20__ г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме: «Повышение эффективности проведения экспертизы дорожно-транспортных происшествий» содержит 70 страниц текстового документа, 46 иллюстраций, 54 формулы, 40 таблиц, 2 приложения, 28 использованных источника.

ПАРАМЕТРЫ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ, РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ ШИНЫ, ПОСТУПАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТС, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, РАБОТА ТРЕНИЯ ШИН, ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ РС-CRASH, МОДЕЛИРОВАНИЕ ДТП, БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ.

В разделе «Состояние вопроса и задачи исследования в отношении динамики транспортного средства при разгерметизации его шины» изучены наиболее близкие работы научных сотрудников по данной теме исследования, выявлены не рассматриваемые, до этого момента, подходы к решению данного вопроса.

В основной части выпускной квалификационной работы предлагается математическая модель для анализа динамики движения транспортного средства при линейном и вращательном движении, в случае внезапного торможения передним левым колесом.

Разработаны методики проведения теоретических и экспериментальных исследований применительно к математической модели для анализа динамики движения транспортного средства.

Научная новизна исследования:

1. Разработана математическая модель, учитывающая работу трения шин при линейном перемещении и вращении ТС на опорной поверхности.

2. Установлены закономерности изменения параметров динамики движения транспортного средства, в случае разгерметизации шины, от параметров системы ВАДС.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Состояние вопроса и задачи исследования	8
1.1 Анализ исследований по вопросам динамики транспортного средства при разгерметизации его шины	8
1.2 Обоснование применения технических средств и программных продуктов при проведении экспертизы ДТП.....	11
1.3 Обзор программного обеспечения для моделирования и реконструкции ДТП – PC-CRASH	15
2 Теоретические аспекты анализа динамики движения транспортного средства при внезапном торможении, связанном с повреждением (разгерметизацией) шины.....	26
2.1 Разработка математической модели для анализа динамики движения ТС при внезапном торможении, связанном с повреждением шины	27
2.1.1 Аналитическая модель работы трения шин при вращательном движении автомобиля.....	28
2.1.2 Аналитическая модель работы трения шин при линейном движении автомобиля.....	33
3 Методики теоретических и экспериментальных исследований.....	38
3.1 Планирование экспериментов, обоснование исходных данных.....	38
3.2 Методика выполнения эксперимента с использованием разработанной математической модели	39
3.3 Методика выполнения эксперимента с использованием программного обеспечения PC-CRASH	42
4 Результаты исследований.....	44
4.1 Результаты аналитических исследований	44
4.2 Результаты исследований с использованием программного обеспечения PC-CRASH.....	55
4.3 Вопросы практического использования результатов исследований при проведении экспертизы ДТП.....	61
Общие выводы исследований	65
Заключение	66
Список использованных источников	67
Приложение А Результаты моделирования дорожно-транспортной ситуации в программном продукте PC-CRASH	69
Приложение Б Презентационный материал.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. За последние десять лет в Российской Федерации (РФ) резко увеличилось число автомобилей как отечественного, так и зарубежного производства. Количество транспортных средств (ТС), зарегистрированных на территории РФ на 1 января 2020 года, составило 58,7 млн единиц. Возрастание численности ТС ежегодно составляет от 7 % до 12,5 % [1]. В связи с этим наблюдается увеличение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых гибнут люди, повреждаются или уничтожаются ТС и перевозимые грузы, наносится материальный ущерб и прочее. В этих процессах задействовано большое количество участников: водители, пешеходы, страховые компании, предприятия по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р), в том числе их значительная финансовая составляющая, что обуславливает необходимость достоверной реконструкции механизма ДТП с целью выявления виновного и компенсации имморальных и материальных затрат пострадавшим участникам возникшего происшествия.

В настоящее время для реконструкции механизма ДТП стали широко применяться программные продукты, в которых, зачастую, не раскрывается физическая суть процессов, протекающих в системе «Водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС). Из этого следует, что эксперт с таким программным обеспечением (ПО) может запросто получить противоречивые результаты ввиду своей некомпетентности либо, того хуже, использовать данное ПО как средство анимации, подменив законы физики своим пониманием механизма ДТП, тем самым кардинально повлияв на выводы в экспертном заключении.

Поэтому рассмотрение процессов, протекающих при ДТП, с точки зрения физических законов, позволяет лучше понять их природу, с более высокой достоверностью воспроизвести процессы, протекающие в системе ВАДС и на этой основе с достаточной точностью провести реконструкцию механизма ДТП с целью выявления виновного [2].

Целью исследования является создание аналитической модели на основе закона сохранения энергии, описывающей динамику движения транспортного средства при экстренном торможении, вызванном разгерметизацией шины переднего колеса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор и анализ литературных источников, посвященных аналитическому описанию траектории и параметров динамики движения ТС при торможении, обусловленным разгерметизацией шины.

2. Разработать математическую модель, учитывающую работу трения шин при линейном перемещении и вращении транспортного средства на горизонтальной опорной поверхности.

3. Реализовать математическую модель в виде алгоритма расчета с использованием офисного приложения Excel программного обеспечения Microsoft Office.

4. Спланировать и провести модельные эксперименты, проанализировать их результаты. Для проверки адекватности разработанной математической модели сравнить результаты моделированием в ПОРС-CRASH.

5. Оценить применимость разработанной математической модели и алгоритмов для практического использования в экспертной деятельности.

Гипотеза. Создание математической модели на основе закона сохранения энергии, учитывающей работу трения шин при линейном перемещении и вращении ТС на опорной поверхности позволяет повысить достоверность описания динамики движения ТС при экстренном торможении, вызванном разгерметизацией шины.

Положения, выносимые на защиту. Разработанная математическая модель на основе закона сохранения энергии, учитывающая работу трения шин при линейном перемещении и вращении ТС на опорной поверхности позволяет повысить достоверность описания динамики движения ТС при экстренном торможении, вызванном разгерметизацией шины.

Величина работы трения шин при вращении ТС зависит от параметров системы ВАДС.

Объект исследования: траектория (параметры динамики) движения ТС категории М1, при внезапном торможении, вызванном разгерметизацией шины переднего колеса.

Предмет исследования: закономерности изменения траектории (параметров динамики) движения ТС при внезапном торможении, вызванном разгерметизацией шины переднего колеса.

Научная новизна:

1. Разработана математическая модель, учитывающая работу трения шин при линейном перемещении и вращении ТС на опорной поверхности

2. Установлены закономерности изменения параметров динамики движения от параметров системы ВАДС.

3. Величина работы трения шин в дорожно-транспортной ситуации представляется, как сумма работы трения шин, совершаемой при вращении автомобиля на опорной поверхности, в случае заноса, и при перемещении ЦМ автомобиля в продольном направлении, в случае условного прямолинейного движения, которая находится в линейной зависимости от параметров системы ВАДС.

Практическая ценность:

Разработанные модели и алгоритмы расчета позволяют понять физическую природу процессов, протекающих в системе ВАДС и на их основе провести реконструкцию механизма ДТП без использования дорогостоящего программного обеспечения типа PC-CRASH.

Апробация:

Результаты работы докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции «Молодежь и наука. Проспект Свободный 2020.»

Публикации:

Статья в журнале *Transport Problems* (Польша) 1-й номер 2020 г.

1 Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Анализ исследований по вопросам динамики транспортного средства при разгерметизации его шины

Наиболее известными научными школами в исследуемой области являются МАДИ, ХАДИ, СПбГСУ, НИИ БД и другие. Профессорами Иларионовым В.А., Рябчинским А.И., Подригало М.А., Евтюковым С.А и другими исследователями заложены основы и наработаны практические результаты по экспертизе ДТП.

В судебной автотехнической экспертизе существует ряд методик анализа механизма ДТП [3], а также исследования шин и колес транспортных средств [4]. Значительную роль при проведении экспертиз играют вопросы исследования характеристик шин транспортных средств, которые относятся к категории сложных вопросов, как в теоретическом, так и в методическом плане.

В работе [5] приведен ряд математических моделей для исследования влияния различных параметров шин на устойчивость и управляемость автомобиля. В работах [6, 7] изучены основы динамики автомобиля с учетом эластичности его шин.

Методы исследования шин транспортных средств, которые существуют в практике эксплуатации, не могут быть в «готовом» виде перенесены на процесс экспертного исследования. Экспертное исследование шин транспортных средств требует разработки независимой теоретической и методической базы. В то же время теоретические основы этих исследований недостаточно разработаны, и, связанные с ними проблемы криминалистического и методического характера требуют дальнейшего исследования и совершенствования.

Практика экспертного исследования шин и колес ТС показывает, что повреждения шин и колес могут иметь как эксплуатационный, так и неэксплуатационный (аварийный) характер, когда повреждения возникают в результате ДТП, непосредственно перед ДТП или после него.

Согласно принятой в настоящее время терминологии в экспертной практике различают следующие виды повреждений шин: прокол, пробой, разрез, разрыв и пневматический взрыв [8].

Первым общим характерным признаком неэксплуатационных (аварийных) повреждений шин может служить действие значительной по величине ударной силы, которая вызывает кроме повреждения шины различные повреждения частей и деталей колеса и прилегающих к нему частей (крыльев, рычагов, тяг и т.д.).

Вторым общим характерным признаком неэксплуатационного повреждения шин является направление действия силы разрушения, которая не совпадает с плоскостью вращения колеса в процессе эксплуатации транспортного средства [8]. Решение вопроса оценки параметров движения при разгерметизации шины транспортного средства составляет основу расследования и судебного рассмотрения дел о ДТП.

Одной из наиболее близких работ по данной тематике исследования, является работа «*Экспериментальные исследования динамики транспортного*

средства при разгерметизации его колеса», авторами которой являются сотрудники Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ) и Научно-исследовательского института судебных экспертиз (НИИ СЭ) им. Засл. проф. Н.С. Бокариуса, в их числе: В.В. Сабадаш к.т.н., доц.; Д. М. Клец к.т.н., доц.; В.А. Варлаховс.н.с. [9]

В данном труде экспериментальным методом был определен радиус поворота и отклонение от траектории движения автомобиля при разгерметизации его колеса, а также определена зависимость статического радиуса колеса от давления воздуха в шине.

Целью данного исследования являлось экспериментальное определение параметров движения транспортного средства при разгерметизации его колеса.

Для достижения указанной цели необходимо было экспериментально определить параметры движения автомобиля при разгерметизации его колеса.

В результате экспериментальные исследования параметров движения автомобиля при разгерметизации его колеса в дорожных условиях показали, что статический радиус шины изменяется в зависимости от избыточного давления воздуха по экспоненциальному закону (рисунок 1.1).

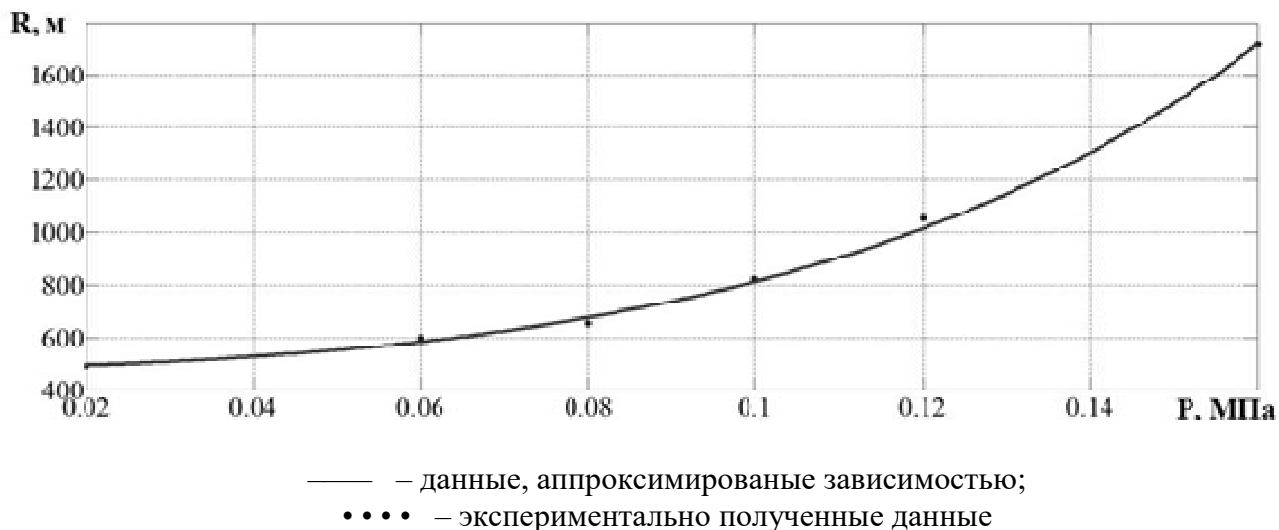


Рисунок 1.1 – Зависимость радиуса поворота автомобиля при движении со спущенной шиной Nokian W 185 /65 R14 86TM + S от избыточного давления воздуха в ней

Проведенные исследования позволили специалистам с достаточной точностью определять параметры траектории транспортных средств при движении с разгерметизированным колесом, что в дальнейшем позволяет эксперту-автотехнику провести соответствующую техническую оценку действий водителя и решить вопрос его технической возможности предупреждения ДТП.

Другой из наиболее близких работ по данной теме исследования, является статья «Экспертное исследование устойчивости движения транспортного средства при разгерметизации его колеса», авторами которой являются сотрудники ХНАДУ: М.А. Подригалод.т.н., профессор; Д. М. Клец к.т.н., доц. [10]

В статье были разработаны теоретические основы метода оценки устойчивости транспортных средств при разгерметизации их колес, а также определено время полной разгерметизации шины автомобильного колеса. Указанный метод позволил определять величины поворачивающего момента и радиуса поворота автомобиля с различными радиусами колес с учетом трения в дифференциале.

Целью исследования являлась разработка метода оценки устойчивости движения транспортного средства при разгерметизации одного из его колес.

Для достижения указанной цели необходимо было решить следующие задачи:

- определить время полной разгерметизации шины автомобильного колеса;

- обосновать метод экспертного исследования устойчивости транспортных средств при разгерметизации их колес.

В результате был теоретически обоснован метод определения параметров устойчивости транспортного средства при движении его с разгерметизированным колесом, позволяющий устанавливать показатели бокового увода, поворачивающего момента, действующего на транспортное средство в плоскости дороги с учетом трения в дифференциале.

Предложенная модель определения радиуса поворота автомобиля с различными радиусами колес явилась адекватной, о чем свидетельствует высокая сходимость экспериментальных и расчетных данных.

Внедрение в экспертную практику предложенного специального метода исследования устойчивости движения транспортного средства при разгерметизации колеса с целью определения параметров его движения на момент ДТП позволило повысить доказательную роль вывода автотехнической экспертизы.

В научной работе авторов Ковалева В.А., Фомина Е.В., опубликованной в журнале ВЕСТНИК ИрГТУ №10 в 2014 г. под названием: «Определение динамики движения автомобиля при разрыве шины переднего колеса» [11], была предпринята попытка рассмотреть данный вопрос в очень схожем, с теоретической точки зрения, подходе.

Если быть конкретнее, то на основе физических законов ими был предложен метод определения скорости движения ТС, а также его траектории в результате поворота, вызванного разрушением шины переднего колеса.

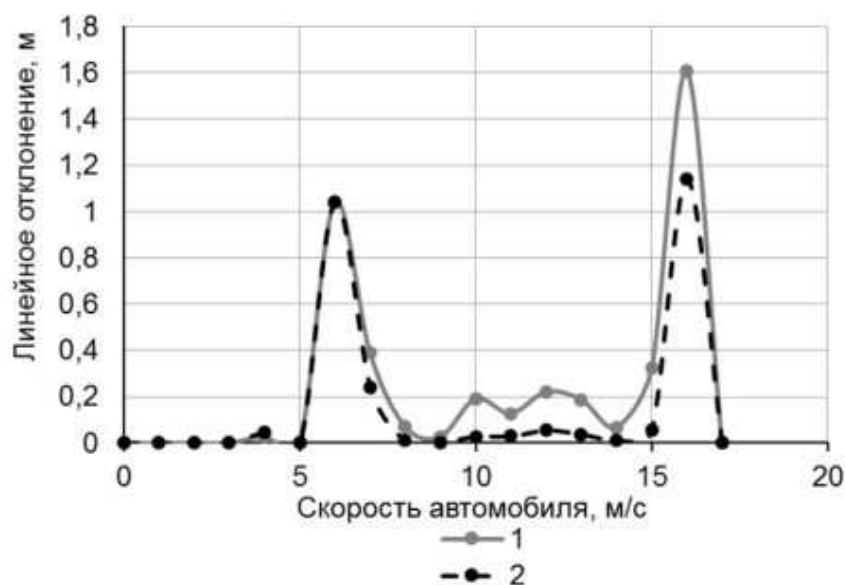
Стоит также отметить, что результаты данного исследования не подкреплялись проведением каких-либо экспериментов либо моделированием при помощи специализированного ПО.

В статье Балакиной Е.В и др. авторов, опубликованной в журнале «Молодой ученый» № 21 в 2017 г. под названием «Результаты расчета оценочных параметров устойчивости движения автомобиля при учете составляющих продольного сноса нормальной и боковой реакций опорной поверхности», сделано предположение о влиянии на величины расчетных оценочных параметров устойчивости движения составляющих продольного сноса нормальной и боковой реакций опорной поверхности. В статье приведены результаты расчета линейных отклонений автомобиля от заданной траектории движения при моделировании с учетом и без учета указанных сносных реакций.

Авторами проведена работа по моделированию движения автомобиля и расчету оценочных параметров устойчивости движения автомобиля, с использованием программного комплекса Stabauto. В результате проведенных

расчетных экспериментов авторами было доказано, что учет составляющих сносов реакций опорной поверхности существенно изменяет результаты моделирования движения автомобилей.

На рисунке 1.2 показаны изменения линейных отклонений автомобиля, связанные с учетом дополнительных сносов реакций. Эти изменения вызваны появлением и ростом момента от боковой силы на управляемых колесах.



1 – изменения линейных отклонений передней оси;
2 – изменения линейных отклонений задней оси

Рисунок 1.2 – Результаты расчета. Режим равномерного движения в правом повороте радиуса 35 м

Этот момент вызывает рост угла поворота управляемых колес, что, в свою очередь, вызывает рост связанных с ним моментов: весового и гироскопического. [12]

Подводя черту, стоит отметить, что рассмотренные выше научные труды не рассматривают динамику перемещения транспортного средства с учетом работы трения шин, а это значит, что данный вопрос требует дополнительных исследований в этом направлении.

1.2 Обоснование применения технических средств и программных продуктов при проведении экспертизы ДТП

В настоящее время происходит стремительное развитие научно-технического прогресса в области автомобилестроения, происходит изменение структуры дорожно-транспортных ситуаций (увеличение скоростей, плотности потока и т.д.), предшествующих дорожно-транспортным происшествиям (ДТП). Все это обуславливает ускоренное развитие теории, методов и средств судебной автотехнической экспертизы. Теоретической основой изменения

направления развития автотехнической экспертизы являются кибернетика и правовая кибернетика. Под влиянием кибернетики произошло качественное изменение роли технических средств в экспертном исследовании.

Судебная автотехническая экспертиза как область практической деятельности представляет собой сложную систему разнородных элементов, в том числе: нормативное регулирование, статус и функции субъектов деятельности, систему технических средств, научные основы, методы и методики проведения экспертных исследований. Как и многие другие виды экспертиз, автотехника предполагает изучение объектов, следов, вещной обстановки, взаимодействия данных факторов во времени. Поэтому, столь сложная, динамически развивающаяся система не может существовать и развиваться без использования технических средств. Технические средства должны быть адекватно разнообразию задач, которые приходится решать эксперту-автотехнику и соответствовать формам этой деятельности [13].

Технические средства, применяемые экспертом-автотехником условно можно разделить на три группы:

1. средства, которые применяются в повседневной деятельности человека (фотоаппарат, линейка, калькулятор, и т.д.);

2. средства, которые применяются только в экспертной деятельности или на специализированных предприятиях (криминалистические средства - специальная фототехника для съемки микроследов, специальные осветительные приборы, диагностические приборы и т.д.);

3. средства, которые применяются только для решения конкретных задач по одному из видов экспертизы (в основном программные модули).

На современном этапе развития автотехнической экспертизы в ходе ее производства применяются все группы технических средств. Применение обуславливается методикой, которая избрана экспертом для проведения необходимых исследований. Исходя из требований действующего законодательства, выбор применяемой экспертом методики не регламентируется и прямо зависит от решения эксперта. Следует отметить, что проходящая в последние годы «паспортизация» экспертных методик на межведомственном уровне, служит только принципам единого подхода к решению одинаковых экспертных задач различными экспертами. «Паспортизация» экспертных методик не ограничивает эксперта в выборе способов, которыми он достигнет результатов, если выбранные способы научно обоснованы.

Методики, применяемые в практике автотехнической экспертизы, основаны на законах физики, теоретической механики, теории и конструкции автомобилей, теории соударения и т.д.

Следовательно, экспертные методики, применяемые в автотехнической экспертизе, не что иное, как прикладное выражение указанных выше законов. Причем, как правило, происходит упрощение применяемых математических зависимостей. Это связано с тем, что при производстве экспертизы может быть ограничено число задаваемых исходных параметров и с тем, чтобы упростить процесс вычисления. Что непременно приводит к снижению достоверности

результата относительно методов, основанных на фундаментальных познаниях в области науки и техники.

Исходя из того, что законодательство не ограничивает эксперта в выборе методики исследования, не может быть и ограничений эксперта, в выборе применяемых им технических средств.

Разберем первую группу технических средств (инструментов), применяемых экспертом-автотехником. Данные инструменты служат для фиксации объектов автотехнической экспертизы, измерения их геометрических размеров, для проведения вычислительных математических действий. Все действия, которые выполняются с помощью технических средств первой группы, могут быть выполнены любым человеком. То есть, с помощью технических средств первой группы происходит фото или измерительная фиксация объективной реальности. Причем методика проведения данных действий экспертом такова, что проверить замеры и вычисления можно даже после уничтожения объектов. Если экспертом были измерены, какие-либо размеры участка дороги, транспортных средств, следов на транспортных средствах, то это должно быть зафиксировано путем масштабной фотосъемки. После такого действия все указанные выше замеры могут быть выполнены по имеющимся фото таблицам без объектов осмотра. То же самое касается и применения калькуляторов для проведения математических расчетов. Проведенные экспертом математические расчеты всегда можно проверить путем повторного расчета любым человеком.

Вторая группа технических средств, применяемых экспертом-автотехником, служит практически для выполнения тех же целей, что и первая группа. Отличие заключается в том, что инструменты второй группы являются специальными и не применяются в обычной деятельности людей. Проверить правильность применения инструментов второй группы можно теми же способами, что и первой группы. Единственное отличие состоит в том, что при необходимости повторного применения технических средств второй группы выполнить это могут сотрудники специализированных учреждений, где данная группа инструментов применяется.

Анализ технических средств, применяемых экспертом-автотехником, относящихся к третьей группе, показывает, что в основном это программное обеспечение, используемое при производстве отдельных подвидов экспертиз.

В настоящее время развитие всех сфер человеческой деятельности связано с внедрением информационных технологий и использованием компьютерных средств. Это обусловило активное внедрение компьютерных методов и средств в судебно-экспертную деятельность. Е.Р. Россинская выделяет пять направлений внедрения современных информационных технологий в судебную экспертизу. Три направления обуславливают внедрение компьютерной техники в числе технических средств первой и второй групп (используется при составлении заключения, распечатки, копирования и т.д.) [14].

К третьей группе относятся только два направления, по которым происходит внедрение информационных технологий в экспертную практику.

Это направление по созданию программных комплексов либо отдельных программ выполнения вспомогательных расчетов по известным формулам и алгоритмам для использования в автотехнических и др. экспертизах. Также это направление по разработке программных комплексов автоматизированного решения экспертных задач, включающих также подготовку экспертного заключения.

Такие программные комплексы, имеющие иногда очень ограниченное применение, существуют и для исследования дорожно-транспортных происшествий. Применение такого программного обеспечения позволяет значительно повысить эффективность выполняемых работ по решению поставленных задач по двум аспектам:

- количественном плане представляется возможным при одинаковых временных затратах произвести значительно больший объем требуемых расчетов;

- качественном плане применение компьютерных программ уменьшает вероятность ошибок арифметического характера; не маловажным является и то, что современные программы позволяют визуализировать результаты произведенного исследования, что делает возможным представить их в более доступной форме.

Исследование и моделирование механизма ДТП является одной из основанных задач, которые необходимо решать эксперту-автотехнику. Эволюция компьютерных программ этого назначения (относящиеся к техническим средствам третьей группы) рассматривает четыре поколения:

1. применение программируемых калькуляторов;
2. программное обеспечение, при помощи которого имеется возможным производить расчеты и их результаты представить в виде статических иллюстраций (графиков, диаграмм);
3. программы, при помощи которых имеется возможным результаты исследования представить в виде двухмерной анимации (на плоскости);
4. программы с возможностью трехмерной анимации.

В настоящее время в практике автотехнической экспертизы эксперты переходят на работу с программами четвертого поколения.

В Европе есть по существу три компании, поставляющие данное программное обеспечение:

1. CARAT (IbBInformatik GmbH), (CARAT - Computer Assisted Rekonstruction of Accidents in Traffic);
2. PC-CRASH и сопутствующий модуль PC-Rect; (Dr. Steffan Datentechnik, Линц, Австрия);
3. CYBID V-SIM (Краков, Польша).

Все указанные выше программные модули имеют на первый взгляд аналогичную структуру и оболочку. Но в тоже время каждая из программ имеет свои преимущества.

Результаты применения в практике эксперта-автотехника технических средств третьей группы можно проверить, аналогично техническим средствам первых групп. Исключение составляет то, что проверка полученного результата

и проходящего процесса тем же методом или другим занимает длительное время и может быть проведена соответствующими специалистами. Все это не противоречит порядку выбора и использования экспертом применяемых технических средств и отвечает главному требованию - наличию специальных знаний эксперта-автотехника в области науки, техники, искусстве и ремесле.

Стоит уточнить, что применяемые в экспертной практике программные модули предназначены, прежде всего, для подтверждения и визуализации некоторой логической и обоснованной версии, которую эксперт-автотехник должен иметь еще до начала работы с программой. Никакая программа не может заменить эксперта, а предназначена она для того, чтобы с меньшими затратами получить более качественный результат. Использование технических средств не освобождает эксперта от определенных знаний и опыта.

В заключении следует отметить, что все технические средства, применяемые в практике автотехнической экспертизы, не имеют и не могут иметь каких-либо сертификатов, подтверждающих их соответствие определенным требованиям. Это объясняется следующим:

- данные технические средства (инструменты, изделия) не представляют какой-либо опасности для жизни и здоровья людей и, соответственно, на их реализацию и применение не могут быть наложены определенные ограничения;

- результаты работы с техническими средствами, прежде всего, зависят от человеческого фактора, следовательно, никакой сертификат либо рекомендательное письмо не могут взять на себя ответственность за правильность произведенных с помощью того или иного инструмента исследования;

- результаты и процесс применения любых технических средств может быть проверен на любой стадии проведения исследования, а также после проведенного исследования;

- было бы не логично сертифицировать или лицензировать инструменты, которые просто автоматизируют процесс расчета, проводимого по изучаемым в средней школе и высшем учебном заведении законам физики и механики.

На основании проведенного анализа порядка использования технических средств в автотехнической экспертизе можно сказать, что их использование позволяет объективно, качественно и с меньшими временными затратами производить исследование. С развитием технического прогресса применяемые в экспертной практике технические средства будут совершенствоваться в соответствии с необходимостью решения, поставленных перед экспертами задач.

1.3 Обзор программного обеспечения для моделирования и реконструкции ДТП – PC-CRASH

PC-CRASH– программа, разработанная австрийской компанией DSD - Dr. Steffan Datentechnik GmbH - Linz, Austria, которая является комплексом, предназначенным для реконструкции механизма ДТП.

Программа обеспечивает возможность динамического моделирования движения ТС в виде трехмерной модели, динамического моделирования столкновений ТС и динамического изображения реконструированного механизма ДТП в аксонометрической проекции.

PC-CRASH применяет несколько различных моделей расчета, включая импульсно-толчкообразную модель аварии, модель удара на основе жесткости, кинетическую модель для реалистичной имитации траектории движения и простую кинематическую модель для изучения времени и дистанции. Важным достоинством программы является возможность определения скоростей движения ТС перед столкновением (на основании моделирования механизма столкновения) по известным исходным данным:

- месту столкновения;
- взаимному положению ТС в момент столкновения;
- конечным положениям после столкновения;
- режимам движения ТС после столкновения до места остановки.

Расчет столкновения автомобилей в PC-CRASH основывается на гипотезе Кудлиха-Слибара [15]. Стоит отметить, что в 2012 году программа PC-CRASH рекомендована РФЦСЭ (Российский Федеральный Центр Судебной Экспертизы) при Минюсте России к использованию в судебной автотехнической экспертизе.

В программе PC-CRASH нашли применение несколько различных моделей расчёта столкновений: классическая модель удара, а также более совершенные – силовая и сеточная модели столкновения.

Важным преимуществом программы является возможность вести расчёт параметров движения в динамике – с учётом действительных параметров транспортных средств, окружающей среды и управляющих воздействий.

Кроме того, в программе нашли применение и кинематические модули расчёта. Результаты моделирования, полученные при работе с программой PC-CRASH, могут быть представлены как текстовые файлы, содержащие исходные и расчётные данные, а также могут быть выведены на экран в виде диаграмм и таблиц.

Для визуализации служат 2D анимация (вид сверху на рабочий стол) и 3D анимация (пространственный вид). Кроме того, выполненное моделирование можно приложить к экспертному заключению в виде проектного файла

Рассмотрим некоторые функциональные возможности программы PC-CRASH:

- база данных ТС снабжена фотографиями внешнего вида, что позволяет более точно подобрать искомое ТС (рисунок 1.3);

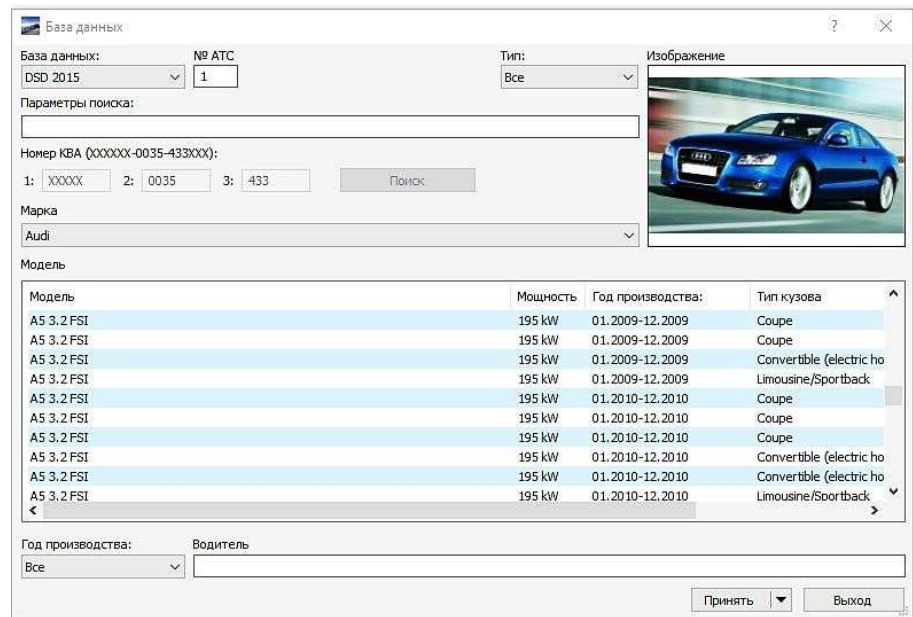


Рисунок 1.3 – Интерфейс базы данных ТС

- доступ через интернет к базе данных ReconData, которая содержит фотографии транспортных средств и других объектов с масштабной линейкой, а также список crash-тестов DSD (рисунок 1.4);



Рисунок 1.4 – Окно базы данных ReconData

- возможность использования масштабных изображений IвВ DXF (опционально) и пространственных форм транспортных средств и других объектов (рисунок 1.5);

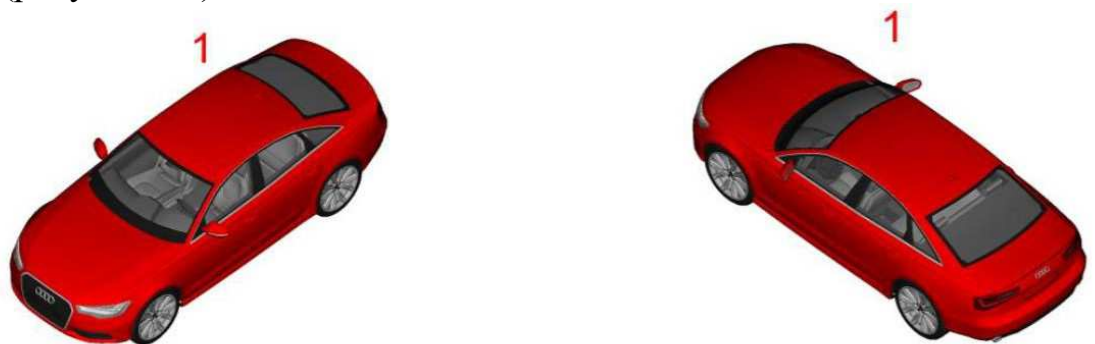


Рисунок 1.5 – Масштабная DXF модель автомобиля Audi

- возможность обработки и применения при моделировании сканированных пространственных поверхностей автотранспортных средств (рисунок 1.6);



Рисунок 1.6 – Применение сканированных поверхностей ТС

- возможность моделирования движения автотранспортных средств, оборудованных системой активной безопасности (АСС);
- возможность выбора модели поведения водителя PIDorFuzzy (рисунок 1.7);

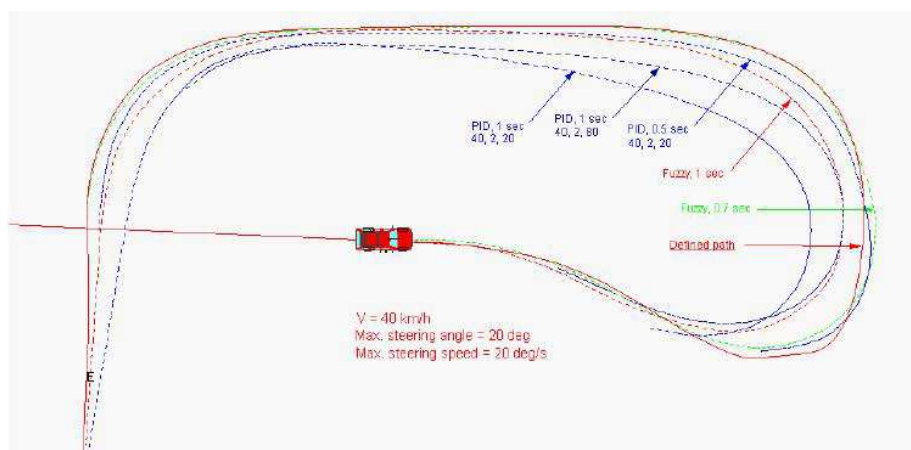


Рисунок 1.7 – Траектории движения ТС при заданной модели поведения водителя

- возможность одновременного моделирования с участием до 32 ТС;
- моделирование движения одиночных автомобилей (в том числе - многоосных) и автомобилей с прицепом (с поворотной или центральной осью, том числе - с эксцентрично расположенным сцепным устройством), или полуприцепом;

- моделирование движения ТС при перевозке подвижного (не закреплённого груза), либо при нарушении крепления груза (рисунок 1.8);

	вперед	назад	поперек	
Показатель крепления k:	1.500	1.500	1.500	N
Нагрузки от ускорений:	39240	24525	24525	N
Силы трения:	9810	9810	9810	N
Удерживающая сила:	29430	14715	14715	N
Сила трения от натяга ремней:	5638	5638	5638	N
Удерживающая сила от фиксации:	0	0	0	N
Удерживающая сила от петель:	0	0	0	N
Необходимая дополнительная сила:	23792	9077	9077	

Рисунок 1.8 – Окно ввода параметров для расчета крепления груза

- расчёт нагрузок на оси транспортного средства (рисунок 1.9);

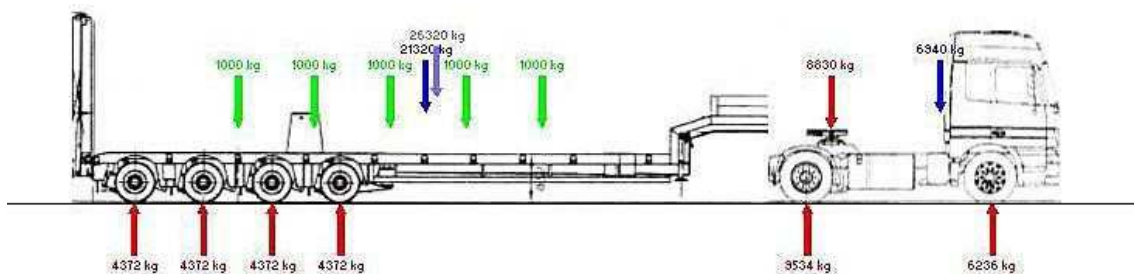


Рисунок 1.9 – Вид сбоку, распределение нагрузки на оси ТС

- расчёт энергетического эквивалента повреждений EES при помощи модуля Crash3;

- учёт, распределение тормозных сил между осями автомобиля (рисунок 1.10);

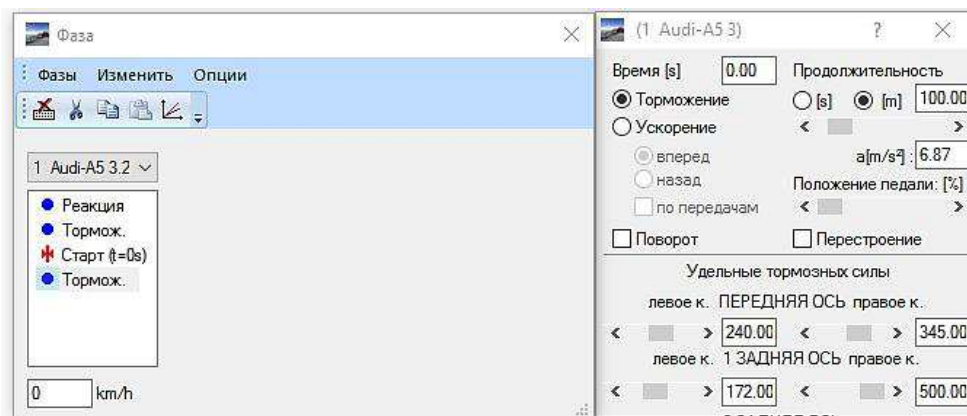


Рисунок 1.10 – Возможность задания параметров для фазы движения

- возможность моделирования движения транспортных средств с системой ABS (AntilockBrakingSystem) и ESP (ElectronicStabilityProgram);
- возможность задания произвольных управляющих воздействий водителя (реагирование, торможение, ускорение, поворот рулевого колеса) как последовательности фаз, в том числе - как функций времени (рисунок 1.11);

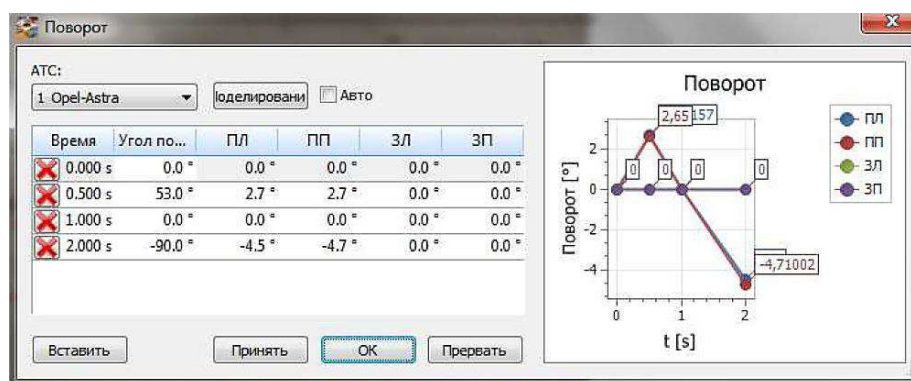


Рисунок 1.11 – Окно задания параметров для управляющих воздействий водителя

- учёт изменения геометрии подвески - поворота и перемещений отдельных колёс;
- использование оптимизатора для определения параметров столкновения ТС;
- возможность задания до 5 промежуточных положений ТС и траектории следов их колёс при использовании оптимизатора;
- определение границ разброса исходных параметров при использовании моделирования с применением метода «MonteCarlo»;
- применение метода отображения импульсов и момента импульсов при исследовании столкновений;
- расширенная трёхмерная классическая модель для исследования столкновений;
- автоматическая идентификация контакта транспортных средств и других объектов;

- автоматизированный расчёт движения транспортных средств и других объектов после столкновений (рисунок 1.12);

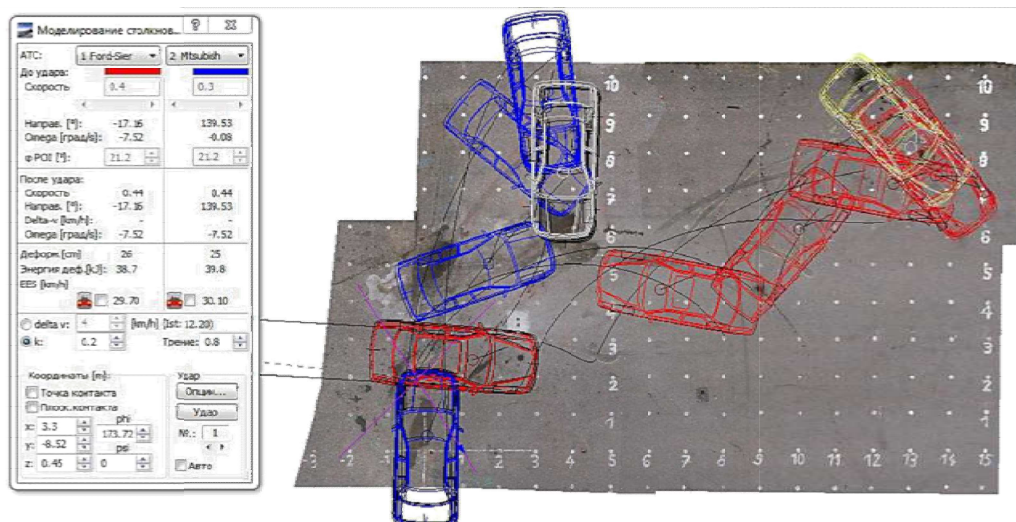


Рисунок 1.12 – Окно моделирования столкновения ТС

- обратный расчёт столкновений;
- моделирование бокового переворота транспортных средств;
- расчёт реального процесса разгона автомобилей с учётом характеристик двигателя и трансмиссии, а также сил сопротивления;
- автоматический расчёт вторичных столкновений, в том числе - с применением силовой модели столкновения;
- окно для бокового вида, с целью сравнения расположения повреждений по высоте;
- применение сеточной (mesh) модели для анализа столкновений, с учётом величины деформаций и изменения жёсткости (рисунок 1.13).

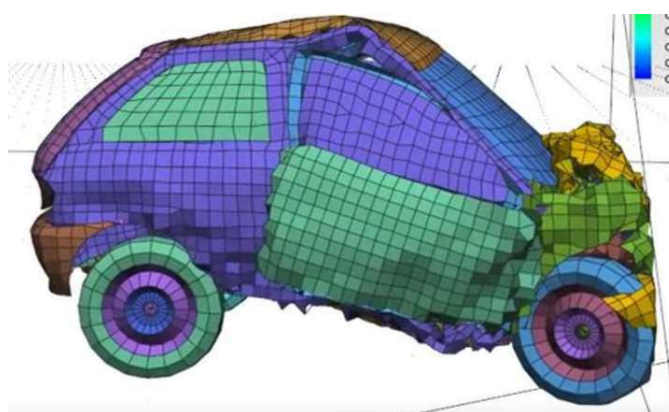


Рисунок 1.13 – Модель столкновения mesh-модели ТС с препятствием

- расчёт относительной скорости движения на основе анализа следов колёс на боковой поверхности кузова другого ТС;
- расчёт параметров колеса;

- возможность изменения изображения ТС в процессе его движения;
- расчёт положения солнца;
- анимация наложений изображений ТС;
- анимация моделирования в плоскости (2D);
- возможность задания локальных поверхностей трения или наклонных поверхностей;
- возможность применения модуля MADYMO (опционально);
- возможность применения двух моделей шин (линейная Linear и нелинейная TM-Easy);

Рассмотрим более подробно, какие входные параметры возможно задавать для моделей шин в рабочем окне программы (рисунок 1.14).

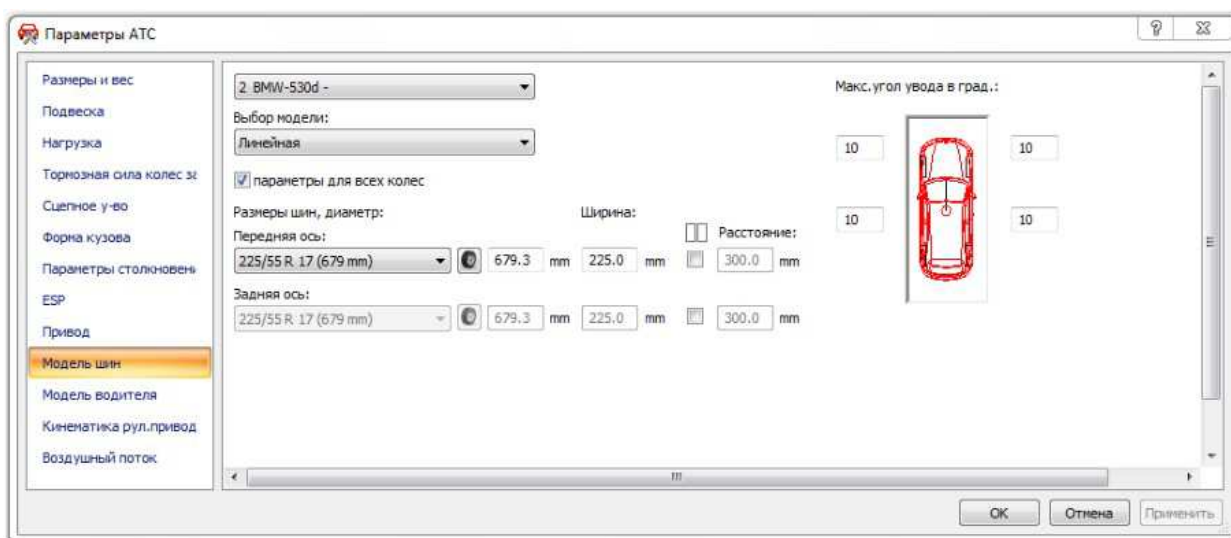


Рисунок 1.14 – Рабочая область вкладки «Модель шин»

Линейная модель шин. При выборе линейной модели необходимо указать значение максимального угла бокового увода:

Максимальный угол бокового увода колеса определяет жесткость шины в боковом направлении. Линейная модель шины означает, что зависимость между боковой силой и углом увода линейная, до достижения максимального значения боковой силы, что соответствует критическому (максимальному) значению угла бокового увода. Обычно значение максимального угла увода составляет около 10° для шин с соотношением высоты шины к ее ширине 70%. Шины с низким профилем будут иметь меньший максимальный угол бокового увода колеса.

Максимальный угол бокового увода колеса (по умолчанию задан 10°) приемлем для коэффициента сцепления, близкого к 1. Если определен иной коэффициент трения, угол увода шины, при котором поперечная сила, действующая на шину, достигает предела, будет изменен соответствующим образом. Различные коэффициенты трения шин не оказывают влияние на жесткость шины, поэтому меньший коэффициент трения приведет к уменьшению максимального угла бокового увода колеса. Например, при максимальном угле бокового увода шины в 10° , на поверхности с

коэффициентом сцепления 0,75, максимальный угол бокового увода колеса будет примерно равен 7,5 ° (рисунок 1.15):

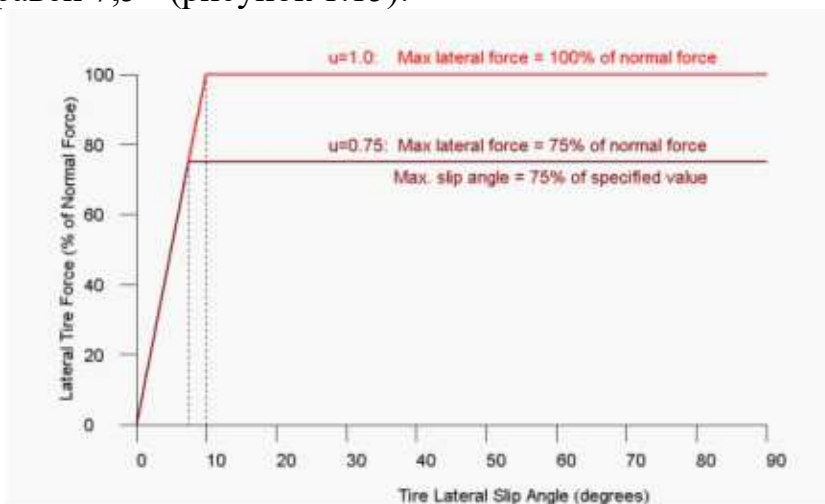


Рисунок 1.15 – К определению максимального угла бокового увода

Модель шин TM-Easy. Модель позволяет задать большее количество параметров по сравнению с линейной моделью (рисунок 1.16):

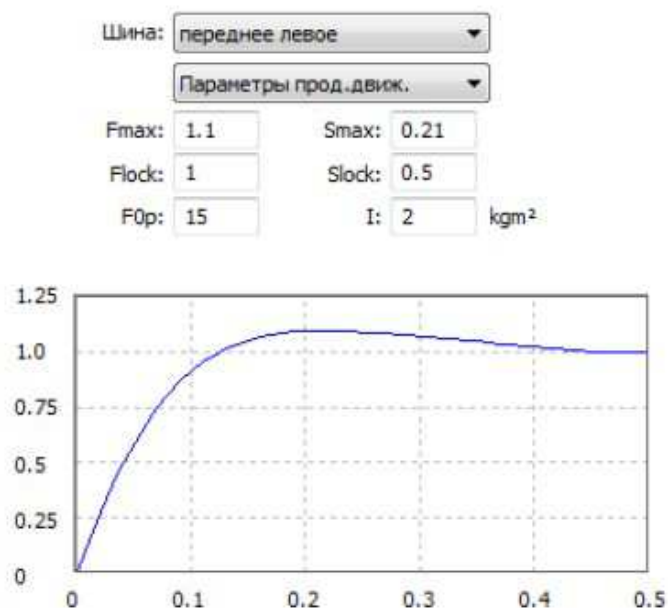


Рисунок 1.16 – Окно ввода параметров для модели шин TM-Easy

Модель шин TM-Easy включает следующие элементы:

Шина:

Из выпадающего списка необходимо выбрать колесо, к шине которого будут применены указанные параметры.

Если активировать опцию «параметры для всех колес», то параметры будут одинаковы для всех колес.

Второй выпадающий перечень позволяет отдельно назначить продольные и боковые параметры для шин.

F_{max} : Максимальное значение коэффициента сцепления.

S_{max} : Величина коэффициента продольного скольжения, при которой имеет место F_{max} .

F_{lock} : Величина коэффициента сцепления заблокированного колеса.

S_{lock} : Величина коэффициента продольного скольжения, при которой имеет место значение F_{lock} .

F_{0p} : Определяет начальный наклон кривой модели шин.

Кинематика в программе PC-Crash:

- моделирование движения в кинематике (диаграммы расстояние, время, скорость, ускорение и т.д.).

- расчёт движения в кинематике.

- обратный кинематический расчёт для определения скорости ТС (рисунок 1.17);

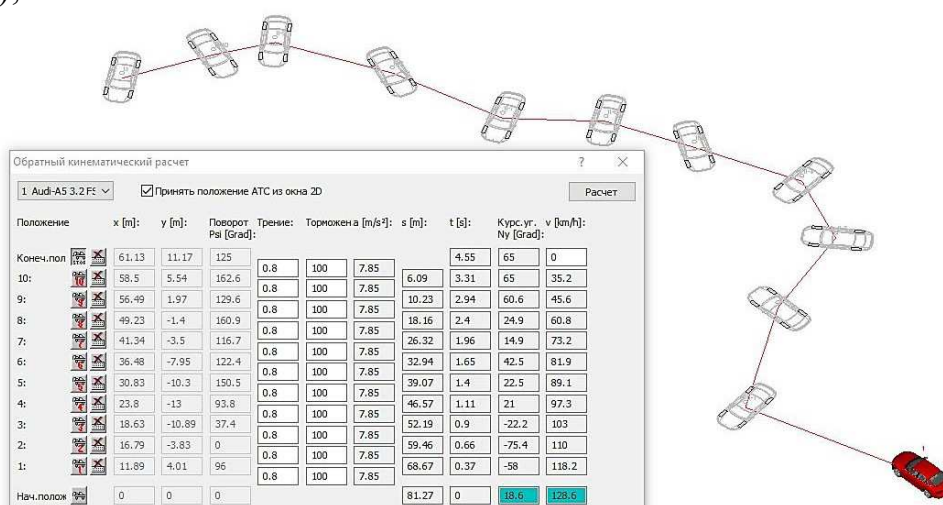


Рисунок 1.17 – Окно обратного кинематического расчета

- моделирование движения по заданной траектории;
 - расчёт технической возможности избежать ДТП;
 - дополнительные модули для кинематического расчёта движения вперёд или назад;

- расчёт наезда на пешехода;

Динамика:

- моделирование движения по заданной траектории;
 - моделирование движения АТС в критических ситуациях;
 - возможность моделирования движения в динамическом режиме в пространстве;

- возможность использования при моделировании данных из пространственного сканера (asc, xyz, rgb формат);

Многомассовые системы:

- возможность применения многомассовых моделей для пешеходов, пассажиров, а также двухколёсных ТС;

- моделирование движения пассажиров в салоне ТС;

Подводя итоги, стоит отметить, что PC-CRASH является современной компьютерной программой для моделирования и реконструкции механизма

ДТП, в которую заложены мощнейшие инструменты, позволяющие определять параметры движения автомобилей до и после столкновения, проводить точный анализ большого разнообразия ДТП и других дорожно-транспортных ситуаций.
[16]

2 Теоретические аспекты анализа динамики движения транспортного средства при внезапном торможении, связанном с повреждением (разгерметизацией) шины

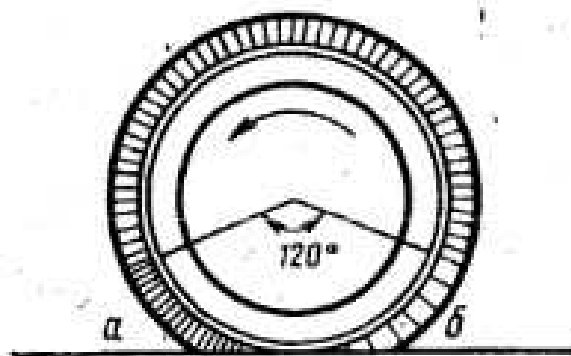
Единственным связующим элементом между автомобилем и дорогой является шина. Шины обеспечивают сцепление колеса с дорожным покрытием, передачу тяговых и тормозных усилий, амортизацию сил, возникающих при наезде на неровности дороги, управляемость и безопасность движения автомобиля, динамичность и плавность его хода, проходимость в различных дорожных условиях, влияют на расход топлива автомобилем и шумообразование.

Пневматические шины ТС в процессе эксплуатации испытывают постоянные статические и динамические нагрузки, вызывающие их деформации различного вида, и в то же время относятся к наиболее дорогим расходным материалам.

При статической нагрузке деформация шины находится в прямо пропорциональной зависимости от загруженности ТС и внутреннего давления воздуха в ней. В результате статической деформации профиль шины уменьшается, увеличивается ширина профиля и площадь контакта с дорогой, а также уменьшается ее радиус.

Радиальная динамическая нагрузка вызывает деформацию шины, перемещающуюся по окружности при качении колеса. Каждый элемент профиля шины за один оборот колеса претерпевает цикл нагружения и разгрузки, так называемые циклические деформации.

Установлено, что для шины ведущего колеса деформация в окружном направлении при действии крутящего момента M_k распространяется приблизительно на 120 градусов (рисунок 2.1) по центральному углу. Как видно из рисунка 2.1 в передней части шины будет наблюдаться сжатие, а при выходе из контакта – растяжение.



а – зона сжатия; б – зона растяжения

Рисунок 2.1 – Окружная деформация шины при передаче крутящего момента

В легковом автомобиле при скорости передвижения 80 км/час каждый участок шины испытывает около 12 циклических деформаций в секунду. Каждая шина при нормальной эксплуатации выдерживает до 25–35 млн. циклических деформаций. По данным многочисленных исследований [17, 18] динамические нагрузки превышают статические в 2-3 раза, а при наезде на препятствия – в 6-8 раз. Установлено, что затраты на шины в процессе эксплуатации автомобиля составляют от 18% до 25% всех эксплуатационных расходов [19, 20, 21].

В следующем подразделе перейдем к разработке математической модели для анализа динамики движения ТС.

2.1 Разработка математической модели для анализа динамики движения ТС при внезапном торможении, связанном с повреждением шины

В процессе эксплуатации занос автомобиля происходит чаще всего при торможении, когда в месте контакта колёс с дорогой действуют большие тормозные реакции, а колёса теряют способность воспринимать боковые силы. При торможении автомобиля сила сцепления задних колёс уменьшается вследствие перераспределения реакций, что также способствует их заносу. В этом случае поперечная составляющая возникшей центробежной силы действует в направлении скольжения заднего моста, увеличивая его. Это вызывает дальнейшее возрастание центробежной силы, в результате чего занос прогрессирует.

Занос часто возникает из-за неодинаковых тормозных моментов на колёсах отдельных осей ТС, что является следствием износа и неправильной регулировки тормозных механизмов, их замасливания или загрязнения.

Так, например, при только одном заторможенном заднем правом колесе (рисунок 2.2, а) автомобиль отклоняется вправо от направления прямолинейного движения.

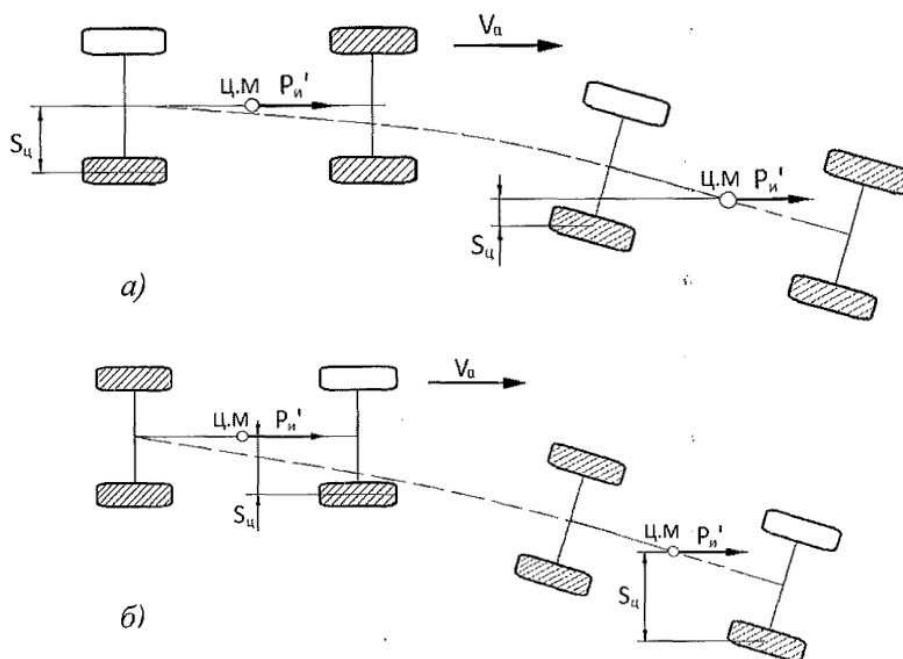


Рисунок 2.2 – Устойчивость автомобиля при торможении: а – заторможено заднее правое колесо; б – заторможено переднее правое колесо

При этом расстояние $S_{Ц}$ от центра масс автомобиля до центра заторможенного колеса сокращается. Уменьшается также и поворачивающий момент $M_{П}$, создаваемый силой инерции $P'_{и}$. При заторможенном только переднем правом колесе расстояние $S_{Ц}$ во время торможения увеличивается (рисунок 2.2, б), что приводит к возрастанию поворачивающего момента и дальнейшему отклонению автомобиля в сторону от направления прямолинейного движения, поэтому неисправность и неравномерность распределения тормозных сил передних тормозных механизмов опаснее, чем задних [22].

Именно поэтому одной из актуальных задач, решаемых при анализе ДТП, является расчет скорости автомобиля на момент внезапного торможения одного из его колес на передней оси. Это позволяет определить динамику дальнейшего движения ТС и техническую возможность водителя предотвратить ДТП [23].

Рассмотрим метод расчета скорости автомобиля на момент внезапного торможения и определение его динамики движения вплоть до полной остановки. Ведь правильный расчет скорости движения ТС позволит получить достоверность восстанавливаемого события, а также материалы для объективного анализа ДТП.

Как известно, боковой занос автомобиля, в момент входа в поворот, вызывает превышение линейной скорости допустимой по боковой устойчивости [24].

Для данной дорожно-транспортной ситуации динамику движения автомобиля на момент бокового заноса определим следующим образом: боковой занос сопровождается линейным перемещением автомобиля в направлении первоначального движения и вращением. При этом суммарную работу трения шин на дороге можно представить следующим выражением:

$$\sum A = A_{вр} + A_{лин}, \quad (1)$$

где $A_{вр}$ – работа трения шин на дороге при вращении автомобиля, кг·м;
 $A_{лин}$ – работа трения шин на дороге при линейном перемещении центра масс (ЦМ) автомобиля, кг·м.

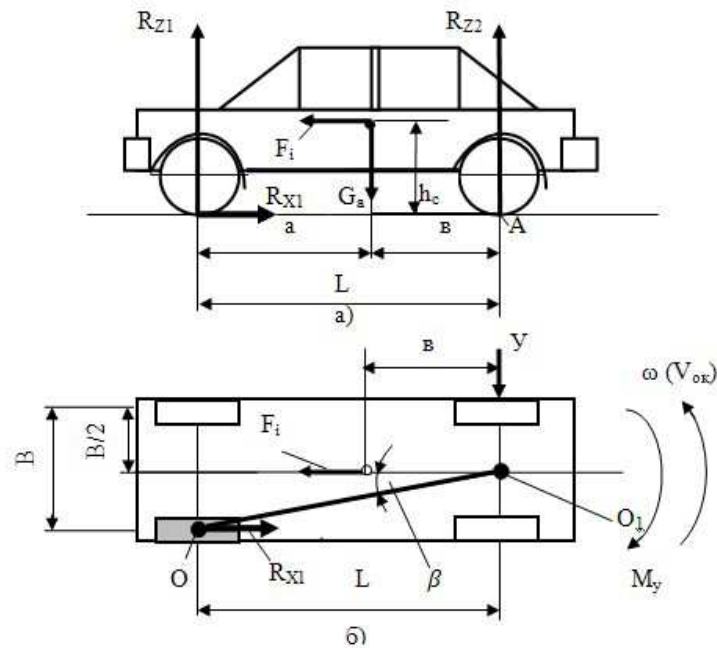
Далее, в подразделах 2.1.1 и 2.1.2 подробно рассмотрим предлагаемые аналитические модели работы трения шин, как при линейном перемещении, так и при вращении ТС.

2.1.1 Аналитическая модель работы трения шин при вращательном движении автомобиля

Работу трения шин при вращении ТС представим следующим образом:

$$A_{ep} = G_a \cdot \varphi_{\delta} \cdot L \cdot \pi \cdot n_{об}, \quad (2)$$

где G_a – вес автомобиля, Н;
 φ_{δ} – коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой [25];
 L – база автомобиля (рисунок 2.3), м;
 $n_{об}$ – число оборотов, совершаемых автомобилем на пути линейного перемещения в сторону первоначального движения, ед.



а – вид сбоку; б – вид в плане; ω – угловая скорость центра задней оси;
 $V_{ок}$ – окружная скорость центра задней оси.

Рисунок 2.3 – Схема сил, действующих на автомобиль при торможении передним левым колесом.

Рассчитаем число оборотов транспортного средства $n_{об}$.

Представим кинетическую энергию вращения автомобиля следующим выражением:

$$W_{ep} = \frac{J \cdot \omega^2}{2}, \quad (3)$$

где J – момент инерции относительно точки O , кг·м²;
 ω – угловая скорость вращения (рисунок 2.3), рад/с.

Где:

$$J = \frac{m_a \cdot L^2}{3 \cdot \cos^2 \beta}, \quad (4)$$

где m_a – масса автомобиля, кг;
 β – угол между осью автомобиля и линией, соединяющей точки O и O_1 (рисунок 2.3).

Тогда выражение (3) примет вид:

$$W_{вр} = \frac{m_a \cdot L^2 \cdot \omega^2}{6 \cdot \cos^2 \beta}. \quad (5)$$

Угловую скорость ω рассчитаем по формуле:

$$\omega = \frac{V_a \cdot \cos(90 - \beta) \cdot \cos \beta}{L} = \frac{V_a \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{L}, \quad (6)$$

где V_a – линейная скорость автомобиля в начальный момент вращения, м/с.

С учетом выражения (6) выражение (5) после преобразования примет вид:

$$W_{вр} = \frac{m_a \cdot V_a^2 \cdot \sin^2 \beta}{6}. \quad (7)$$

Кинетическая энергия вращения переходит в работу трения шин во время поворота вокруг точки O :

$$W_{тр} = G_a \cdot \varphi_{\delta} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{\cos \beta} \cdot n_{об}, \quad (8)$$

где $n_{об}$ – количество оборотов за время линейного перемещения центра масс, ед.

С учетом равенства $W_{вр} = W_{тр}$, получим:

$$\frac{m_a \cdot V_a^2 \cdot \sin^2 \beta}{6} = m_a \cdot g \cdot \varphi_{\delta} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{\cos \beta} \cdot n_{об}. \quad (9)$$

Линейное перемещение точки O на элементарное расстояние dS' за бесконечно малый промежуток времени dt :

$$dS' = V' dt, \quad (10)$$

где V' – скорость линейного перемещения автомобиля, м/с.

При перемещении точки O на элементарное расстояние dS' , точка O_1 опишет бесконечно малую дугу dS :

$$dS = \frac{L}{\cos \beta} \cdot d\gamma, \quad (11)$$

где $d\gamma$ – бесконечно малый угол поворота центра задней оси (точка O_1 ; рисунок 2.3), рад.

Где:

$$d\gamma = \omega \cdot dt. \quad (12)$$

С учетом выражения (12) выражение (11) примет вид:

$$dS = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \omega \cdot dt. \quad (13)$$

Из выражения (10) следует:

$$dt = \frac{dS'}{V'}. \quad (14)$$

С учетом выражения (14) выражение (13) примет вид:

$$dS = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \omega \frac{dS'}{V'}. \quad (15)$$

Проинтегрируем выражение (15):

$$\int dS = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \omega \frac{1}{V'} \int dS'. \quad (16)$$

Получим:

$$S = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \omega \frac{S'}{V'}. \quad (17)$$

Подставим в выражение (17) значение ω из выражения (6), получим:

$$S = \frac{S' \cdot L}{V' \cdot \cos \beta} \cdot \frac{V_a \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{L}. \quad (18)$$

Преобразуем выражение (18), получим:

$$S = \frac{S' \cdot V_a \cdot \sin \beta}{V'} \quad (19)$$

Где:

$$S = \frac{2\pi \cdot L}{\cos \beta} \cdot n_{об} \quad (20)$$

С учетом выражений (19) и (20), получим:

$$\frac{S' \cdot V_a \cdot \sin \beta}{V'} = \frac{2\pi \cdot L}{\cos \beta} \cdot n_{об} \quad (21)$$

Откуда:

$$V_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot V'}{S' \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \cdot n_{об} \quad (22)$$

Подставим значение V_a в выражение (9), получим:

$$\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L^2 \cdot (V')^2 \cdot n_{об}^2 \cdot \sin^2 \beta}{\cos^2 \beta \cdot (S')^2 \cdot \sin^2 \beta \cdot 3} = g \cdot \varphi_6 \cdot \pi \frac{L}{\cos \beta} \cdot n_{об} \quad (23)$$

Преобразуем выражение (23) с учетом:

$$(V')^2 = 2 \cdot S' \cdot j_a \quad (24)$$

Получим:

$$\frac{4 \cdot \pi \cdot L \cdot n_{об} \cdot 2 \cdot S' \cdot j_a}{\cos \beta \cdot (S')^2 \cdot 3} = g \cdot \varphi_6 \quad (25)$$

где j_a – замедление автомобиля при его линейном перемещении, $j_a = \varphi_1 \cdot g$,
 φ_1 – коэффициент продольного сцепления шин с дорогой.

Преобразуем выражение (25) с учетом j_a , получим:

$$\frac{8 \cdot \pi \cdot L \cdot n_{об} \cdot g \cdot \varphi_1}{\cos \beta \cdot S' \cdot 3} = g \cdot \varphi_6 \quad (26)$$

С учетом выражения (26), получим:

$$n_{об} = \frac{3 \cdot \varphi_6 \cdot \cos \beta \cdot S'}{8 \cdot \pi \cdot L \cdot \varphi_1} \quad (27)$$

где S' – линейное перемещение центра масс автомобиля от начала бокового заноса до полной остановки транспортного средства, м.

Преобразуем выражение (2) с учетом выражения (27), получим:

$$A_{\text{сп}} = G_a \cdot \varphi_{\sigma} \cdot S' \cdot 0,375 \cdot \frac{\varphi_{\sigma}}{\varphi_1} \cdot \cos \beta. \quad (28)$$

В конечном итоге, выведена формула работы трения шин с учетом линейного перемещения ЦМ автомобиля (28), которая будет применена в дальнейших математических выводах (операциях), в подпункте 2.1.2.

2.1.2 Аналитическая модель работы трения шин при линейном движении автомобиля

Работу трения шин при линейном перемещении автомобиля представим следующим образом:

$$A_{\text{лин}} = G_a \cdot \varphi_{\sigma} \cdot S'. \quad (29)$$

С учетом выражений (28) и (29) преобразуем выражение (2) в следующий вид:

$$\sum A = G_a \cdot \varphi_{\sigma} \cdot S' \cdot (0,375 \cdot \frac{\varphi_{\sigma}}{\varphi_1} \cdot \cos \beta + 1). \quad (30)$$

Откуда выразим динамику движения автомобиля на момент бокового заноса:

$$V_a = \sqrt{\frac{2 \left[G_a \cdot \varphi_{\sigma} \cdot S' \cdot (0,375 \cdot \frac{\varphi_{\sigma}}{\varphi_1} \cdot \cos \beta + 1) \right]}{m_a}}. \quad (31)$$

Продолжительность процесса движения автомобиля от момента внезапного торможения до его полной остановки рассчитаем по нижеприведенной формуле:

$$\sum t = t_{\text{пов}} + t_{\text{зам.л}} + t_{\text{пост.сп}}, \quad (32)$$

где $t_{\text{пов}}$ – время поворота автомобиля относительно точки O (см. рисунок 2.3) на угол α (рисунок 2.4) за счет торможения передним левым колесом, с;

$t_{зам.л}$ – время линейного перемещения центра масс автомобиля от момента бокового заноса до его полной остановки, с;

$t_{пост.вр}$ – время, затрачиваемое на вращение автомобиля при его поступательном перемещении, с.

На рисунке 2.4 показан угол отклонения линии, соединяющей место контакта шины переднего левого колеса и дороги с центром задней оси при повороте автомобиля в момент торможения передним левым колесом.

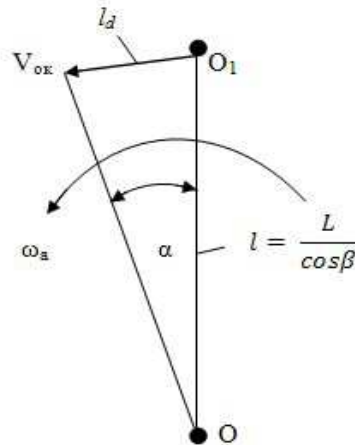


Рисунок 2.4 – Схема отклонения центра задней оси автомобиля относительно контакта шины переднего левого колеса с дорогой

Из рисунка следует:

$$\frac{F_i \cdot B}{2} = \frac{J \cdot \omega_a^2}{2}, \quad (33)$$

где F_i – сила инерции в момент торможения передним левым колесом (рисунок 2.3), кг;

B – колея колес передней оси автомобиля, м

J – момент инерции относительно точки O (рисунок 2.3), кг·м²;

ω_a – угловая скорость поворота автомобиля (рисунок 2.4), рад/с.

Преобразуем правую часть выражения (33), получим:

$$\frac{J \cdot \omega_a^2}{2} = \frac{m_a \cdot l^2 \cdot \omega_a^2}{6}, \quad (34)$$

Где:

$$\omega_a = \frac{\alpha}{t_{пост.вр}}. \quad (35)$$

Тогда выражение (33) примет вид:

$$\frac{F_i \cdot B}{2} = \frac{m_a \cdot L^2 \cdot \alpha^2}{6 \cdot \cos^2 \beta \cdot t_{\text{ноб}}^2}, \quad (36)$$

Длина дуги l (рисунок 2.4) может быть выражена одним из следующих равенств:

$$V_{\text{ок}} \cdot t_{\text{ноб}} = l \cdot \alpha = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \alpha, \quad (37)$$

где $V_{\text{ок}}$ – окружная скорость центра задней оси автомобиля, м/с.

Откуда:

$$t_{\text{ноб}} = \frac{L}{\cos \beta \cdot V_{\text{ок}}} \cdot \alpha. \quad (38)$$

С учетом выражения (38) выражение (36) примет вид:

$$\frac{F_i \cdot B}{2} = \frac{m_a \cdot V_{\text{ок}}^2}{6}. \quad (39)$$

Откуда:

$$V_{\text{ок}} = \sqrt{\frac{3 \cdot F_i \cdot B}{m_a}}. \quad (40)$$

Где:

$$F_i = m_a \cdot j_T \cdot \delta, \quad (41)$$

где j_T – замедление автомобиля при торможении передним левым колесом, м/с²;
 δ – коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс автомобиля,

$$\delta = 1 + \sigma_1 \cdot u_{\text{кп}}^2 + \sigma_2, \quad (42)$$

где $u_{\text{кп}}$ – передаточное число редуктора гидромеханической передачи.

Для гидромеханической трансмиссии автомобиля:

$$\sigma_1 = \frac{J_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot k_{\text{зм}}}{m_a \cdot r_k^2} \cdot \frac{d\omega_n}{d\omega_m}, \quad (43)$$

где $J_{\text{дв}}$ – момент инерции вращающихся частей двигателя и механически связанных с ним частей трансмиссии, кг·м²;

$\eta_{\text{тр}}$ – К.П.Д. трансмиссии;

$k_{\text{зм}}$ – коэффициент трансформации;

ω_n, ω_m – угловая скорость вращения соответственно валов насоса и турбины, с⁻¹;

r_k – радиус качения колеса, м;

$$\sigma_2 = \frac{\sum J_k}{m_a \cdot r_k^2}, \quad (44)$$

где $\sum J_k$ – суммарный момент инерции колес автомобиля, кг·м².

$$j_T = \frac{v \cdot g \cdot \varphi_l}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_l)}. \quad (45)$$

где φ_l – коэффициент продольного сцепления шины с дорогой.

С учетом выражения (41), выражение (40) будет иметь вид:

$$V_{\text{ок}} = \sqrt{3 \cdot j_T \cdot \delta \cdot B}, \quad (46)$$

Подставив выражение (46) в выражение (38), получим:

$$t_{\text{нов}} = \frac{L \cdot \alpha}{\cos \beta} \cdot \sqrt{\frac{I}{3 \cdot j_T \cdot \delta \cdot B}}, \quad (47)$$

Где угол α [26]:

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_6 \cdot L} \cdot \frac{v \cdot \varphi_l}{(2L - h_c \cdot \varphi_l)}. \quad (48)$$

Тогда время поворота с учетом выражения (45) и (48) будет иметь вид:

$$t_{\text{нов}} = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \sqrt{\frac{I}{3 \cdot \frac{b \cdot g \cdot \varphi_l}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_l)} \cdot \delta \cdot B}} \cdot \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_6 \cdot L} \cdot \frac{v \cdot \varphi_l}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_l)}. \quad (49)$$

Время перемещения центра масс автомобиля от момента бокового заноса до его полной остановки определим с учетом линейной скорости:

$$V_{лин} = \sqrt{\frac{2 \cdot G_a \cdot \varphi_0 \cdot S'}{m_a}}. \quad (50)$$

Откуда время линейного перемещения центра масс автомобиля:

$$t_{зам.л} = \frac{S'}{\sqrt{\frac{2 \cdot G_a \cdot \varphi_0 \cdot S'}{m_a}}}. \quad (51)$$

Время, затрачиваемое на вращение автомобиля при его поступательном перемещении:

$$t_{пост.вр} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{V_a \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \cdot n_{об}. \quad (52)$$

С учетом выражения (27) преобразуем выражение (52), получим:

$$t_{пост.вр} = 0,75 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot S'}{\varphi_1 \cdot V_a \cdot \sin \beta}. \quad (53)$$

Тогда продолжительность процесса движения автомобиля от начала поворота до его полной остановки в конце перемещения будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \sum t = & \frac{L}{\cos \beta} \cdot \sqrt{\frac{l}{3 \cdot \frac{e \cdot g \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} \cdot \delta \cdot B}} \cdot \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_0 \cdot L} \cdot \frac{e \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} + \\ & + \frac{S'}{\sqrt{\frac{2 \cdot G_a \cdot \varphi_0 \cdot S'}{m_a}}} + 0,75 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot S'}{\varphi_1 \cdot V_a \cdot \sin \beta}. \end{aligned} \quad (54)$$

В данном разделе разработана математическая модель для анализа динамики движения при линейном и вращательном движении автомобиля, в случае внезапного торможения переднего левого колеса.

3 Методики теоретических и экспериментальных исследований

В данном разделе приведены методики определения параметров движения ТС в момент внезапной разгерметизации шины переднего левого колеса и последующим боковым заносом с учетом перемещения ЦМ.

Методика в научном понимании – нечто иное, как конкретные приемы, средства получения и обработки фактического материала. Она производна от методологических принципов и основана на них.

3.1 Планирование экспериментов, обоснование исходных данных

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов (физических или расчетных), необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

В качестве исходного ТС при проведении исследований используем легковой автомобиль категории M_1 в кузове седан, с классическим задним приводом.

Для решения поставленной задачи исследования динамики ТС при внезапной разгерметизации шины зададимся исходными данными, которые сформируем в таблицу 3.1, представленную далее по тексту.

Таблица 3.1 – Исходные данные для проведения исследований

Обозначение	Исходный параметр в математической модели	Исходный параметр в ПО PC-CRASH	Значение
–	<i>Отсутствует</i>	Изменение геометрии подвески переднего левого колеса	-0,12
m_a	Масса ТС в снаряженном состоянии	Масса ТС + масса водителя	1535
G_a	Вес ТС в снаряженном состоянии	<i>Не задается</i>	15053,22
L	Колесная база ТС	Расстояние от 1-ой до 2-ой оси	2,78
B	Колея передней и задней оси ТС	Колея 1, колея 2	1,5
φ_1	Коэффициент сцепления шин в продольном направлении (асфальт: сухой, средне изношенный) [27]	F_{\max} продольное движение	0,7
φ_6	Коэффициент сцепления шин в поперечном направлении (асфальт: сухой, средне изношенный) [27]	F_{\max} поперечное движение	0,35
φ_2	Коэффициент сцепления шин в продольном направлении (бетон: мокрый, средне изношенный) [27]	<i>Не задается</i>	0,6
φ_{62}	Коэффициент сцепления шин в поперечном направлении (бетон: мокрый, средне изношенный) [27]	<i>Не задается</i>	0,25
φ_3	Коэффициент сцепления шин в продольном направлении (гравийное покрытие: мокрое, укатанное) [27]	<i>Не задается</i>	0,5
φ_{63}	Коэффициент сцепления шин в поперечном направлении (гравийное покрытие: мокрое, укатанное) [27]	<i>Не задается</i>	0,15

Окончание таблицы 3.1

β	Угол между центром задней оси и точкой контакта переднего левого колеса	<i>Отсутствует</i>	0,244
l	Расстояние от точки пятна контакта левого колеса передней оси до центра оси задней пары колес	<i>Отсутствует</i>	2,81
v	Расстояние от ЦМ до задней оси	Расст. от перед. оси до ЦМ	1,39
h_c	Высота центра масс	Высота ЦМ	0,6
g	Ускорение свободного падения	<i>Не задается</i>	9,81

Прочие входные параметры, не вошедшие в перечень таблицы 3.1, но крайне важные для процесса моделирования дорожно-транспортной ситуации в программе PC-CRASH, рассчитываются при помощи методики, разработанной для которой посвящен следующий подраздел данной работы.

3.2 Методика выполнения эксперимента с использованием разработанной математической модели

На основе разработанной математической модели для анализа динамики движения ТС, приведенной в разделе 2.1.1 – 2.1.2 данной работы, сформируем методику расчетного определения параметров динамики ТС на момент возникновения опасной дорожно-транспортной ситуации.

В таблицах 3.1 – 3.19 приведены входные параметры и расчетные формулы, которые описывают происходящий процесс от момента начала бокового заноса ТС до его полной остановки.

Последовательным применением входных параметров и формул в таблицах 3.2 – 3.19 достигается определение значений параметров движения ТС при внезапной разгерметизации шины.

Таблица 3.2 – Момент инерции ТС относительно пятна контакта шины с дорожным покрытием

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$J, \text{кг}\cdot\text{м}^2$	$J = \frac{m_a \cdot L^2}{3 \cdot \cos^2 \beta}$	–

Таблица 3.3 – Количество оборотов, совершаемых ТС за полное время процесса перемещения ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$n_{об}, \text{ед.}$	$n_{об} = \frac{3 \cdot \varphi_6 \cdot \cos \beta \cdot S'}{8 \cdot \pi \cdot L \cdot \varphi_1}$	0,2 – 1,9

Таблица 3.4 – Замедление ТС при торможении передним левым колесом

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$j_T, \text{м}/\text{с}^2$	$j_T = \frac{v \cdot g \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)}$	–

Таблица 3.5 – Коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
δ	$\delta = I + \sigma_1 \cdot u_{kn}^2 + \sigma_2,$	–

Таблица 3.6 – Угол отклонения линии, соединяющей место контакта шины переднего левого колеса и дороги с центром задней оси при повороте ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$\alpha, град$	$\alpha = \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_0 \cdot L} \cdot \frac{v \cdot \varphi_1}{(2L - h_c \cdot \varphi_1)}$	–

Таблица 3.7– Сила инерции в момент торможения передним левым колесом (из-за внезапной разгерметизации)

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$F_i, Н$	$F_i = m_a \cdot j_T \cdot \delta,$	–

Таблица 3.8 – Окружная скорость центра задней оси ТС в начальный момент времени

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$V_{ок}, м/с$	$V_{ок} = \sqrt{3 \cdot j_T \cdot \delta \cdot B}$	–

Таблица 3.9 – Кинетическая энергия, затрачиваемая на вращение ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$W_{ep}, кг \cdot м$	$W_{ep} = \frac{m_a \cdot V_a^2 \cdot \sin^2 \beta}{6}$	1211,5 – 10903,4

Таблица 3.10 – Работа трения шин ТС относительно точки пятна контакта шины переднего левого колеса с дорожным покрытием

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$W_{mp}, Н \cdot м$	$W_{mp} = G_a \cdot \varphi_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{\cos \beta} \cdot n_{об},$	19757,4 – 177816,2

Таблица 3.11 – Работа трения шин при вращательном перемещении ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$A_{ep}, Н \cdot м$	$A_{ep} = G_a \cdot \varphi_0 \cdot S' \cdot 0,375 \cdot \frac{\varphi_0}{\varphi_1} \cdot \cos \beta$	9586,1 – 86274,6

Таблица 3.12 – Работа трения шин при линейном перемещении ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$A_{лин}, Н·м$	$A_{лин} = G_a \cdot \varphi_{\delta} \cdot S'$	52686,3 – 474176,5

Таблица 3.13 – Работа трения, совершаемая шинами, как при линейном перемещении, так и при вращении ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$\sum A, Н·м$	$\sum A = G_a \cdot \varphi_{\delta} \cdot S' \cdot (0,375 \cdot \frac{\varphi_{\delta}}{\varphi_1} \cdot \cos \beta + 1)$	62272,3 – 560451,1

Таблица 3.14 – Скорость движения ТС на момент начала бокового заноса

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$V_a, м/с$	$V_a = \sqrt{\frac{2 \left[G_a \cdot \varphi_{\delta} \cdot S' \cdot (0,375 \cdot \frac{\varphi_{\delta}}{\varphi_1} \cdot \cos \beta + 1) \right]}{m_a}}$	9,0 – 27,0

Таблица 3.15 – Угловая скорость центра задней оси ТС в начальный момент времени

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$\omega, рад/с$	$\omega = \frac{V_a \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{L}$	0,8 – 2,3

Таблица 3.16 – Время поворота ТС на угол, соответствующий углу α

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$t_{нов}, с$	$t_{нов} = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \sqrt{\frac{l}{3 \cdot \frac{b \cdot g \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} \cdot \delta \cdot B}} \cdot \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_{\delta} \cdot L} \cdot \frac{v \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)}$	–

Таблица 3.17 – Время линейного перемещения ЦМ ТС

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$t_{зам.л}, с$	$t_{зам.л} = \frac{S'}{\sqrt{\frac{2 \cdot G_a \cdot \varphi_{\delta} \cdot S'}{m_a}}}$	1,2 – 3,6

Таблица 3.18 – Время, затрачиваемое на вращение ТС при его поступательном перемещении

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$t_{пост.сп}, c$	$t_{пост.сп} = 0,75 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot S'}{\varphi_1 \cdot V_a \cdot \sin \beta}$	1,7 – 5,2

Таблица 3.19 – Продолжительность процесса движения ТС от момента начала внезапного торможения (разгерметизации шины) до полной остановки

Обозначение, единица измерения	Расчетная формула	Диапазон варьирования переменной
$\sum t, c$	$\sum t = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \sqrt{\frac{l}{3 \cdot \frac{v \cdot g \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} \cdot \delta \cdot B} \cdot \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_0 \cdot L}}$ $\cdot \frac{v \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} + \frac{S'}{\sqrt{\frac{2 \cdot G_a \cdot \varphi_0 \cdot S'}{m_a}}} + 0,75 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot S'}{\varphi_1 \cdot V_a \cdot \sin \beta}$	3,1 – 8,9

Из таблиц 3.2 – 3.19 отчетливо наблюдается, что диапазон результирующих значений того или иного параметра варьируется в зависимости от расстояния перемещения ЦМ ТС, начиная от S'_1 и заканчивая S'_9 , с шагом равным 10 метрам. Прочерк в третьем столбце таблицы указывает на отсутствие диапазона – это значит параметр не является функцией от пути перемещения ЦМ автомобиля.

3.3 Методика выполнения эксперимента с использованием программного обеспечения PC-CRASH

С целью проверки достоверности результатов исследования, которые будут получены аналитическим методом расчета параметров ТС, перейдем к рассмотрению алгоритма, основанного на компьютерном моделировании, в интерфейсе программы для анализа и моделирования ДТП – PC-CRASH:

Первым шагом, загружаем ТС:

Для загрузки стандартного транспортного средства используем встроенную базу данных ТС, заложенную в ПО (через последовательность: «АТС – База данных»).

Проводим проверку и корректировку параметров ТС:

Через последовательность «АТС – Параметры АТС» открываем необходимый раздел настроек и корректируем значения входных параметров в соответствии с исходными данными. Перечень разделов представлен ниже:

1. «Размеры и вес». В данном окне программы необходимо следующие входные параметры ТС:

- Масса, m_a ;
- Колесная база, L ;

- Колея передних, задних колес, B ;
- Расстояние от ЦМ до задней оси, e ;
- Высота ЦМ, h_c ;
- Момент инерции относительно оси Z , F_i ;

2. «Нагрузка». В данном разделе указывается нагрузка на ТС, будь то водитель, пассажиры и (или) перевозимый груз. В соответствии с ГОСТ 33987-2016 «Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы определения» [28] масса водителя составляет 75 кг.

3. «Модель шин». В открывшемся окне, необходимо выбрать конкретную модель шин, применяемую к нашему автомобилю и настроить параметры F_{max} и F_{lock} для каждого колеса как в продольном, так и поперечном направлении.

Затем, задаем опции и фазы движения для ТС через последовательность «Моделирование – Фазы движения»:

1) *Реакция.*

Данная фаза представляет собой отрезок движения ТС или другого объекта в течение заданного времени или на определенном расстоянии.

2) *Изменение геометрии подвески.*

Данная опция позволяет принять в учет изменение геометрии подвески в начальный момент времени перемещения ТС.

Если быть конкретнее, опция находит применение для моделирования перемещения колеса в вертикальном направлении, например, при разгерметизации шины.

3) *Торможение.*

Данная фаза представляет собой отрезок движения ТС с постоянным замедлением, параметры которого можно изменять в зависимости от исходных данных для моделирования, сюда относятся:

- Время нарастания замедления;
- Продолжительность (длительность фазы в метрах или в секундах);
- Максимальное значение продольной силы для конкретного колеса ТС.

Задаем исходные данные для моделирования динамики ТС:

Через последовательность: «Моделирование – Исходные данные» в данном диалоговом окне задаем:

- Месторасположение на проезжей части;
- Значение поступательной скорости ТС, а также соответствующее ему, значение угловой скорости ТС (в окно программы заводятся значения, рассчитанные путем применения аналитического подхода);
- Направление движения объекта моделирования.

После того, как все исходные параметры для моделирования заданы и введены в соответствующие поля ПО запускаем моделирование дорожно-транспортной ситуации через последовательность: «Моделирование – Расчет – Моделирование вперед до конечного положения». В результате, получаем численные значения параметров моделирования, таких как: «Время перемещения» и «Начальная скорость».

Данную операцию моделирования производим девять раз с соответствующими исходными данными, так как в соответствии с одним из условий, расстояние перемещения ТС ($S'_{n=1...9}$) изменяется в пределах от 10 до 90 метров, то есть с каждым шагом моделирования увеличивается на 10 метров.

После девяти проведенных итераций результаты компьютерных исследований сводятся в итоговую таблицу.

4 Результаты исследований

В данном разделе приведены результаты аналитического расчета параметров динамики движения ТС в условиях дорожно-транспортной ситуации, заложенных в рамках разработанной модели.

Аналитические расчеты были подвергнуты проверке при помощи метода компьютерного моделирования в среде программы PC-CRASH. Это позволило сравнить полученные результаты вычислений с данными моделирования и обосновать возможность применения предложенной аналитической модели в практике автотехнических экспертиз.

4.1 Результаты аналитических исследований

С целью получить представление всего процесса перемещения автомобиля, с точки зрения теоретического подхода, по методике, приведенной в подразделе 3.2 данной работы, рассчитаем ряд основных параметров динамики ТС. Исходные данные для выполнения расчетов возьмем из таблицы 3.1 подраздела 3.1 данной работы.

Произведем расчеты, а полученные данные сведем в таблицы 4.1 – 4.18.

Таблица 4.1 – Момент инерции ТС относительно пятна контакта шины с дорожным покрытием

Расчетная формула	Единица измерения	Значение
$J = \frac{m_a \cdot L^2}{3 \cdot \cos^2 \beta}$	кг·м ²	4199,5

Таблица 4.2 – Количество совершаемых оборотов ТС за процесс перемещения

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		S'	$n_{об}$
$n_{об} = \frac{3 \cdot \varphi_6 \cdot \cos \beta \cdot S'}{8 \cdot \pi \cdot L \cdot \varphi_1}$	ед.	10	0,2
		20	0,4
		30	0,6
		40	0,8
		50	1,0
		60	1,3
		70	1,5
		80	1,7
		90	1,9

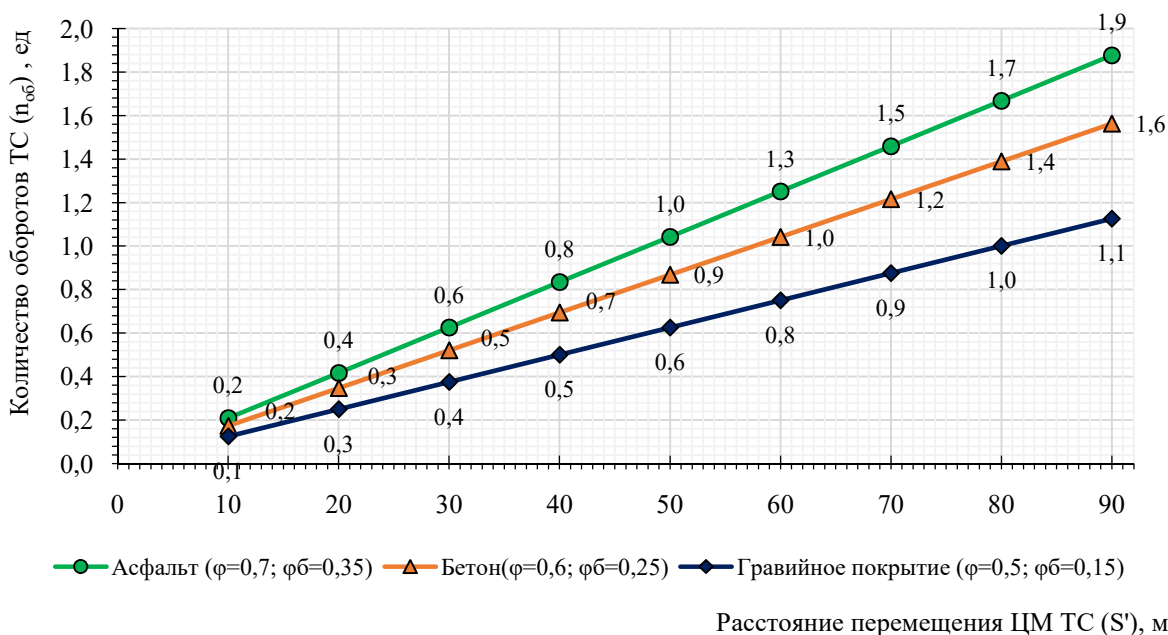


Рисунок 4.1 – Зависимость количества оборотов ТС ($n_{об}$) от расстояния перемещения ТС (S') при различных типах дорожной поверхности

Из рисунка 4.1 видно, что количество оборотов автомобиля (вращательных движений кузова относительно центра масс автомобиля (ЦМА)) находится в линейной зависимости от расстояния перемещения ЦМА и напрямую зависит от типа дорожной поверхности. Так, например, при максимальном расстоянии удаления 90 м и коэффициенте бокового сцепления шин с дорожной поверхностью $\varphi_{\sigma} = 0,35$, автомобиль за весь процесс перемещения совершит приблизительно на 0,75 оборота больше по сравнению с гравийным покрытием.

Таблица 4.3 – Замедление ТС при торможении передним левым колесом

Расчетная формула	Единица измерения	Значение
$j_T = \frac{v \cdot g \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)}$	m/c^2	1,87

Таблица 4.4 – Коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс ТС

Расчетная формула	Единица измерения	Значение
$\delta = 1 + \sigma_1 \cdot u_{кн}^2 + \sigma_2,$	–	1,03

Таблица 4.5 – Угол отклонения линии, соединяющей место контакта шины переднего левого колеса и дороги с центром задней оси при повороте ТС

Расчетная формула	Единица измерения	Значение
$\alpha = \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_{\sigma} \cdot L} \cdot \frac{v \cdot \varphi_1}{(2L - h_c \cdot \varphi_1)}$	градус	8,4

Таблица 4.6 – Сила инерции в момент торможения передним левым колесом

Расчетная формула	Единица измерения	Значение

$F_i = m_a \cdot j_T \cdot \delta,$	H	2956
-------------------------------------	-----	------

Таблица 4.7 – Окружная скорость центра задней оси ТС в начальный момент времени

Расчетная формула	Единица измерения	Значение
$V_{ок} = \sqrt{3 \cdot j_T \cdot \delta \cdot B}$	м/с	2,9

Таблица 4.8 – Кинетическая энергия, затрачиваемая на вращение ТС

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		V_a	$W_{вр}$
$W_{вр} = \frac{m_a \cdot V_a^2 \cdot \sin^2 \beta}{6}$	кДж	9,0	1211,5
		12,7	2423,0
		15,6	3634,5
		18,0	4845,9
		20,1	6057,4
		22,1	7268,9
		23,8	8480,4
		25,5	9691,9
		27,0	10903,4

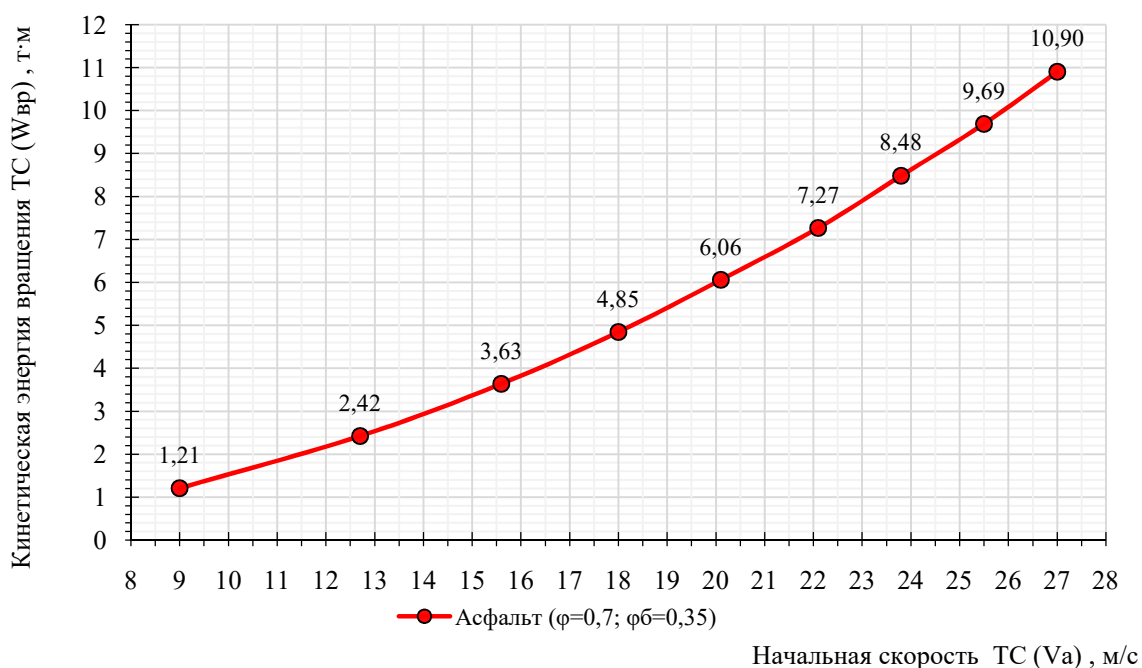


Рисунок 4.2 – Зависимость кинетической энергии вращения ТС ($W_{вр}$) от начальной скорости (V_a)

Из рисунка 4.2 видно, что кинетическая энергия вращения прямо пропорциональна квадрату скорости автомобиля. При этом в каждой заданной точке значения скорости $V_{an=1...9}$ кинетическая энергия вращения увеличивается приблизительно на 1,2 т·м.

При скорости ТС 27 м/с (97 км/ч) кинетическая энергия вращения ТС в конечном положении его ЦМ достигает 10,9 т·м, в то время как при скорости 9 м/с (32 км/ч) – 1,21 т·м, что составляет разницу приблизительно 9,69 т·м.

отношению ко всему интервалу изменения начальной скорости автомобиля от V_{a1} до V_{a9} .

Таблица 4.9 – Работа трения шин во время поворота вокруг точки O – пятна контакта шины переднего левого колеса с дорожным покрытием (см. рисунок 2.3)

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		$n_{об}$	$W_{тр}$
$W_{тр} = G_a \cdot \varphi_6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{\cos \beta} \cdot n_{об},$	Н·м	0,2	19757,4
		0,4	39514,7
		0,6	59272,1
		0,8	79029,4
		1,0	98786,8
		1,3	118544,1
		1,5	138301,5
		1,7	158058,8
		1,9	177816,2

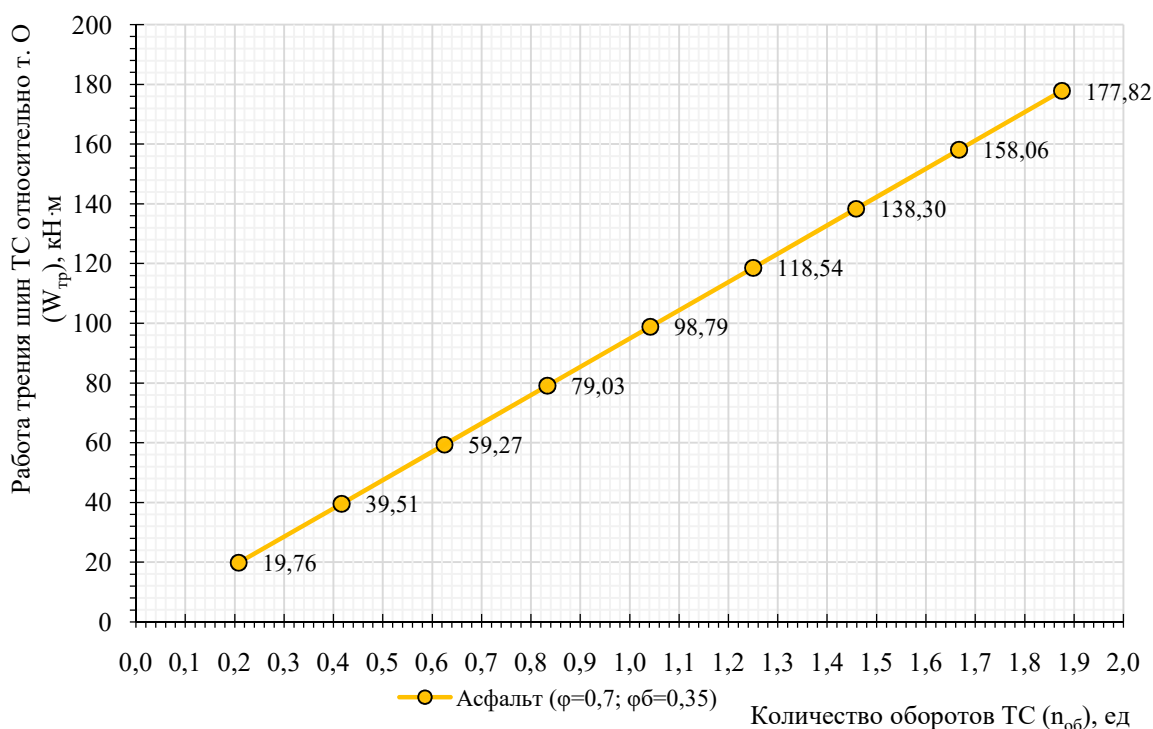


Рисунок 4.3 – Зависимость работы трения шин ($W_{тр}$) относительно поворота вокруг точки O от количества совершаемых оборотов ($n_{об}$) ТС

Как видно из рисунка 4.3, работа трения шин на сухом средне изношенном асфальте находится в линейной зависимости от количества оборотов, совершаемых ТС и возрастает прямо пропорционально им.

За весь процесс перемещения работа трения шин автомобиля, как функция от количества оборотов $n_{об}$, увеличивается с 19,76 кН·м до 177,82 кН·м, то есть в 8,99 раз.

Таблица 4.10 – Работа трения шин на дороге при вращении автомобиля

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		S'	A_{ep}
$A_{ep} = G_a \cdot \varphi_0 \cdot S' \cdot 0,375 \cdot \frac{\varphi_0}{\varphi_1} \cdot \cos \beta$	Н·м	10	9586,1
		20	19172,1
		30	28758,2
		40	38344,3
		50	47930,3
		60	57516,4
		70	67102,5
		80	76688,5
		90	86274,6

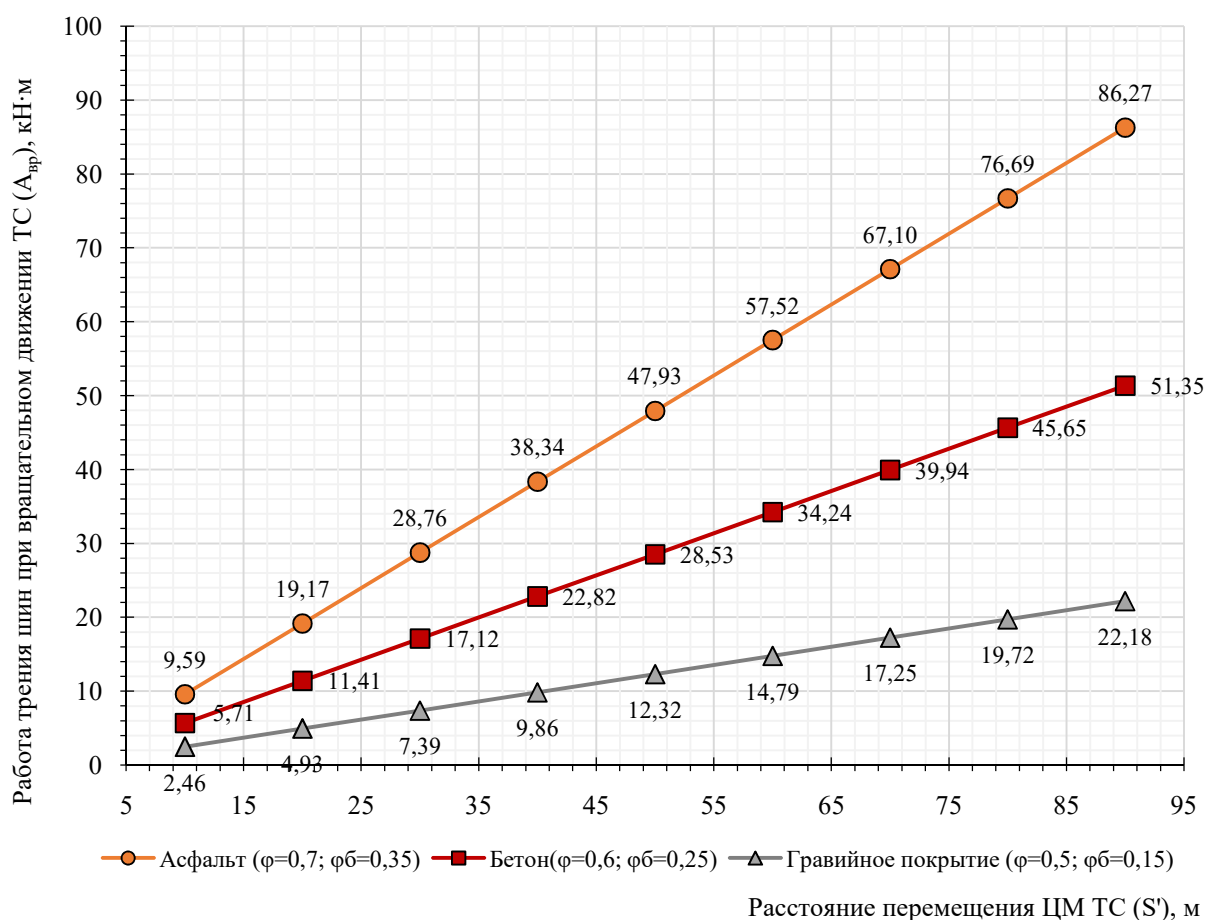


Рисунок 4.4 – Зависимость работы трения шин (A_{ep}) при вращательном движении ТС от расстояния перемещения (S') при различных типах дорожной поверхности

Из рисунка 4.4 следует, что работа трения шин при вращательном движении автомобиля прямо пропорциональна расстоянию перемещения ЦМ А, а также на средне изношенном сухом асфальте за весь процесс перемещения автомобиля превышает работу трения шин на мокром гравийном покрытии приблизительно на 64,1 кН·м.

Таблица 4.11– Работа трения шин при линейном перемещении ТС

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		S'	$A_{\text{лин}}$
$A_{\text{лин}} = G_a \cdot \varphi_0 \cdot S'$	Н·м	10	52686,3
		20	105372,6
		30	158058,8
		40	210745,1
		50	263431,4
		60	316117,7
		70	368804,0
		80	421490,2
		90	474176,5

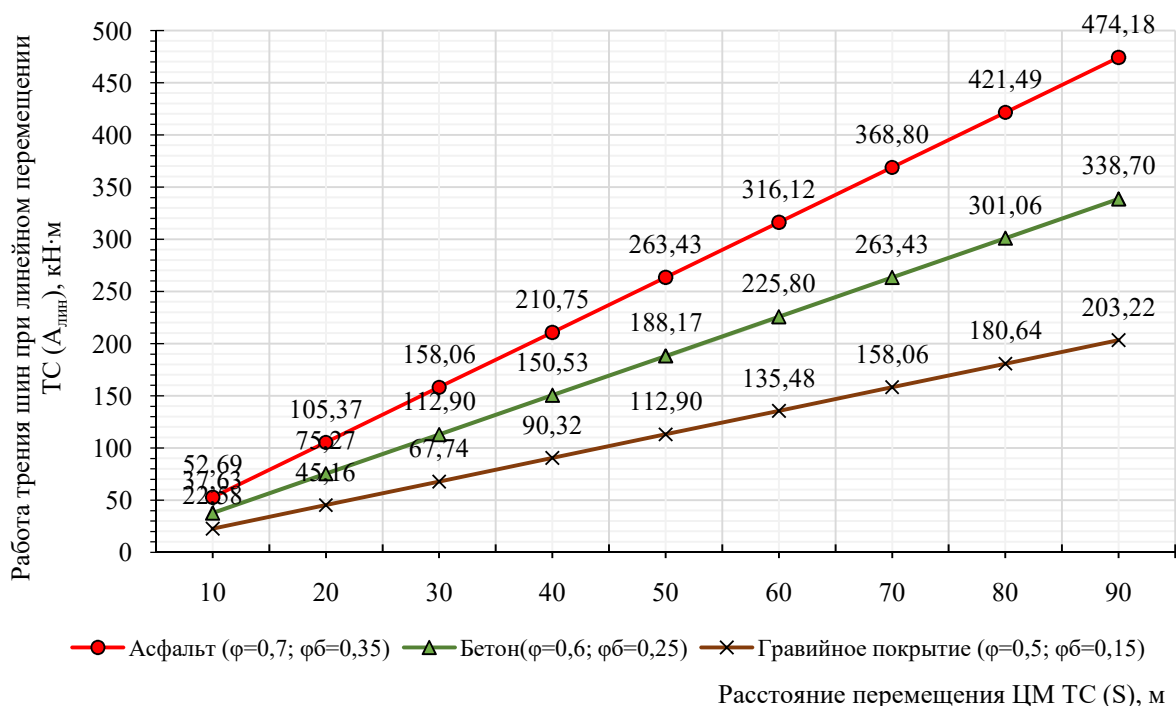


Рисунок 4.5– Зависимость работы трения шин при линейном перемещении ТС ($A_{\text{лин}}$) от расстояния перемещения (S') при различных типах дорожной поверхности

Из рисунка 4.5 следует, что работа трения шин при линейном перемещении ТС на сухом асфальте за весь процесс перемещения составляет 474,18 кН·м – это больше, чем на средне изношенном мокром бетоне на 135,5 кН·м и больше на 270,96 кН·м, чем на мокром гравийном покрытии.

Таблица 4.12 – Суммарная работа трения, совершаемая шинами, как при линейном перемещении, так и при вращении ТС

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		S'	$\sum A$
$\sum A = G_a \cdot \varphi_0 \cdot S' \cdot (0,375 \cdot \frac{\varphi_0}{\varphi_1} \cdot \cos \beta + 1)$	Н·м	10	62272,3
		20	124544,7
		30	186817,0
		40	249089,4
		50	311361,7
		60	373634,1
		70	435906,4
		80	498178,8
		90	560451,1

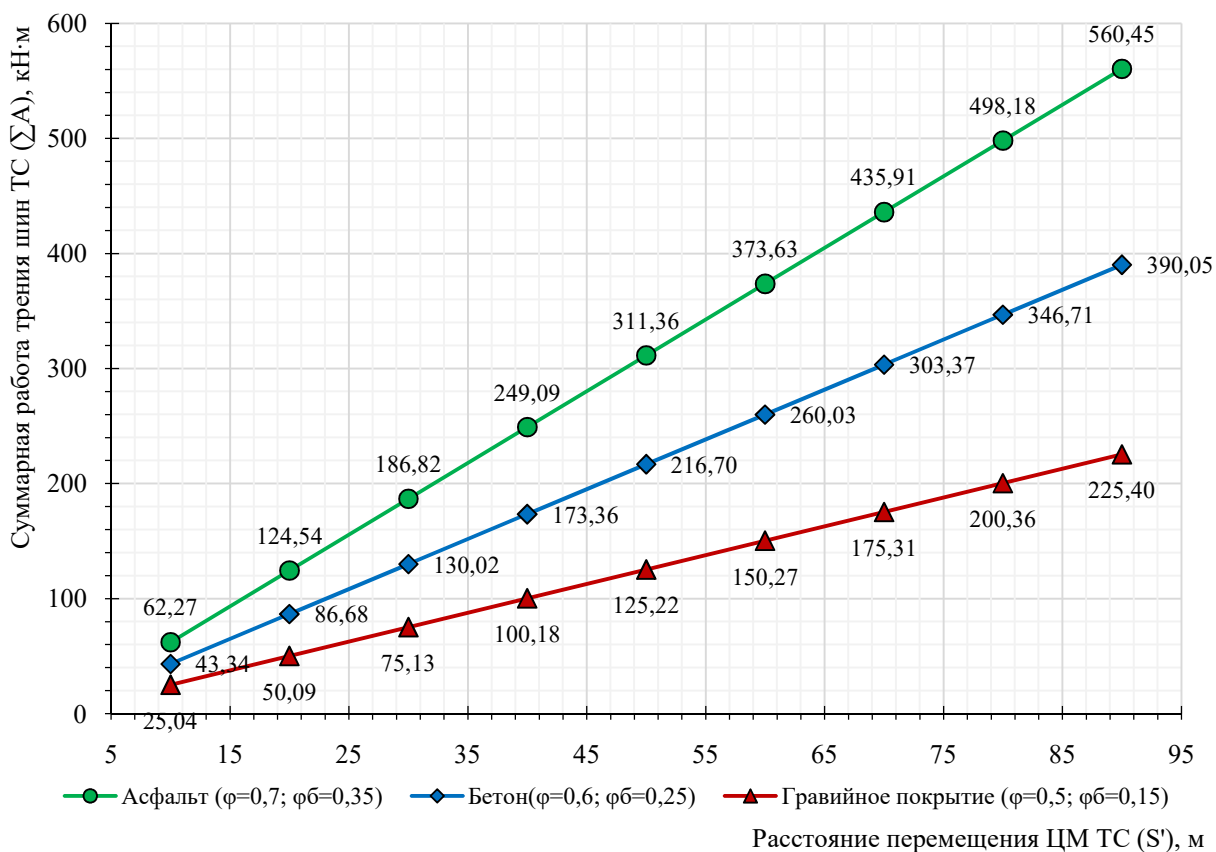


Рисунок 4.6 – Зависимость суммарной работы трения шин (ΣA) ТС от перемещения (S') при различных типах дорожной поверхности

Сопоставив суммарную работу трения шин автомобиля (при линейном и вращательном движении) в нормальных условиях движения – на сухом асфальте, которая за весь процесс перемещения составляет 560,45 кН·м, с двумя другими типами дорожного покрытия было выявлено, что значение данного параметра в 1,43 раза превышает суммарную работу трения шин на мокром средне изношенном бетоне (390 кН·м) и в 2,49 раз превышает суммарную работу трения шин на мокром гравийном покрытии (225,4 кН·м).

Таблица 4.13 – Скорость движения ТС в момент начала бокового заноса

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		S'	V_a
$V_a = \sqrt{\frac{2 \left[G_a \cdot \varphi_0 \cdot S' \cdot \left(0,375 \cdot \frac{\varphi_0}{\varphi_1} \cdot \cos \beta + 1 \right) \right]}{m_a}}$	м/с	10	9,0
		20	12,7
		30	15,6
		40	18,0
		50	20,1
		60	22,1
		70	23,8
		80	25,5
		90	27,0

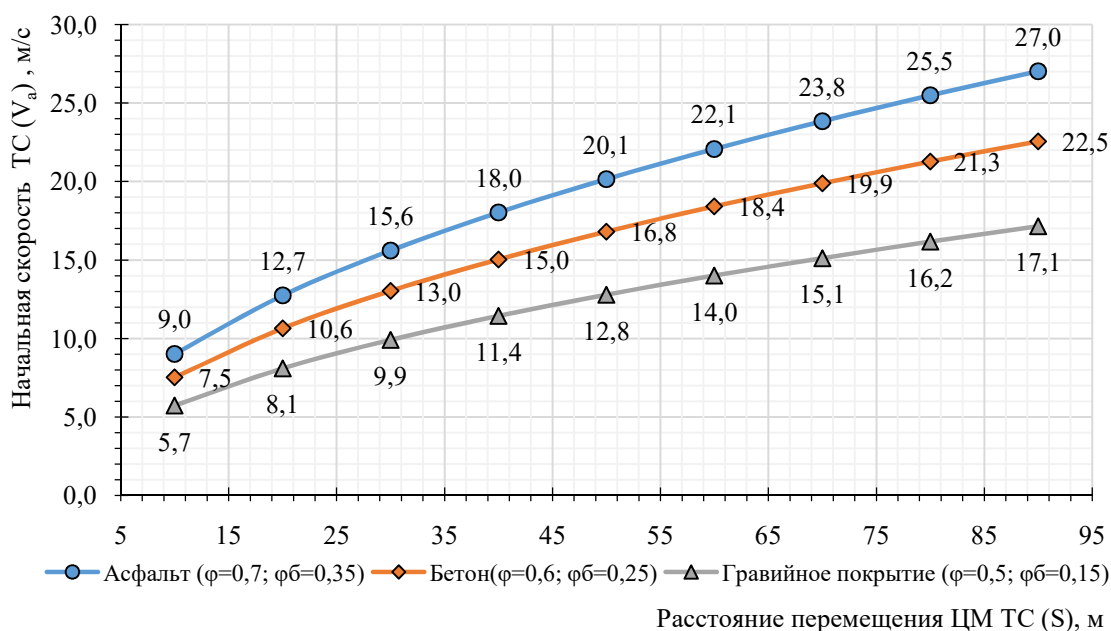


Рисунок 4.7 – Зависимость начальной скорости (V_a) от расстояния перемещения ТС (S') при различных типах дорожной поверхности

Как видно из рисунка 4.7, скорость ТС в момент разгерметизации шины на сухом асфальте составляет 9 м/с (32 км/ч) при перемещении ЦМ на расстояние равное 10 метрам. Для сравнения, это на 1,8 м/с (6,48 км/ч) больше, чем на мокром средне изношенном бетоне и на 3,3 м/с (11,88 км/ч) больше, чем на средне изношенном гравийном покрытии.

При перемещении ЦМ на расстояние равное 90 метрам, начальная скорость на сухом асфальте составляет уже 27 м/с (97 км/ч). Для сравнения, это на 4,5 м/с (16,2 км/ч) больше, чем на мокром бетоне и на 9,9 м/с (35,6 км/ч) больше, чем на гравийном покрытии.

Нельзя не отметить, что на полученные результаты начальной скорости ТС огромное влияние оказывает коэффициент сцепления (линейный и боковой) шины с тем или иным покрытием.

Для автотехнической экспертизы определение скорости ТС является одним из основных факторов, обуславливающих возможность проведения анализа механизма произошедшего события и его отдельных элементов.

Таблица 4.14 – Угловая скорость центра задней оси ТС в начальный момент времени

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		V_a	w
$\omega = \frac{V_a \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{L}$	рад/с	9,0	0,8
		12,7	1,1
		15,6	1,3
		18,0	1,5
		20,1	1,7
		22,1	1,9
		23,8	2,0
		25,5	2,1
		27,0	2,3

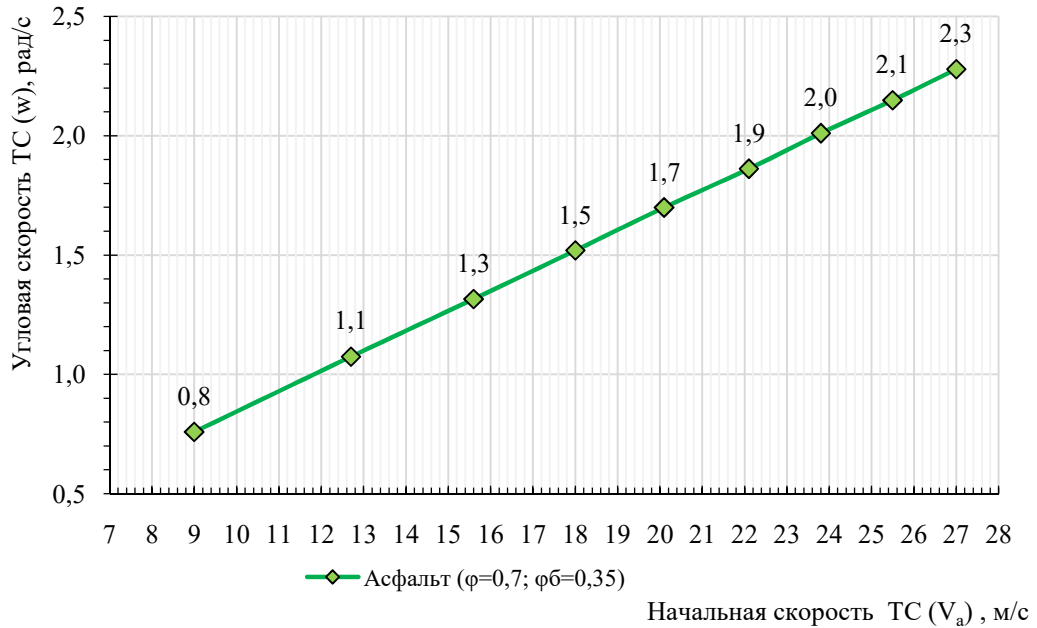


Рисунок 4.8 – Зависимость угловой скорости (ω) от начальной скорости (V_a) ТС

Угловая скорость автомобиля на сухом средне изношенном асфальте находится в линейной зависимости от скорости ТС и возрастает прямо пропорционально ей.

При начальной скорости ТС 9 м/с (32 км/ч) угловая скорость принимает значение 0,8 рад/с, а при 27 м/с (97 км/ч) – 2,3 рад/с, то есть увеличивается приблизительно в 2,9 раз за весь интервал нарастания начальной скорости от V_{a1} до V_{a9} .

Таблица 4.15 – Время поворота ТС на угол, соответствующий углу α

Расчетная формула	Единица измерения	Значение
$t_{нов} = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \sqrt{\frac{I}{3 \cdot \frac{b \cdot g \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} \cdot \delta \cdot B}}$ $\cdot \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_0 \cdot L} \cdot \frac{v \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)}$	c	0,143

Таблица 4.16 – Время линейного перемещения ЦМ ТС

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		S'	$t_{зам.л}$
$t_{зам.л} = \frac{S'}{\sqrt{\frac{2 \cdot G_a \cdot \varphi_0 \cdot S'}{m_a}}}$	c	10	1,2
		20	1,7
		30	2,1
		40	2,4
		50	2,7
		60	3,0
		70	3,2
		80	3,4
		90	3,6

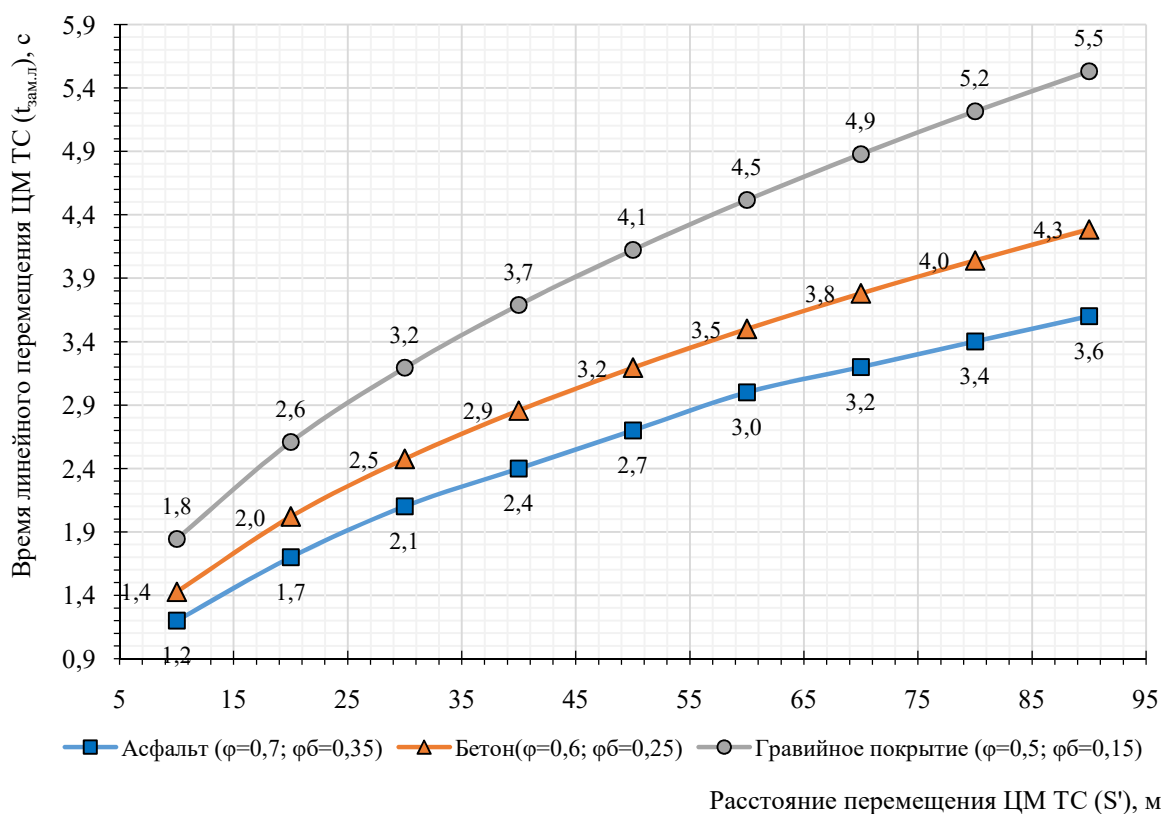


Рисунок 4.9 – Зависимость времени линейного перемещения ЦМ ТС ($t_{зам.л.}$) от расстояния перемещения (S') при различных типах дорожной поверхности

Как видно из рисунка 4.9 – для всех типов покрытий время линейного перемещения находится в параболической зависимости от расстояния перемещения.

Время линейного перемещения автомобиля на сухом асфальте при максимальном расстоянии перемещения ЦМ составляет 3,6 с, что на 0,7 с меньше чем на бетоне и на 1,9 с меньше, чем на гравийном покрытии.

В среднем, прирост времени при удалении ЦМ ТС с интервалом в 10 м составляет 0,2 – 0,3 с для каждого из типа рассматриваемых покрытий.

Таблица 4.17 – Время, затрачиваемое на вращениеавтомобиля при его поступательном перемещении

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		S'	$t_{ном.сп}$
$t_{ном.сп} = 0,75 \cdot \frac{\varphi_6 \cdot S'}{\varphi_1 \cdot V_a \cdot \sin \beta}$	с	10	1,7
		20	2,4
		30	3,0
		40	3,4
		50	3,9
		60	4,2
		70	4,6
		80	4,9
		90	5,2

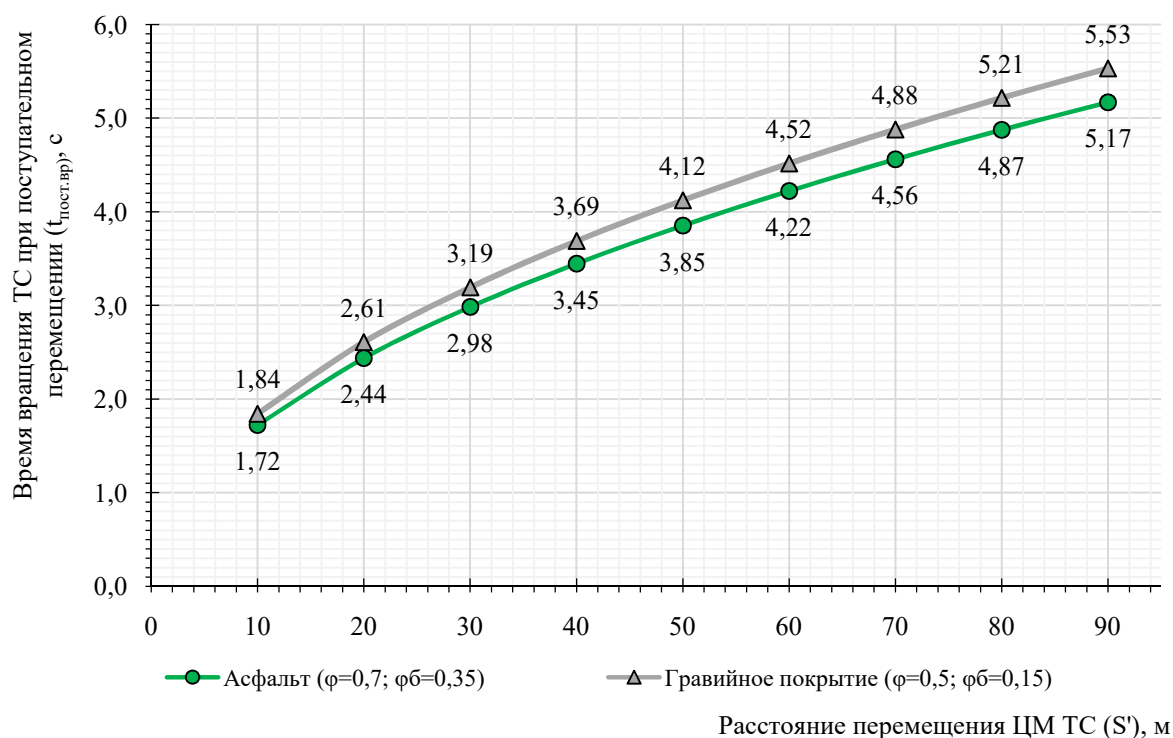


Рисунок 4.10 – Зависимость времени на вращение ТС при поступательном перемещении ($t_{\text{пост.вр}}$) от расстояния перемещения (S') при двух типах дорожной поверхности

Время, затрачиваемое на вращение автомобиля при его поступательном перемещении на сухом асфальте при расстоянии перемещения его ЦМ ($S'=90$ м), составляет около 5,2 с и теоретически совпадает со значениями вращения на мокром бетоне (по этой причине график на рисунке 4.10 отсутствует).

Проанализировав рисунок 4.10 стоит отметить: чем больше коэффициент сцепления дорожного покрытия, тем выше сцепные свойства шин с последним, а значит, тем меньше значение времени на вращение ТС при поступательном движении автомобиля.

Таблица 4.18 – Продолжительность процесса движения ТС от момента начала внезапного торможения (разгерметизации шины) до полной остановки

Расчетная формула	Единица измерения	Значение	
		V_a	$\sum t$
$\sum t = \frac{L}{\cos \beta} \cdot \sqrt{\frac{l}{3 \cdot \frac{v \cdot g \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} \cdot \delta \cdot B} \cdot \frac{0,5 \cdot B \cdot \delta \cdot \cos \beta}{\varphi_0 \cdot L}}$ $\cdot \frac{v \cdot \varphi_1}{(2 \cdot L - h_c \cdot \varphi_1)} + \frac{S'}{\sqrt{\frac{2 \cdot G_a \cdot \varphi_0 \cdot S'}{m_a}}} + 0,75 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot S'}{\varphi_1 \cdot V_a \cdot \sin \beta}$	с	9,0	3,1
		12,7	4,3
		15,6	5,2
		18,0	6,0
		20,1	6,7
		22,1	7,3
		23,8	7,9
		25,5	8,4
		27,0	8,9

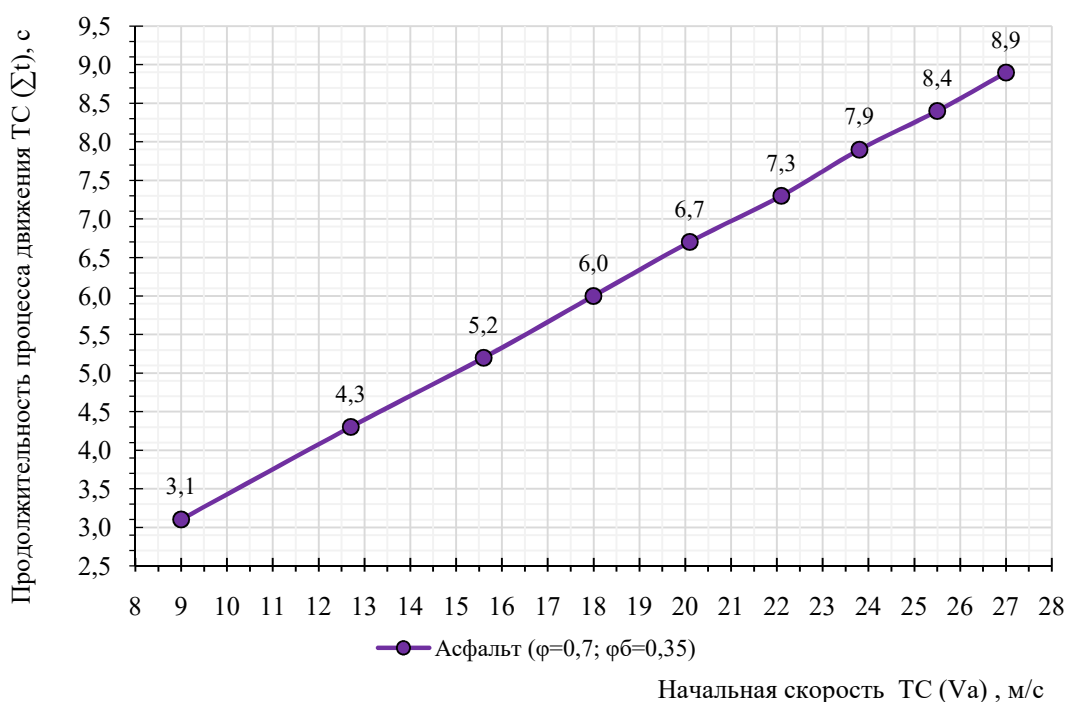


Рисунок 4.11 – Зависимость суммарного времени прохождения процесса перемещения ТС ($\sum t$) от его скорости (V_a)

Время всего процесса перемещения ЦМА на сухом средне изношенном асфальте находится в прямой линейной зависимости от его начальной скорости.

При скорости 9 м/с (32 км/ч) весь процесс перемещения занимает 3,1 с, а при 27 м/с (97 км/ч) уже 8,9 с. Как видно, разность значений этого важного параметра динамики автомобиля значительна и составляет 5,8 с. Так, например, ЦМА преодолевая каждые 10 метров своей траектории затрачивает от 0,8 до 1,2 с.

Полученные аналитическим методом параметры движения автомобиля сведем в таблицу (см. таблицу 4.19). Эти параметры представляют важное значение, с точки зрения аналитического исследования. Однако требуют оценки достоверности.

Таблица 4.19 – Параметры динамики ТС, полученные аналитическим методом

Результаты аналитического исследования										
Расстояние перемещения	$S', м$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Начальная скорость	$V_a, м/с$	9,0	12,7	15,6	18,0	20,1	22,1	23,8	25,5	27,0
Время перемещения	$t, с$	3,1	4,3	5,2	6,0	6,7	7,3	7,9	8,4	8,9
Угловая скорость	$w, рад/с$	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3

4.2 Результаты исследований с использованием программного обеспечения PC-CRASH

Вышеизложенные в подразделе 4.1 параметры динамики ТС принимаем как входные данные для моделирования механизма дорожно-транспортной ситуации в программном продукте PC-CRASH. Используем методику, приведенную в подразделе 3.3 данной работы.

Первым шагом загружаем ТС (рисунок 4.12):

В качестве ТС выбираем автомобиль TOYOTA-MARKIIJZX 110 в кузове седан с классическим задним приводом.

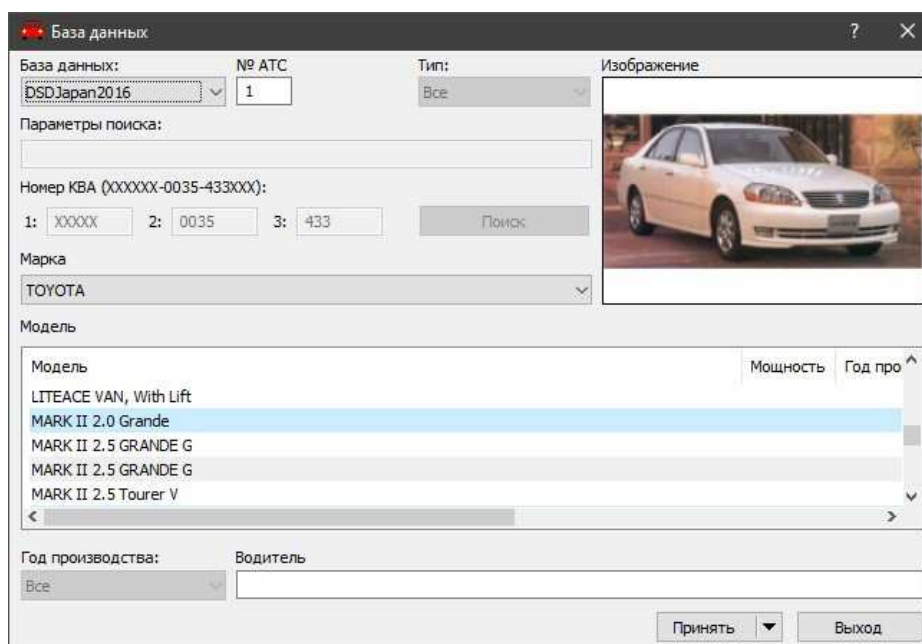


Рисунок 4.12 – База данных ТС DSDJapan2016

Проводим проверку и корректировку параметров ТС:

Открываем необходимый раздел и корректируем значения параметров ТС в соответствии с исходными данными таблицы 3.1 подраздела 3.1 и расчетами, полученными в пункте 4.1 данной работы. Остальные параметры в среде PC-CRASH оставляем без изменений (по умолчанию).

1. Раздел «Размеры и вес» представлен на рисунке 4.13.

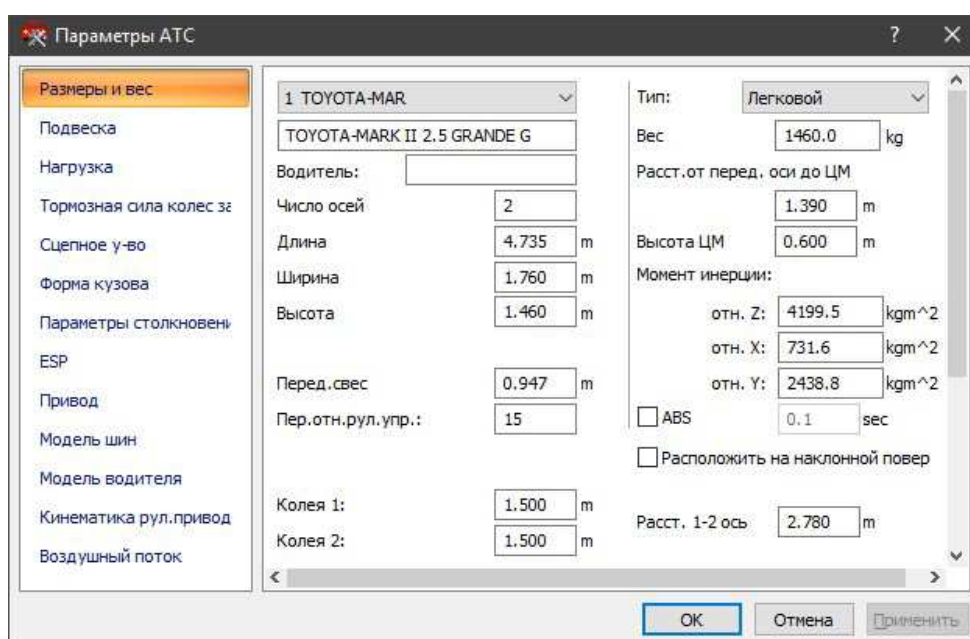


Рисунок 4.13 – Окно раздела «Размеры и вес»

2. Раздел «Нагрузка» представлен на рисунке 4.14.

Исходя из условия, что в ТС находится только водитель, без груза и пассажиров, нагрузку спереди указываем 75 кг [28].

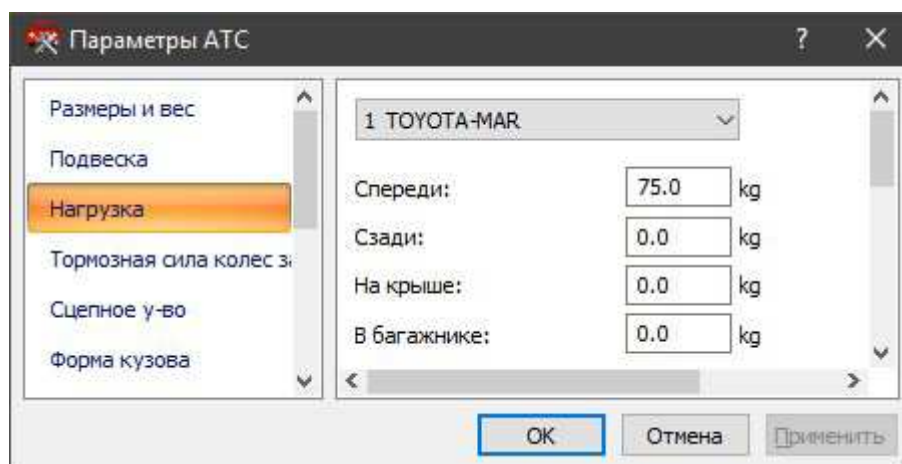


Рисунок 4.14 – Окно раздела «Нагрузка»

3. Раздел «Модель шин» представлен на рисунке 4.15.

В качестве модели была выбрана модель шин ТМ-Easy, так как в настройках выпадающий перечень позволяет отдельно задать продольные и боковые параметры для каждой из шин, что не представляется возможным в линейной модели.

Модель шин ТМ-Easy включает следующие важные элементы:

F_{max} – максимальное значение коэффициента сцепления;

S_{max} – величина коэффициента продольного скольжения, при которой имеет место F_{max} ;

F_{lock} – величина коэффициента сцепления заблокированного колеса;

S_{lock} – величина коэффициента продольного скольжения, при которой имеет место значение F_{lock} .

В соответствии с исходными данными задаем параметры F_{max} и F_{lock} для каждого колеса ТС, как в продольном, так и поперечном направлении:

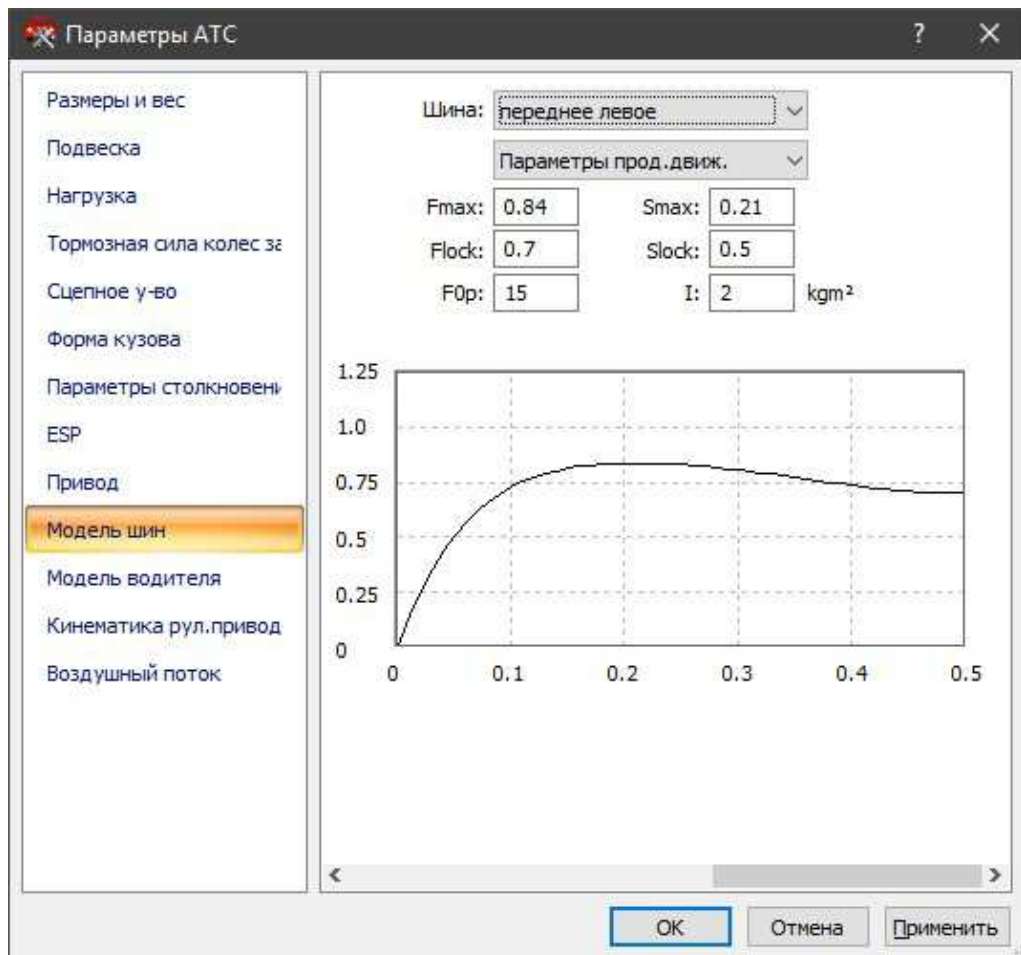


Рисунок 4.15 – Окно раздела «Модель шин»

Определяем фазы движения:

В данном окне для ТС зададим фазу: старт, реакция водителя, торможение, а также опцию изменение геометрии подвески для переднего левого колеса(рисунок 4.16):

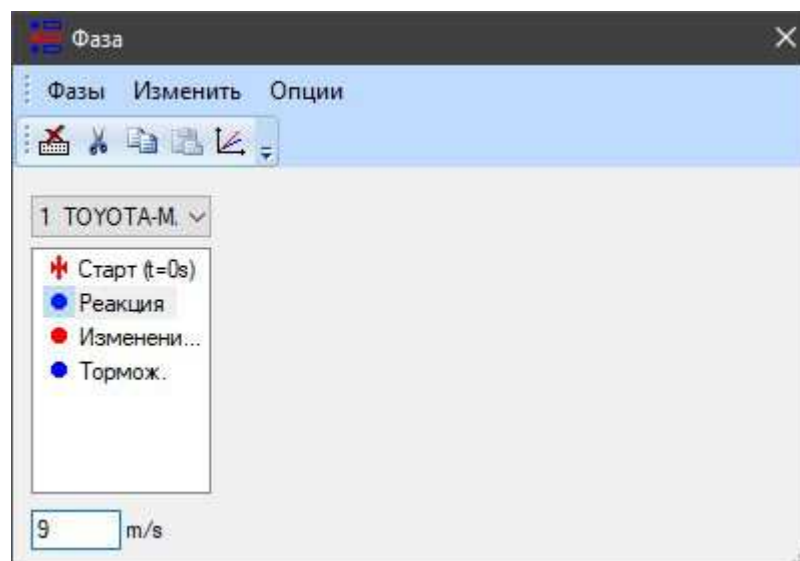


Рисунок 4.16 – Окно «Фаза»

При двойном щелчке на строке фазы будут открыты следующие окна, где будут показаны уже заданные параметры движения, которые при необходимости можно изменить, рассмотрим каждую по порядку:

1) *Старт ($t=0s$).*

Данная фаза означает нулевую точку, после которой располагаются все фазы динамического моделирования.

2) *Реакция водителя.*

Во время этой фазы ТС передвигается с замедлением, которое было задано в последней фазе. В нашем же случае, разрыв шины происходит мгновенно (внезапно), поэтому время реакции водителя принимается равным нулю (рисунок 4.17):

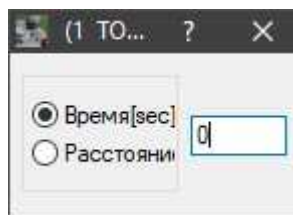


Рисунок 4.17 – Окно «Реакция водителя»

3) *Изменение геометрии подвески.*

Производим смещение переднего левого колеса ТС в вертикальном направлении на величину высоты профиля шины, координата Z «+» – обозначает смещение вверх, Z «-» – смещение вниз (рисунок 4.18). Высоту профиля шины (H) у колеса размерности 195/65 R 15, вычисляем следующим образом:

$$H = 195 \cdot 0,65 = 123,75 \text{ мм} \approx 0,124 \text{ м}$$

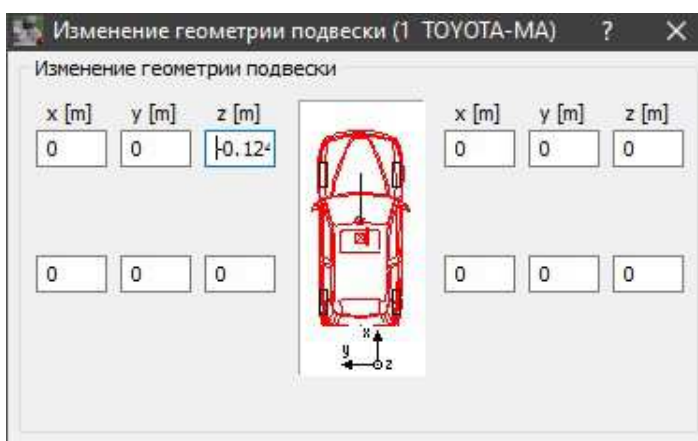


Рисунок 4.18 – Опция «Изменение геометрии подвески»

4) *Торможение.*

По условию, в начальный момент времени переднее левое колесо ТС находится в заблокированном состоянии, для этого в диалоговом окне данной

фазы (рисунок 4.19) выставляем максимальное значение удельной тормозной силы для левого колеса передней оси автомобиля.

Стоит заметить, что максимальное значение продольной силы при перемещении ползунка вправо составляет 500 %. Это условное значение, и такой искусственный способ предназначен для того, чтобы при моделировании надежно обеспечить режим блокирования колеса. Если заданы значения удельных продольных сил, то автоматически будет рассчитано значение замедления по формуле, заложенной разработчиками.

Затем в этом же диалоговом окне выставляем параметры:

- Время – время нарастания замедления при торможении, принимаем равным нулю в виду того, что процесс разрыва шины приводит к внезапному замедлению ТС;

- Продолжительность– длительность фазы в метрах, принимаем условное значение в триста метров, чтобы полностью смоделировать фазу замедления до полной остановки ТС.

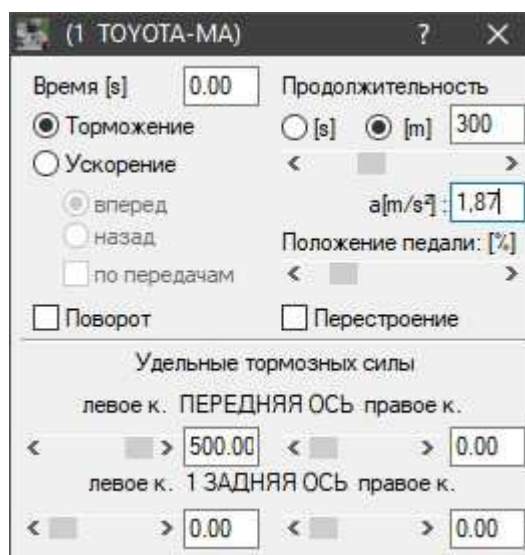


Рисунок 4.19 – Фаза «Торможение»

Следующим шагом корректируем исходные данные для моделирования динамики ТС:

В данном диалоговом окне (рисунок 4.20) задаем положение ЦМ ТС на проезжей части через координаты X, Y, Z либо при помощи кнопки «Переместить ТС» на панели инструментов.

Затем, зададим для ТС поступательную скорость (V) и соответствующую угловую скорость (ω), значения которых берем из итоговой таблицы 4.19, раздела 4.1.

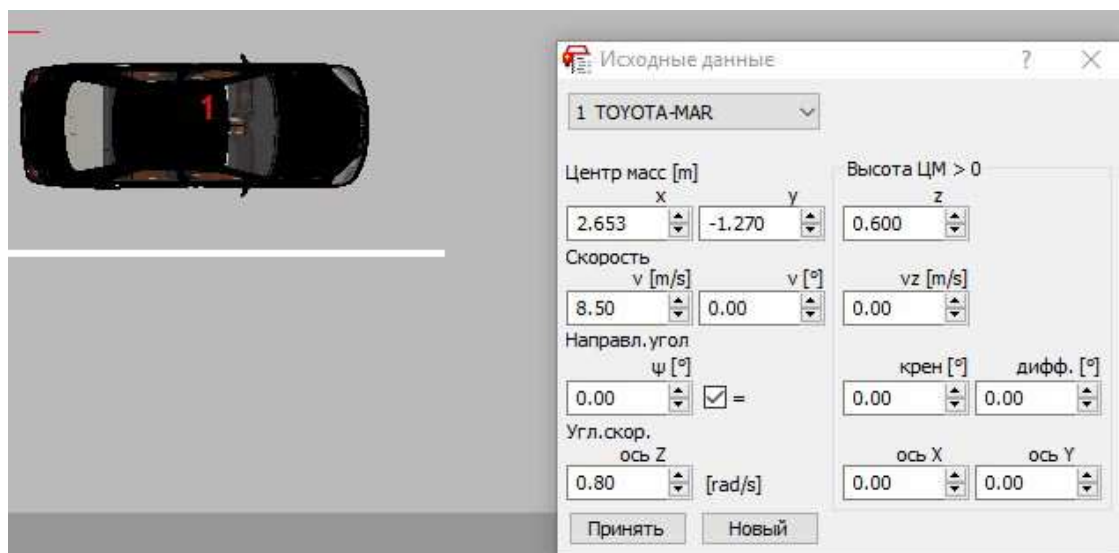


Рисунок 4.20 – Окно «Исходные данные»

После того, как все необходимые параметры заданы, при помощи опции «Расчет», производим моделирование дорожно-транспортной ситуации, в которой автомобиль, после внезапной разгерметизации переднего левого колеса, перемещается на расстояние $S'_{n=1...9}$, соответственно равное: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 метрам.

Как итог, в результате компьютерного моделирования в программе PC-CRASH были получены значения скорости (V) и времени (t), за которое ТС преодолело заданный путь перемещения (S').

Процесс перемещения ТС в пространстве 2D (вид сверху) наглядно представлен в таблице А.1 приложения А к данной работе.

Полученные в ходе процесса моделирования значения параметров динамики ТС сведем в таблицу 4.20 в соответствии с методикой, а также для более наглядного представления полученной информации.

Таблица 4.20– Параметры, полученные компьютерным моделированием

Заданные условием исходные параметры динамики ТС										
Расстояние перемещения	$S', м$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Угловая скорость	$w, рад/с$	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3
Результаты компьютерного моделирования в ПО PC-CRASH										
Начальная скорость	$V_a, м/с$	8,5	12	14,5	17	19	21	22,3	24,5	25,4
Время перемещения	$t, с$	2,8	3,6	4,7	5,2	5,8	6,5	6,9	7,2	7,5

4.3 Вопросы практического использования результатов исследований при проведении экспертизы ДТП

Результаты исследования аналитическим методом и методом компьютерного моделирования сведены и представлены вобщей таблице 4.21, далее по тексту.

Таблица 4.21 – Сравнительная таблица результатов исследования

Исходные параметры динамики ТС										
Расстояние перемещения	$S', м$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Угловая скорость	$w, рад/с$	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3
Начальная скорость (Аналитический метод)	$V_a, м/с$	9,0	12,7	15,6	18,0	20,1	22,1	23,8	25,5	27,0
Начальная скорость (ПО PC-CRASH)		8,5	12	14,5	17	19	21	22,5	24,5	25,4
Время перемещения (Аналитический метод)	$t, с$	3,1	4,3	5,2	6,0	6,7	7,3	7,9	8,4	8,9
Время перемещения (ПО PC-CRASH)		2,8	3,6	4,7	5,2	5,8	6,5	6,9	7,2	7,5

Для информативности и наиболее наглядного восприятия полученных результатов, построим графики параметров динамики ТС, полученные при аналитическом и компьютерном методах моделирования (см. рисунок 4.21).

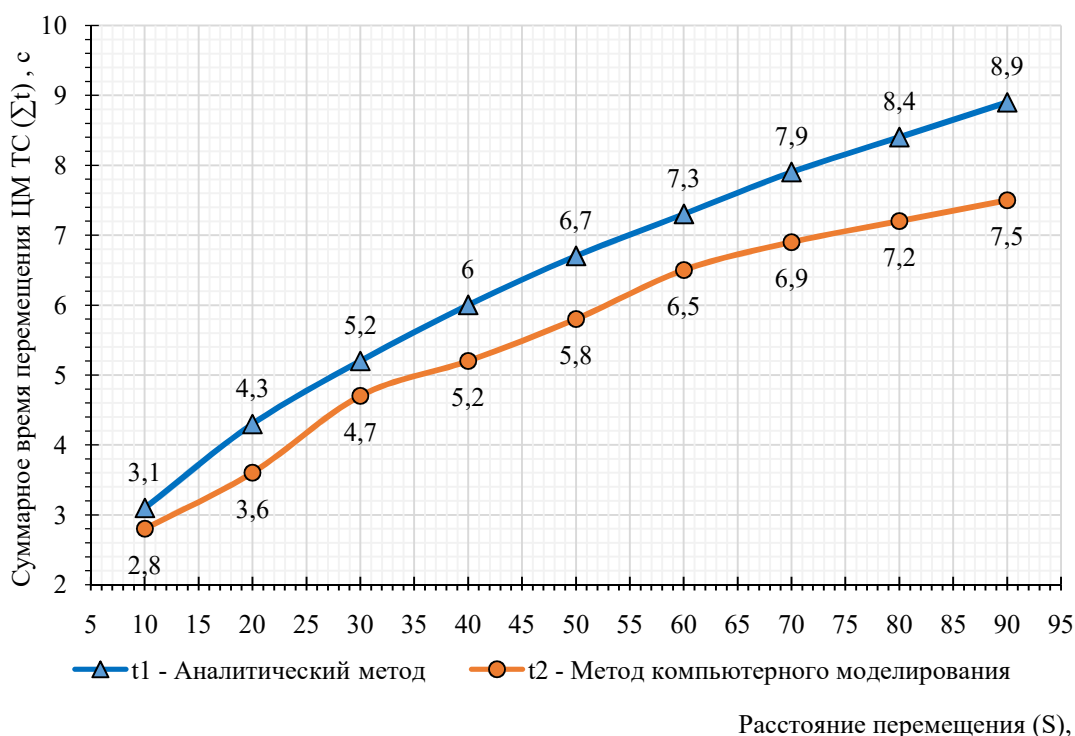


Рисунок 4.21 – Зависимость суммарного времени перемещения ЦМ ТС (Σt) от преодолеваемого им расстояния (S') по каждому из двух методов моделирования

Если рассматривать первый отрезок пути перемещения $S'_1 = 10$ метрам, из рисунка 4.21 отчетливо прослеживается, что разница в полученных значениях суммарного времени перемещения составляет всего 0,3 с.

При аналитическом (расчетном) подходе на перемещение от начальной до конечной точки ТС затрачивает большее количество времени, на 1,4 с, чем это делает модель ТС в программной среде PC-CRASH.

Это может быть связано с тем, что в обоих подходах имеются неучтенные входные параметры и допущения, влияющие, в некотором роде, на результаты исследований.

График зависимости начальной скорости перемещения ЦМА от расстояния перемещения приведен на рисунке 4.22

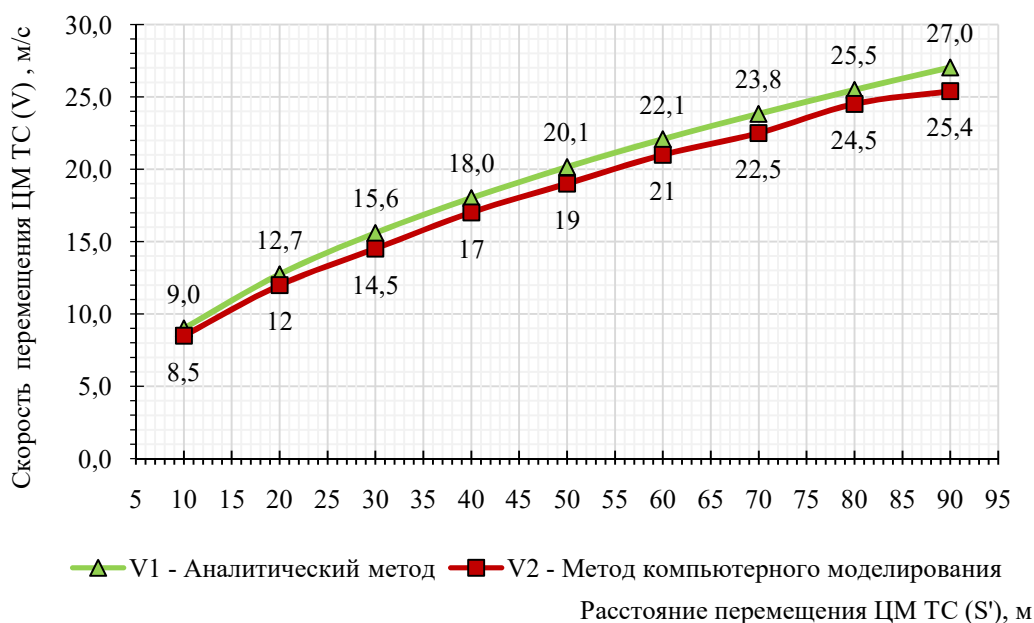


Рисунок 4.22 – Зависимость начальной скорости ТС (V_a) от преодолеваемого расстояния (S') по каждому из двух методов

По результатам сравнения значений начальной скорости по каждому из подходов видно, что самая минимальная разность между значениями скорости находится в контрольной точке S'_1 и составляет 0,5 м/с (1,8 км/ч), а самая максимальная разность между значениями скорости в контрольной точке S'_9 составляет 1,6 м/с (5,7 км/ч).

График зависимости параметров динамики от перемещения ЦМА при аналитическом моделировании представлен на рисунке 4.23.

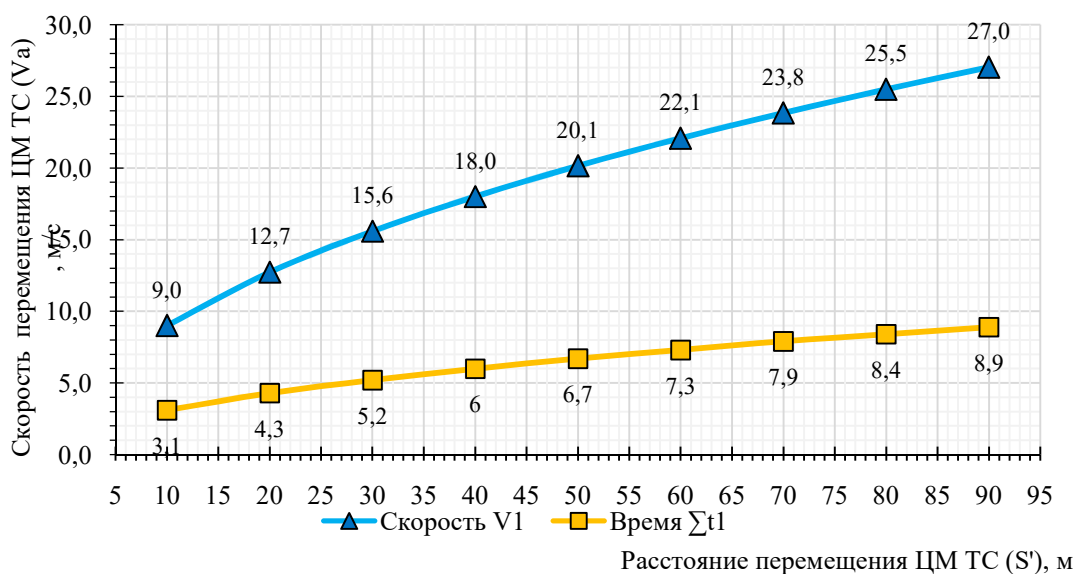


Рисунок 4.23 – Зависимость параметров динамики ТС от перемещения ЦМ в результате применения методики, основанной на математической модели

График зависимости параметров динамики от перемещения ЦМА при компьютерном моделировании представлен на рисунке 4.24.

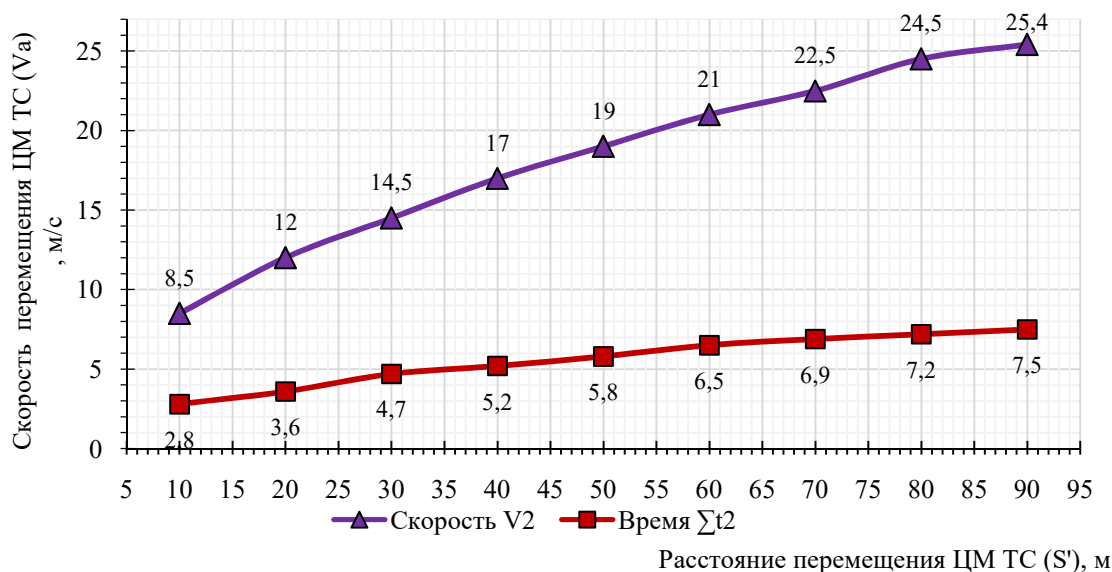


Рисунок 4.24 – Зависимость параметров динамики ТС от перемещения ЦМ в результате применения методики, основанной на компьютерном моделировании

Наложив параметры динамики ТС из рисунков 4.23 и 4.24 на общую координатную плоскость (см. рисунок 4.25) сравним и сделаем выводы в отношении полученных результатов.

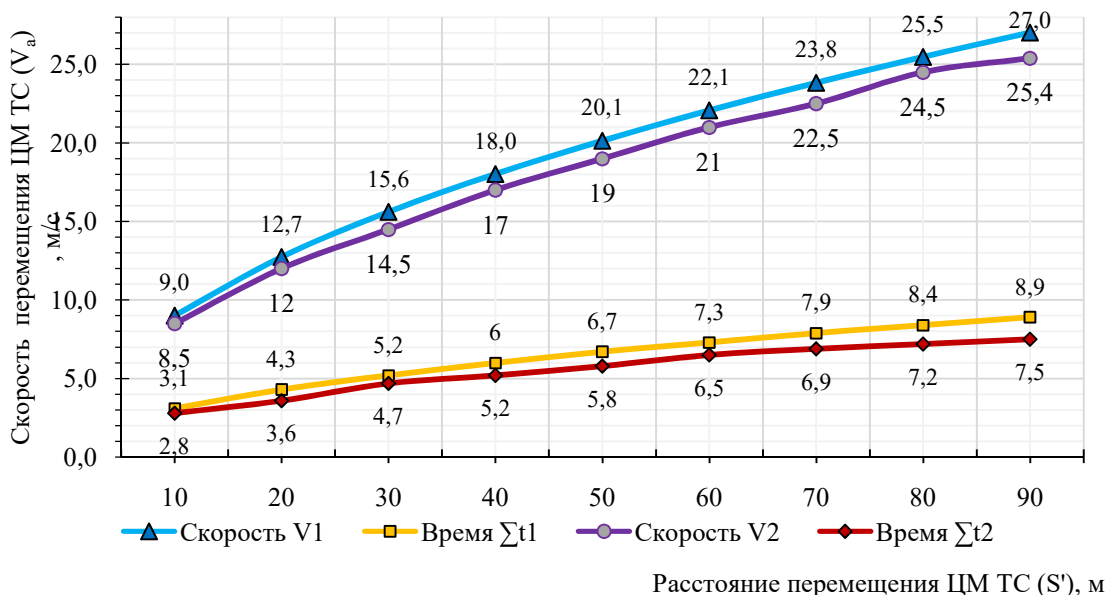


Рисунок 4.25 – Зависимость параметров динамики ТС от перемещения ЦМ в результате применения каждого из методов

Из рисунка 4.25 следует, что параметры динамики автомобиля, такие как начальная скорость (V_a) и время перемещения (Σt), рассчитанные по аналитическому методу имеют незначительные отклонения и практически совпадают с параметрами движения, которые были получены при помощи компьютерного моделирования в программном продукте PC-CRASH.

Общие выводы исследований

1. Проведен обзор исследований, подходов и методов, используемых для описания динамики движения ТС в случае его внезапного увода в связи с разгерметизацией колеса. Актуальность данного исследования подтверждается важностью решения вопроса, связанного с оценкой параметров движения автомобиля при расследовании и экспертизе обстоятельств ДТП. Проведен анализ групп технических средств, применяемых в автотехнической экспертизе, а также обзор основных возможностей программы для анализа и экспертизы ДТП – PC-CRASH.

2. В соответствии с поставленными задачами разработана математическая модель, учитывающая работу трения шин при линейном перемещении и вращении автомобиля на дорожном покрытии, которая позволяет повысить достоверность описания динамики движения ТС при внезапном торможении, вызванном разгерметизацией колеса.

3. Математическая модель реализована в виде алгоритма расчета для 3-х типов дорожного покрытия с использованием ПО MicrosoftOfficeExcel.

4. С целью оценки адекватности предложенной аналитической модели разработан алгоритм исследования с применением компьютерной программы для анализа и моделирования ДТП – PC-CRASH. Спланирован и проведен модельный эксперимент в среде программного продукта PC-CRASH для проверки адекватности и достоверности разработанной математической модели. Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует о схожести оценок аналитического и компьютерного моделирования за весь процесс перемещения центра масс автомобиля. От момента начала бокового заноса до полной остановки ТС при максимальном расстоянии перемещения ($S'_9 = 90$ м) разница по такому параметру, как начальная скорость (V_a) составила 1,6 м/с (5,7 км/ч), а по времени перемещения (t) до конечного положения ЦМ составила 1,5 с.

5. Разработанные аналитический подход и алгоритм могут применяться в практической деятельности экспертов-техников при расследовании обстоятельств ДТП. Это позволит снизить вероятность ошибок при проведении экспертизы ДТП и повысить достоверность результатов, полученных в ходе экспертизы обстоятельств ДТП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ежедневно на дорогах Российской Федерации происходят тысячи ДТП, последствия которых могут быть различны. Расследование обстоятельств ДТП требует от лиц, принимающих в нем участие, высокого профессионализма и навыков. Необходимы знания в области криминалистики, судебной медицины, юриспруденции, организации дорожного движения, автотехнической экспертизы, а также в других областях науки и техники.

Сегодня, при проведении судебных автотехнических экспертиз, часто применяются программные продукты, предназначенные для анализа и моделирования ДТП, при использовании которых эксперт-техник может запросто получить противоречивые результаты ввиду своей некомпетентности либо, того хуже, использовать данное ПО как средство анимации, подменив законы физики своим пониманием механизма ДТП, тем самым кардинально повлияв на выводы в экспертном заключении.

Отмеченные недостатки в расследовании обстоятельств ДТП приводят к принятию необоснованных процессуальных решений, невозможности выполнения экспертиз, назначаемых по постановлению судебных органов, возвращению уголовных дел для производства дополнительного расследования и повторных экспертиз, нарушению законности и, как следствие, ущемлению прав и интересов граждан.

Комплексный подход, включающий наряду с использованием ПО, создание математической модели, основанной на физических законах, позволит снизить вероятность ошибок при проведении экспертизы ДТП и повысить достоверность результатов, полученных в ходе экспертизы обстоятельств ДТП.

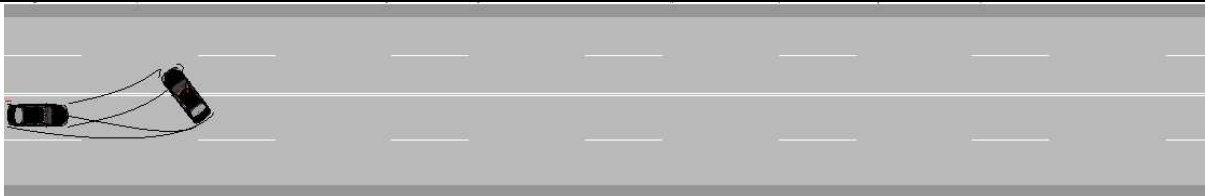
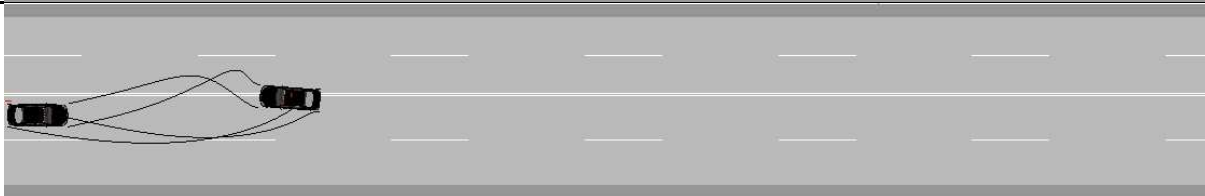
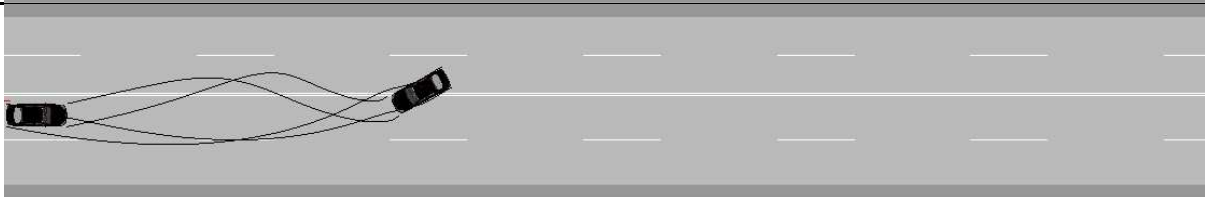
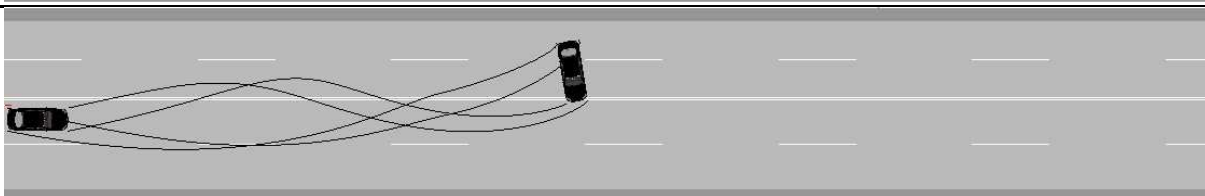
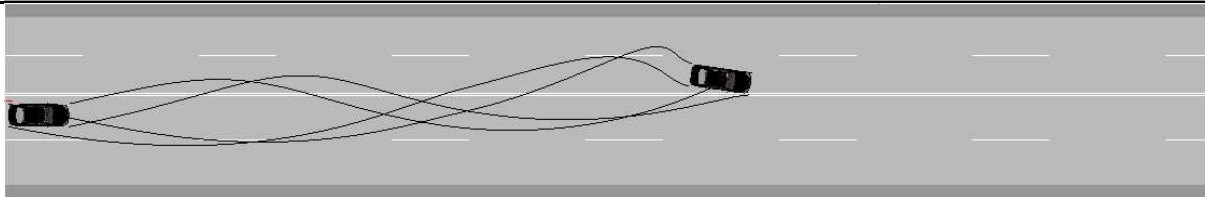
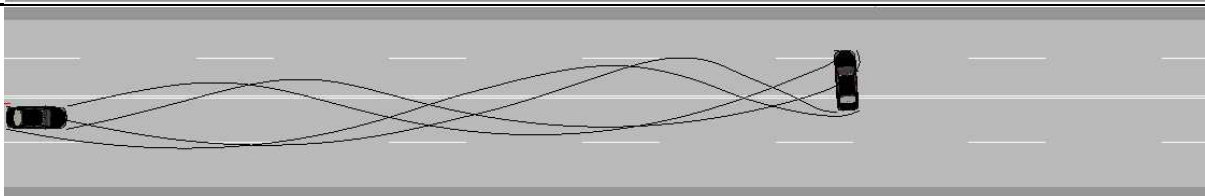
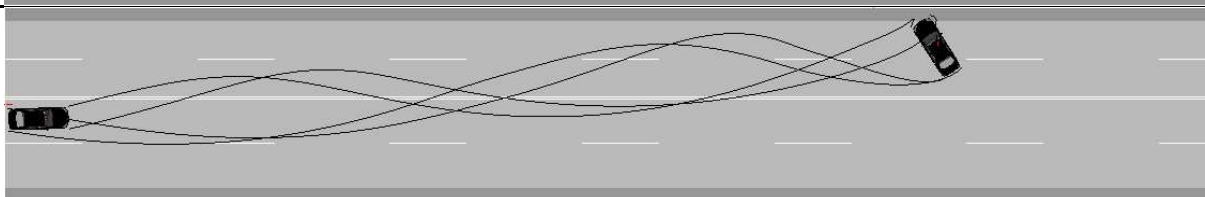
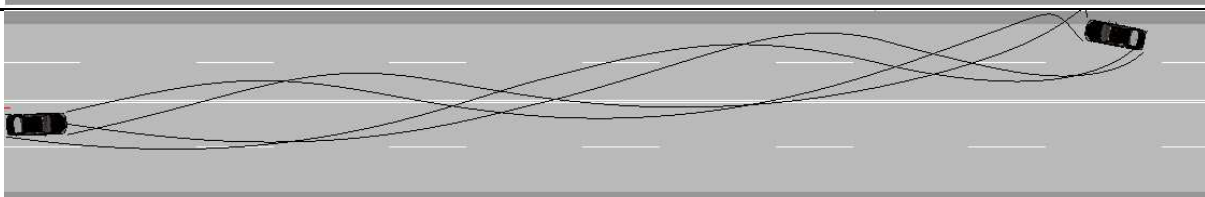
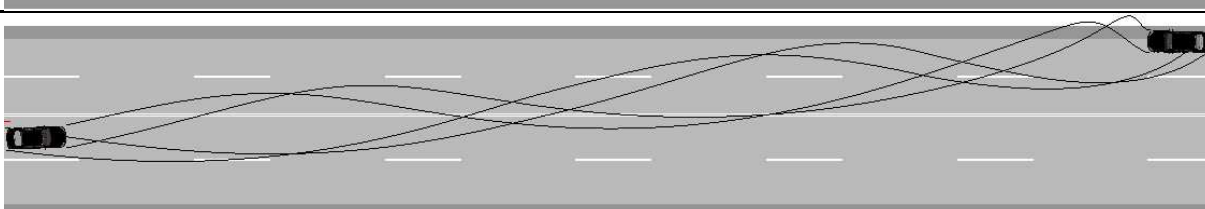
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналитическое агентство «Автостат» [Электронный ресурс] : Сведения о парке транспортных средств в России. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/43122/>.
2. Kovalev, V. Analysis of the dynamics of vehicle motion in case of sudden braking connected with damage of the tire / V. Kovalev, I. Blyankinshtein, D. Morozov, A. Kazantsev // Transport Problem. – 2020. – Vol. 15. – p. 15-23.
3. Илларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов / В. А. Илларионов. – Москва : Транспорт, 1989. – 255 с.
4. Беляев, М. В. Трасологическая диагностика по делам о дорожно-транспортных происшествиях: дис. канд. юрид. наук : 12.00.12 / Беляев Михаил Вячеславович. – Москва, 2016. – 89 с.
5. Danielson, K. T. Computational strategies for tire modeling and analysis / K. T. Danielson, A. K. Noor, J. S. Green // Computers & Structures. – 1996. – 61 (4). – p. 673-693.
6. Gillespie, T. Fundamentals of Vehicle Dynamics / T. Gillespie // SAE International. – 1992. – p. 495.
7. Rajamani, R. Vehicle Dynamics and Control / R. Rajamani // Mechanical Engineering Series, Springer Verlag. – 2005. – p. 470.
8. Аджиев, Р. И. Справочные данные о нормативных и технических параметрах шин и колес. Типовые виды повреждений шин / Р. И. Аджиев, В. Г. Григорян, С. И. Печеневский. – М.: Теория и практика судебной экспертизы. – 2008. – №1 (9). – с. 62-78.
9. Сабадаш, В. В. Экспериментальные исследования динамики транспортного средства при разгерметизации его колеса / В. В. Сабадаш, Д. М. Клец, В. А. Варлахов. // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2013. – №3. – с. 73-79.
10. Подригало М. А., Экспертное исследование устойчивости движения транспортного средства при разгерметизации его колеса. / М. А. Подригало, Д. М. Клец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 7 (68). – с. 52-57.
11. Ковалев, В. А. Определение динамики движения автомобиля при разрыве шины переднего колеса / В. А. Ковалев, Е. В. Фомин // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 10 (93). с. 176-179.
12. Балакина, Е. В. Результаты расчета оценочных параметров устойчивости движения автомобиля при учете составляющих продольного сноса нормальной и боковой реакций опорной поверхности. / Е. В. Балакина, А. В. Мельников, Т. А. Голубева, Ю. А. Бубнов // Молодой ученый. – 2017. – № 21 (155). – с. 97-100.
13. Зотов, Б. Л. Автотехническая экспертиза при расследовании автодорожных происшествий / Б. Л. Зотов. – М.: Госюриздат, 1991. – 178 с.

14. Россинская, Е. Р. Развитие института судебной экспертизы в современных условиях / Е. Р. Россинская. – М.: Норма, 2004. – 25 с.
15. Елескина Е. А., Карташова Е. Д. Применение моделей столкновения легковых автомобилей, основанных на гипотезе Кудлиха-Слибара, при расследовании дорожно-транспортных происшествий // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2013. – № 1 (5). – с. 148-154.
16. Dr. Steffan Datentechnik. Руководство пользователя компьютерной программой для анализа и моделирования дорожно-транспортных происшествий PC-Crash / Австрия. – 2019. – 255 с.
17. Гринченко, И. В. К вопросу об определении основных геометрических параметров криволинейного движения автомобиля / И. В. Гринченко, Г. А. Смирнов // Вопросы автомобилестроения. – 1973. – № 166. – с.159 – 164.
18. Кнороз, В. И. Шины и колеса. / В. И. Кнороз, Е. В. Кленников. – М., 1975. – 238с.
19. Аринин, И. Н. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. пособие для вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство» / И. Н. Аринин, С. И. Коновалов, Ю. В. Баженов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2004. – 314 с.
20. Временные нормы эксплуатационного пробега шин автотранспортных средств : РД 3112199-1085-02. - М.: Москва, 2003. – 32 с.
21. Запорожцев, А. Н. Износ шин и работа автомобиля / А. Н. Запорожцев, Е. В. Кленников. - М.: НИИНАвтопром, 1971. – 52 с.
22. Волков, Е. В. Теория движения автомобиля : монография / Е. В. Волков. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 204 с.
23. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Справочник / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – СПб.: Издательство ДНК, 2006. – 526 с.
24. Иларионов В. А. Судебно-автотехническая экспертиза: Методическое пособие для экспертов-автотехников, следователей и судей / В. А. Иларионов. Ч. 2. – М.; ВНИИСЭ, 1980. – 163 с.
25. Немчинов М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля / М. В. Немчинов. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.
26. Корухов Ю. Г. Транспортно-трассологическая экспертиза по делам о дорожно-транспортных происшествиях. Диагностическое исследование: Методическое пособие для экспертов, следователей и судей. Вып. 2 / Ю. Г. Корухов. – М.: ВНИИСЭ, – 1988.
27. Tabele A.I: SAE 830612: C.Y. Warner, G.C. Smith, M.B. James, G.J. Germane; Friction Applications in Accident Reconstructions (Reference: J.S. Baker; Traffic Accident Investigation Manual, Northwestern University, Evanston, I.U. 1975)
28. ГОСТ 33987-2016 Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы определения [Электронный ресурс] : Введ. 01.02.2018 // Информационная система «ТехЭксперт». – Режим доступа: <http://nps2.cntd.ru>.
29. СТО 4.2-07-2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – 60 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Результаты моделирования дорожно-транспортной ситуации в
программном продукте PC-CRASH

Таблица А.1 – Траектория перемещения ТС в пространстве 2D при моделировании дорожно-транспортной ситуации в среде PC-CRASH


№	Траектория ТС
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Презентационный материал

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Е. С. Воеводин


«___» _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение эффективности проведения экспертизы дорожно-транспортных
происшествий

23.04.01 – «Технология транспортных процессов»

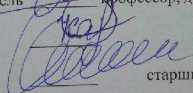
23.04.01.02 – «Оценка соответствия и экспертиза безопасности на транспорте»

Научный руководитель  профессор, д-р техн. наук И. М. Блянкинштейн


Выпускник

А. О. Казанцев

Рецензент

 старший эксперт-техник ООО КЦПОиЭ
«Движение» Н. А. Сачек

Нормоконтролер

 профессор, д-р техн. наук И. М. Блянкинштейн

Красноярск 2020