

*На правах рукописи*



**Гасилова Ольга Сергеевна**

**МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ  
ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ПРИ НАЛИЧИИ  
ПОВОРОТНЫХ ПОТОКОВ**

Специальность: 05.22.10 –  
Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Сидоров Борис Андреевич**

Официальные оппоненты: **Зырянов Владимир Васильевич**,  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», кафедра  
«Организация перевозок и дорожного  
движения», заведующий;

**Шевцова Анастасия Геннадьевна**,  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный  
технологический университет  
им. В. Г. Шухова», кафедра «Эксплуатация  
и организация движения автотранспорта»,  
доцент.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный  
университет».

Защита диссертации состоится «21» сентября 2021 г. в 15-30 часов на заседании диссертационного совета Д212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 220).

Тел/факс: (812) 316-58-73, E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialty/personal/gasilova-olga-sergeevna>

Автореферат разослан «30» июня 2021 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук,  
доцент



Олещенко Елена Михайловна

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** При повышении уровня автомобилизации на определенном этапе в обязательном порядке возникает вопрос об эффективности функционирования улично-дорожной сети (УДС) при условии обеспечения безопасности дорожного движения. Эта проблема решается разными способами. Вне населенных пунктов увеличение пропускной способности достигается за счет увеличения числа полос и уменьшения числа конфликтных точек на УДС. Кроме этого регулируется доступ на автомобильную дорогу путем ограничения возможностей въезда и съезда в зависимости от класса автомобильной дороги. Одновременно рассматриваются вопросы обеспечения безопасности дорожного движения.

В населенных пунктах такие меры применять практически невозможно. Сложившиеся архитектурно-планировочные решения без вложения огромных материальных средств изменить невозможно. Количество и расположение пересечений во многом обуславливают пропускную способность улично-дорожной сети.

Аварийность на пересечениях занимает по статистике дорожно-транспортных происшествий (ДТП) третье место после ДТП, связанных с неправильно выбранной скоростью движения и других нарушений. Из этого можно сделать вывод, что существующие и не изменяющиеся десятилетиями методы расчета светофорных циклов не приводят к желаемому результату по снижению аварийности на пересечениях. Кроме этого, реальная пропускная способность на пересечениях не соответствует расчетной. Особенно это наблюдается при неблагоприятных погодных условиях (дождь, весенняя распутица), когда влага попадает на поверхности трения тормозных механизмов.

Сложившаяся практика расчета длительности циклов светофорного регулирования направлена на обеспечение максимальной пропускной способности по всем направлениям движения на пересечении. При этом учитывается интенсивность движения транспортных и пешеходных потоков и состав транспортных потоков. Транспортный поток представляют условным легковым автомобилем, к которому сводят все транспортные средства с помощью коэффициентов приведения. Значения коэффициентов приведения у разных авторов не совпадают. Так, например, Клинковштейн Г. И., Афанасьев М.Б. рекомендуют коэффициент приведения, равный 1,5 для учета грузовых автомобилей до 2 т включительно. А Капитанов В. Т. и Шауро С.В. значение приведенного коэффициента 1,5 рекомендуют для учета грузовых автомобилей грузоподъемностью до 3 т. У зарубежных авторов коэффициенты приведения также имеют различные значения: Вебстер Ф. оценивал коэффициенты приведения к легковому автомобилю для автомобилей большой и средней

грузоподъёмности как 1,75; Миллер А. принимал для тех же типов автомобилей значение 1,85; Брэнстон Д. принимал это значение, равным, 1,74. При этом все авторы исходят из того, что длительность цикла светофорного регулирования определяется с учетом обеспечения безопасности дорожного движения, но не предлагают, как ее обеспечить. В существующих нормативных документах рекомендуется использовать значения коэффициентов приведения так же в разных диапазонах. В Методических рекомендациях Минтранса РФ по организации дорожного движения на регулируемых пересечениях, утвержденных 02.07.2017 г. приводятся следующие значения коэффициентов: для легковых автомобилей – 1,0; для грузовых автомобилей – от 1,149 до 1,647; для автобусов – от 1,093 до 2,362. ГОСТ 32965-2014 «Методы учета интенсивности движения транспортного потока» указывает следующие значения коэффициентов приведения: для легковых автомобилей – 1,0; для грузовых автомобилей – от 1,5 до 2,0; для автопоездов – от 2,2 до 3,2 и для автобусов – 3,0. Диапазон длительности цикла светофорного регулирования варьируется от 25 до 120 секунд включительно опять же из соображений обеспечения безопасности дорожного движения.

Увеличившееся число транспортных средств на улично-дорожной сети в последние годы привело к необходимости научно-обоснованной корректировки расчета режимов работы светофорной сигнализации. В крупных городах сегодня можно наблюдать большой разброс превышения рекомендованной длительности циклов светофорной сигнализации, составляющей 150, 180, 200 и более секунд. При этом аварийность на пересечениях по-прежнему остается высокой, особенно на пересечениях с поворотными потоками, следовательно, существующие методики расчета режимов работы светофорной сигнализации требуют изменения. В существующих методиках расчета светофорной сигнализации ключевым моментом является определение потока насыщения. Но ни одна методика расчета светофорного цикла не учитывает особенности движения автомобилей на пересечениях с поворотными потоками. При поворотном движении часто наблюдается изменение скоростного режима транспортных средств. Это происходит из-за таких факторов, как резкое замедление впереди движущегося автомобиля перед поворотом, непосредственно за поворотом, из-за внезапно возникшего препятствия в виде пешехода, неровностей проезжей части и др. Из этого следует, что совершенствование методики расчета светофорного цикла на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков актуально и позволит обеспечить безопасность дорожного движения.

**Степень разработанности темы исследования.** Можно выделить следующих авторов, работающих в направлении повышения эффективности организации дорожного движения: Г. И. Клинковштейна, М. Б. Афанасьева,

В. И. Коноплянко, Е. М. Лобанова, Ю. А. Кременца, М. П. Печерского, В. В. Сильянова, П. А. Кравченко, С. А. Евтюкова, В. В. Зырянова, С. В. Жанказиева, А. М. Плотникова, А. Ю. Михайлова, И. Н. Пугачева, А. Э. Горева, А. И. Солодкого, А. В. Белова, Д. В. Лихачева. За рубежом в исследовании по указанной тематике большой вклад внесли следующие авторы: Ф. Вебстер, Т. М. Мэтсон, У. С. Смит, Ф. В. Харт и др.

Однако то, что аварийность на регулируемых пересечениях все еще находится на очень высоком уровне, практически подтверждает, что существующие методики определения длительности светофорного цикла и организации дорожного движения на этих пересечениях нуждаются в совершенствовании. Анализ выполненных работ показывает отсутствие в настоящее время моделей движения транспортных средств, обеспечивающих безаварийное их прохождение через пересечение.

**Цель исследования.** Разработка методики обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков путем совершенствования организации движения автомобилей на них.

**Объект исследования** – процесс движения транспортных средств на регулируемых пересечениях.

**Предмет исследования** – организация и безопасность движения автомобилей на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить анализ влияния конфигурации пересечений и транспортных потоков, движущихся по одним и тем же полосам движения на них в разных направлениях, на безопасность дорожного движения.

2. Оценить полноту учета факторов, формирующих понятие «поток насыщения».

3. Определить учет влияния дополнительных факторов в существующих методиках расчета длительности светофорного цикла при движении транспортных средств на пересечениях.

4. Разработать математическую модель движения транспортных средств на пересечении, определяющую дистанцию между автомобилями, обеспечивающую безопасность дорожного движения.

5. Разработать методику обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков с учетом полученной математической модели движения транспортных средств.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

1. Установлены дополнительные факторы, влияющие на обеспечение безопасности дорожного движения на пересечениях при наличии поворотных потоков.

2. Обоснована необходимость использования минимально безопасного расстояния между движущимися транспортными средствами при определении длительности светофорного цикла.

3. Разработана математическая модель движения транспортных средств на пересечении, определяющая дистанцию между автомобилями, обеспечивающую безопасность дорожного движения.

4. Разработана методика обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков с учетом полученной математической модели движения транспортных средств.

5. Получены два патента на полезные модели «Устройство для оценки безопасности дорожного движения».

**Теоретическая значимость исследования** заключается в разработке математической модели движения транспортных средств на пересечении, использование которой обеспечит безопасность дорожного движения при организации движения на пересечениях.

**Практическая значимость исследования.** Применение разработанных в диссертационной работе методики обеспечения безопасности дорожного движения на пересечениях при наличии поворотных потоков, а также математической модели движения транспортных средств на пересечении, позволит:

1. Уточнить длительность цикла светофорной сигнализации для пересечений с поворотными потоками с учетом дополнительных факторов.

2. Повысить безопасность дорожного движения на пересечениях при наличии поворотных потоков.

3. Решать другие задачи по обеспечению безопасности дорожного движения для любых участков улично-дорожной сети (например, обеспечение безопасности дорожного движения в заторовых ситуациях, разработка математических моделей движения автономных транспортных средств, проведение экспертизы ДТП).

**Методы исследования.** Для решения задач диссертационного исследования методологической основой служат методы математического анализа, статистической обработки данных, математического моделирования движения транспортных средств.

**Положения, выносимые на защиту:**

- обоснование дополнительных факторов, влияющих на безопасность дорожного движения на пересечениях при наличии поворотных потоков;
- обоснование необходимости уточнения расчета длительности цикла светофорной сигнализации;

- математическая модель движения транспортных средств на пересечении, определяющая дистанцию между автомобилями, обеспечивающую безопасность дорожного движения;

- методика обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков с учетом полученной математической модели движения транспортных средств.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, п. 7 «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

**Степень достоверности научных положений и результатов** обосновывается тем, что теоретические исследования выполнены на основе применения методов математического анализа, экспериментальные материалы получены на основе натуральных исследований, результаты практических исследований подтверждают теоретические выводы.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований применяются в практической деятельности МБУ «Центр организации движения» г. Екатеринбург.

Теоретические положения и результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО УГЛТУ по направлениям подготовки 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта», 23.03.01, 23.04.01 «Технология транспортных процессов» на кафедре «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет» по направлениям подготовки 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта», 23.03.01, 23.04.01 «Технология транспортных процессов», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» на кафедре «Автомобильный транспорт».

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на научно-практических конференциях: научно-практическом семинаре «Подготовка и переподготовка специалистов в области организации автомобильных перевозок, технической эксплуатации автомобилей и обеспечения безопасности дорожного движения в современных условиях» (Курган, КГУ, 11-12 марта 2015 г.); XII Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» и конкурса по программе «Умник» (Екатеринбург, УГЛТУ, 01-30 апреля 2016 г.); международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (Пермь, ПНИПУ, 09-10 ноября 2017 г.); III ежегодной выставке-форуме транспортно-логистических услуг и технологий «TransUral 2017» «Современные тенденции и основные направления

развития автомобильных перевозок. Инновации в обеспечении безопасности дорожного движения» (Екатеринбург, Экспо, 15–17 ноября 2017 г.); 77-й международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (Москва, МАДИ, 28 января–01 февраля 2019 г.); международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (Пермь, ПНИПУ, 07–08 ноября 2019 г.); XIII международной научно-технической конференции «Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (Екатеринбург, УГЛТУ, 02–04 февраля 2021 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в том числе 4 статьи в научных журналах, включённых в перечень ведущих рецензируемых научных изданий, утверждённых ВАК РФ, одна – в журнале, рецензируемом Scopus, 2 патента РФ на полезные модели и 11 публикаций в прочих изданиях.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Содержит 140 страниц машинописного текста, 14 таблиц, 41 рисунок, 153 формулы, 3 приложения и список использованной литературы из 118 наименований.

*Во введении* представлена актуальность темы диссертационного исследования, определены её цели и задачи, показана научная новизна полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, апробация и практическая значимость работы.

*В первой главе* проведен анализ аварийности на пересечениях г. Екатеринбурга. Рассмотрено порядка 500 пересечений с ДТП, большая часть из которых являются регулируемыми. На 82 % пересечений транспортные потоки движутся с одной и той же полосы движения в разных направлениях. Анализ показал, что наибольшее число ДТП происходит в Орджоникидзевском районе г. Екатеринбурга. По конфигурации самыми аварийными являются четырехсторонние пересечения. По данным ГИБДД одной из основных причин возникновения ДТП является несоблюдение водителями скоростного режима движения транспортных средств. В отчетных документах не приводятся материалы об указании дистанции между автомобилями, движущимися в потоке, между тем движение транспортных средств с безопасной дистанцией является основным фактором, обеспечивающим безопасность движения.

Отмечено, что понятие «поток насыщения» развивалось в течение последних 70-ти лет. Осознание необходимости его введения пришло тогда, когда возникла проблема организации дорожного движения в условиях насыщенных



транспортных потоков. Анализ работ как российских, так и авторов за рубежом показал, что количественная оценка безопасности движения на пересечениях определяется по-разному. Расчеты, выполненные по формулам разных авторов, дают неоднозначные результаты.

Сделаны выводы, что при определении длительности светофорного цикла необходимо дополнительно учитывать следующие факторы: резкое замедление впереди движущегося автомобиля перед поворотом, непосредственно за поворотом, из-за внезапно возникшего препятствия в виде пешехода, неровностей проезжей части.

Были проанализированы научные работы в области организации и безопасности дорожного движения. Анализ показал, что указанные выше факторы при определении длительности светофорного цикла не учитывались в проведенных ранее исследованиях.

*Вторая глава* посвящена разработке математической модели движения транспортных средств на пересечении, определяющей дистанцию между автомобилями, обеспечивающую безопасность дорожного движения. Составлена система дифференциальных уравнений движения двух транспортных средств. В этих уравнениях учитываются следующие переменные: замедление автомобиля; время движения 1-го и 2-го автомобилей до полной остановки; время запаздывания, включающее время реакции водителя и время запаздывания срабатывания тормозного привода; время нарастания замедления.

Считается, что замедление автомобилей изменяется по линейному закону на промежутке времени нарастания замедления. Безаварийное движение транспортных средств на пересечении возможно, когда они движутся с безопасной дистанцией (минимально безопасным расстоянием между автомобилями). В математической модели рассмотрены все возможные случаи движения следующих друг за другом двух автомобилей с минимально безопасным расстоянием, которое обеспечит исключение столкновения при резком торможении впереди идущего транспортного средства.

В научной литературе при изучении движения автомобиля  $A$  при экстренном торможении в основном рассматриваются две модели движения. В рамках этих моделей необходимо определить остановочный путь транспортных средств. Изучением закономерностей изменения величин остановочного пути занимались такие авторы, как Евтюков С. А., Васильев Я. В., Иларионов В. А., Суворов Ю. Б., Боровский Б. Е. и др.

Существующие математические модели движения транспортных средств не точно определяют дистанцию между автомобилями, обеспечивающую безопасность дорожного движения.

Предложенная математическая модель движения транспортных средств на пересечении позволяет находить минимально безопасное расстояние между ними в общем виде.

*В третьей главе* разработана методика обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков с учетом полученной математической модели движения транспортных средств.

Использование методики дает возможность обеспечить безопасность дорожного движения путем учета в расчетах дополнительных факторов, влияние которых ранее не учитывалось.

Использование полученной математической модели движения транспортных средств позволит определить минимально безопасное расстояние между движущимися друг за другом транспортными средствами.

*В четвертой главе* представлены результаты выполненных натурных исследований движения транспортных средств на пересечении с поворотными потоками. Определены скорости движения транспортных средств на разрешающий сигнал светофора, расстояния между автомобилями в «пачке», движущимися на разрешающий сигнал светофора. Выявлено, что аварийные ситуации создаются в условиях формирования «пачки» автомобилей. Причем эта аварийная ситуация может повторяться многократно после каждого замедления какого-либо транспортного средства при возникновении помех для движения.

Выполненные исследования показали, что при движении автомобилей на пересечении с одной и той же полосы движения происходит замедление потока от двух до пяти раз в течение горения разрешающего сигнала светофора. Это приводит к возникновению риска возникновения ДТП, уменьшению пропускной способности и неэффективности организации дорожного движения на пересечении.

Определен социально-экономический эффект, который достигается за счет обеспечения безопасности дорожного движения на пересечениях. Снижение аварийности является результатом использования разработанной математической модели при организации дорожного движения автомобилей на пересечениях.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Обоснованы дополнительные факторы, влияющие на безопасность дорожного движения на пересечениях при наличии поворотных потоков.**

Выполненный анализ расчета длительности светофорного цикла показал, что ключевым фактором расчета является определение потока насыщения. При определении потока насыщения различные авторы выделяют

часть потока с постоянными характеристиками и принимают его в качестве «идеального».

При движении транспортных средств в реальных условиях существует ряд дополнительных факторов, которые влияют на безопасность дорожного движения и пропускную способность пересечения (табл. 1).

Таблица 1 – Дополнительные факторы, влияющие на безопасность дорожного движения и пропускную способность пересечения

№ пп	Дополнительные факторы	ДТП, с учетом указанных факторов, %
1	Резкое замедление впереди движущегося автомобиля перед поворотом	21
2	Резкое замедление впереди движущегося автомобиля непосредственно за поворотом	29
3	Резкое замедление впереди движущегося автомобиля из-за внезапно возникшего препятствия в виде пешехода	43
4	Резкое замедление впереди движущегося автомобиля из-за неровности проезжей части	7

В существующих методиках влияние этих факторов, не смотря на их значимость, не учитывается ни при определении потока насыщения, ни при определении длительности основных тактов особенно при наличии поворотных потоков на пересечениях. Указанные факторы приводят к резким изменениям скоростного режима транспортных средств на пересечениях при наличии поворотных потоков, а также создают аварийные ситуации и не обеспечивают расчетную пропускную способность пересечения.

## **2. Обоснована необходимость уточнения расчета длительности светофорного цикла на пересечениях при наличии поворотных потоков.**

Определяемая длительность светофорного цикла предполагает обеспечение расчетной пропускной способности пересечения на основе «идеального» потока насыщения. Любой из указанных выше факторов, возникших в процессе движения транспортных средств, изменяет скоростной режим движения транспортных средств и как следствие пропускную способность пересечения. Кроме этого создаются опасные для движения ситуации.

На основе натурных исследований определено, что указанные выше ситуации, связанные с изменением скоростного режима транспортных средств за время горения разрешающего сигнала в течение одного светофорного цикла возникают на пересечении до пяти раз. В связи с этим использование «идеального» потока насыщения при определении длительности светофорного цикла не обеспечивает предполагаемую расчетом пропускную способность пересечения.

Сделан вывод о необходимости уточнения расчета длительности светофорного цикла на пересечениях при наличии поворотных потоков.

### 3. Разработана математическая модель движения транспортных средств на пересечении, определяющая дистанцию между автомобилями, обеспечивающую безопасность дорожного движения.

Скоростной режим движения транспортных средств и расстояние между ними являются важнейшими факторами, обеспечивающими безопасность дорожного движения. Следовательно, возникает задача о необходимости аналитического определения минимально безопасного расстояния (дистанции) между движущимися автомобилями.

В настоящей работе при математическом моделировании рассматривается движение автомобиля при экстренном торможении на основе второй модели, т.е. когда ускорение при выполнении неравенства  $V^0 \leq \frac{j}{2}(T - t_3)$  задается равенством

$$a(t) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t \leq t_3; \\ -\alpha(t - t_3), & t_3 < t \leq t_{ocm}^{(1)}, \end{cases} \quad (1)$$

или когда ускорение при выполнении неравенства  $V^0 > \frac{j}{2}(T - t_3)$  задается равенством

$$a(t) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t \leq t_3; \\ -\alpha(t - t_3), & t_3 < t \leq T; \\ -j, & T < t \leq t_{ocm}^{(2)}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\alpha = \frac{j}{T - t_3}$ ;  $t_3 = t_p + t_{3n}$  – время запаздывания автомобиля  $A$ ;  $t_p$  – время реакции водителя автомобиля  $A$ ;  $t_{3n}$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода автомобиля  $A$ ;  $t_{нз}$  – время нарастания замедления автомобиля  $A$ ;  $j$  – установившееся замедление автомобиля  $A$  в данных дорожных условиях;  $T$  определяется равенством  $T = t_p + t_{3n} + t_{нз}$ ;  $V^0$  – скорость автомобиля  $A$  в начальный момент времени  $t_0 = 0$ ;  $t_{ocm}^{(1)}$  – время остановки автомобиля  $A$  при выполнении неравенства  $V^0 \leq \frac{j}{2}(T - t_3)$ ;  $t_{ocm}^{(2)}$  – время остановки автомобиля  $A$  при выполнении неравенства  $V^0 > \frac{j}{2}(T - t_3)$ .

Рассмотрим поступательное движение автомобилей  $A_1$  и  $A_2$ , причем автомобиль  $A_2$  движется сзади автомобиля  $A_1$ . За начальный момент времени  $t_0=0$  принимаем момент обнаружения водителем автомобиля  $A_2$  момента начала торможения водителем автомобиля  $A_1$ . Считаем, что автомобили  $A_1$  и  $A_2$  в начальный момент времени имели скорости  $V_1^0$  и  $V_2^0$  соответственно, причем скорости удовлетворяют неравенству

$$V_1^0 < V_2^0. \quad (3)$$

Будем считать, что в начальный момент времени  $t_0=0$ , расстояние между автомобилями  $A_1$  и  $A_2$  равно  $S^0$ . Допустим, что выполняются неравенства

$$V_1^0 \leq \frac{j_1}{2}(T_1 - t_{13}) \quad (4)$$

$$V_2^0 \leq \frac{j_2}{2}(T_2 - t_{23}). \quad (5)$$

Законы изменения пути и скорости при экстренном торможении автомобиля  $A_1$  при выполнении неравенства (3) имеют вид

$$V_1(t) = \begin{cases} V_1^0, & 0 \leq t \leq t_{13}; \\ V_1^0 - \frac{\alpha_1}{2}t^2 + \alpha_1 t_{13}t - \frac{\alpha_1}{2}t^2, & t_{13} < t \leq t_{locm}^{(1)}; \\ 0, & t \geq t_{locm}^{(1)}; \end{cases} \quad (6)$$

$$S_1(t) - S^0 = \begin{cases} V_1^0 t, & 0 \leq t \leq t_{13}; \\ \frac{\alpha_1}{6}t_{13}^3 + \left[ V_1^0 - \frac{\alpha_1}{2}t_{13}^2 \right]t + \frac{\alpha_1 t_{13}}{2}t^2 - \frac{\alpha_1}{6}t^3, & t_{13} < t \leq t_{locm}^{(1)}; \\ t_{13}V_1^0 + \frac{2}{3}V_1^0 \sqrt{\frac{2V_1^0}{j_1}(T_1 - t_{13})}, & t \geq t_{locm}^{(1)}, \end{cases} \quad (7)$$

где  $\alpha_1 = \frac{j_1}{T_1 - t_{13}}$ ;  $t_{13} = t_{13n}$  – время запаздывания автомобиля  $A_1$ ;  $t_{13}$  – время

запаздывания срабатывания тормозного привода автомобиля  $A_1$ ;  $t_{13n}$  – время нарастания замедления автомобиля  $A_1$ ;  $j_1$  – величина установившегося замедления в данных дорожных условиях для автомобиля  $A_1$ ;  $T_1 = t_{13n} + t_{1н3}$ ;

$S^0$  – расстояние между автомобилями в момент времени  $t_0 = 0$ ;  $t_{locm}^{(1)}$  – время остановки автомобиля  $A_1$  при выполнении неравенства (4) определено ра-

венством  $t_{locm}^{(1)} = t_2 = t_{13} + \sqrt{\frac{2}{\alpha_1}V_1^0}$ .

Законы изменения скорости и длины пройденного пути для автомобиля  $A_2$  также имеют вид

$$V_2(t) = \begin{cases} V_2^0, & 0 \leq t \leq t_{23}; \\ V_2^0 - \frac{\alpha_2}{2} t_{23}^2 + \alpha_2 t_{23} t - \frac{\alpha_2}{2} t^2, & t_{23} < t \leq t_{2ocm}^{(1)}; \\ 0, & t > t_{2ocm}^{(1)}; \end{cases} \quad (8)$$

$$S_2(t) = \begin{cases} V_2^0 t, & 0 \leq t \leq t_{23}; \\ \frac{\alpha_2}{6} t_{23}^3 + \left[ V_2^0 - \frac{\alpha_2}{2} t_{23}^2 \right] t + \frac{\alpha_2 t_{23}}{2} t^2 - \frac{\alpha_2}{6} t^3, & t_{23} < t \leq t_{2ocm}^{(1)}; \\ t_{23} V_2^0 + \frac{2}{3} V_2^0 \sqrt{\frac{2V_2^0}{\alpha_2}}, & t \geq t_{2ocm}^{(1)}, \end{cases} \quad (9)$$

где  $\alpha_2 = \frac{j_2}{T_2 - t_{23}}$ ;  $j_2$  – величина установившегося замедления в данных дорожных условиях для автомобиля  $A_2$ ;  $t_{23}$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода автомобиля  $A_2$ ;  $T_2 = t_p + t_{23n} + t_{2нз}$ ;  $t_{2нз}$  – время нарастания замедления автомобиля  $A_2$ ;  $t_p$  – время реакции водителя автомобиля  $A_2$ ;

$$t_{2ocm}^{(1)} = t_{23} + \sqrt{\frac{2V_2^0}{\alpha_2}} \leq T_2. \quad (10)$$

**Постановка задачи.** Пусть законы движения автомобилей  $A_1$  и  $A_2$  на отрезке времени  $[0, \bar{t}]$  описывается равенствами (6) – (7) и (8) – (9) соответственно. Необходимо выбрать такое минимально безопасное расстояние  $S_{\min}^0 \geq 0$  между автомобилями в начальный момент времени  $t_0 = 0$ , чтобы для любых  $\forall S^0 \geq 0: S^0 \geq S_{\min}^0$  неравенство

$$\Delta S(t) = S_1(t) - S_2(t) \geq 0 \quad (11)$$

выполнялось для всех  $t \in [0, \bar{t}]$ , а для  $\forall S^0 \geq 0: S^0 < S_{\min}^0$  на отрезке времени  $[0, \bar{t}]$  необходимо найдется момент времени  $t_c \in [0, \bar{t}]$ , при котором произойдет столкновение автомобилей  $A_1$  и  $A_2$ .

Если при движении автомобилей  $A_1$  и  $A_2$  функция

$$s(t) = \int_0^t \Delta V(\tau) d\tau = \Delta S(t) - S^0 \quad (12)$$

принимает неотрицательные значения на отрезке времени  $[0, \bar{t}]$ , то столкновение автомобилей  $A_1$  и  $A_2$  на этом отрезке времени не произойдет, а начальное безопасное расстояние  $S^0$  может быть любым неотрицательным числом, т. е. минимально безопасное расстояние  $S_{\min}^0 = 0$ .

Если функция  $s(t)$  принимает на отрезке времени  $[0, \bar{t}]$  как отрицательные, так и неотрицательные значения, то минимально безопасное расстояние для этого отрезка времени определяется равенством

$$S_{\min}^0 = - \inf_{t \in [0, \bar{t}]} s(t). \quad (13)$$

Данные критерии дают практический метод нахождения минимально безопасного расстояния между автомобилями  $A_1$  и  $A_2$  для заданного отрезка времени.

При экстренном торможении автомобиля  $A_2$  для нахождения минимально безопасного расстояния  $S_{\min}^0$  в качестве отрезка времени  $[0, \bar{t}]$  необходимо рассматривать отрезок времени  $[0, t_{2ocm}]$ , где  $t_{2ocm}$  – время движения автомобиля  $A_1$  до полной остановки.

Таким образом, для нахождения минимально безопасного расстояния  $S_{\min}^0$  в случае, если функция  $s(t)$  может принимать на отрезке времени  $[0, t_{2ocm}]$ , как положительные, так и отрицательные значения, необходимо:

1) найти все моменты времени  $t_i$  подозрительные на экстремум, т.е. точки, в которых выполняется равенство

$$\Delta V(t_i) = 0 \quad (14)$$

2) найти все точки  $t_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) (безопасные моменты касания), в которых функция  $s(t)$  достигает отрицательного минимума, тогда минимально безопасное расстояние определяется равенством

$$S_{\min}^0 = - \min_{k=1, 2, \dots, m} \{s(t_k)\}, \text{ если } s(t_{2ocm}) \geq 0$$

и

$$S_{\min}^0 = - \min \{s(t_1), \dots, s(t_m), s(t_{2ocm})\}, \text{ если } s(t_{2ocm}) < 0.$$

Если функция  $s(t)$  принимает только положительные значения, т. е.  $s(t) \geq 0$  для всех  $t \in [0, t_{2ocm}]$ , то в этом случае  $S_{\min}^0 = 0$ .

Метод, основанный на доказанных утверждениях, позволяет в дальнейшем находить минимально безопасное расстояние между автомобилями, движущимися в попутном направлении, при любом техническом состоянии автомобилей  $A_1$ ,  $A_2$  и любых дорожных условиях.

Нахождение минимально безопасного расстояния между автомобилями, движущимися в попутном направлении на горизонтальном участке дороги, будет определено при выполнении следующих условий:

**А)** При выполнении неравенства

$$0 < t_{13n} < t_{1locm}^{(1)} \leq t_{23} < t_{2ocm}^{(1)}. \quad (15)$$

Запишем выражения функций  $\Delta V(t)$  и  $s(t) = \Delta S(t) - S^0$  на отрезке времени  $[0, t_{2ocm}^{(1)}]$

$$\Delta V = \begin{cases} V_1^0 - V_2^0, & 0 \leq t \leq t_{13}; \\ (V_1^0 - V_2^0 - \frac{\alpha_1}{2} t_{13}^2) + \alpha_1 t_{13} t - \frac{\alpha_1}{2} t^2, & t_{13} < t \leq t_{1locm}^{(1)}; \\ -V_2^0, & t_{1locm}^{(1)} < t \leq t_{23}; \\ -V_2^0 + \frac{\alpha_2}{2} t_{23}^2 - \alpha_2 t_{23} t + \frac{\alpha_2}{2} t^2, & t_{23} < t \leq t_{2ocm}^{(1)} \end{cases} \quad (16)$$

$$s(t) = \begin{cases} (V_1^0 - V_2^0)t, & 0 \leq t \leq t_{13}; \\ \frac{\alpha_1}{6} t_{13}^3 + \left[ (V_1^0 - V_2^0) - \frac{\alpha_1}{2} t_{13}^2 \right] t + \frac{\alpha_1 t_{13}}{2} t^2 - \frac{\alpha_1}{6} t^3, & t_{13} < t \leq t_{1locm}^{(1)}; \\ t_{13} V_1^0 + \frac{2}{3} V_1^0 \sqrt{\frac{2V_1^0}{\alpha_1}} - V_2^0 t, & t_{1locm}^{(1)} < t \leq t_{23}; \\ t_{13} V_1^0 + \frac{2}{3} V_1^0 \sqrt{\frac{2V_1^0}{\alpha_1}} - \frac{\alpha_2}{6} t_{23}^3 - \left[ V_2^0 - \frac{\alpha_2}{2} t_{23}^2 \right] t - \frac{\alpha_2 t_{23}}{2} t^2 + \frac{\alpha_2}{6} t^3, & t_{23} < t \leq t_{2ocm}^{(1)}. \end{cases} \quad (17)$$

**А1)** При выполнении условия (15) выполняется неравенство  $t_{1locm}^{(1)} < t_{23}$ .

Исследуя функцию  $s(t) = \Delta S(t) - S^0$ , на каждом промежутке, учитывая, что

$$\Delta V(t) = \frac{ds(t)}{dt},$$

найдем наименьшее отрицательное значение функции  $s(t)$ , которое в данном случае равно

$$s(t_{2ocm}^{(1)}) = -(V_2^0 t_{23} - V_1^0 t_{13}) - \frac{2}{3} \left[ V_2^0 \sqrt{\frac{2V_2^0}{\alpha_2}} - V_1^0 \sqrt{\frac{2V_1^0}{\alpha_1}} \right].$$

Графики функций  $\Delta V$  и  $s(t)$  изображены на рис. 1.



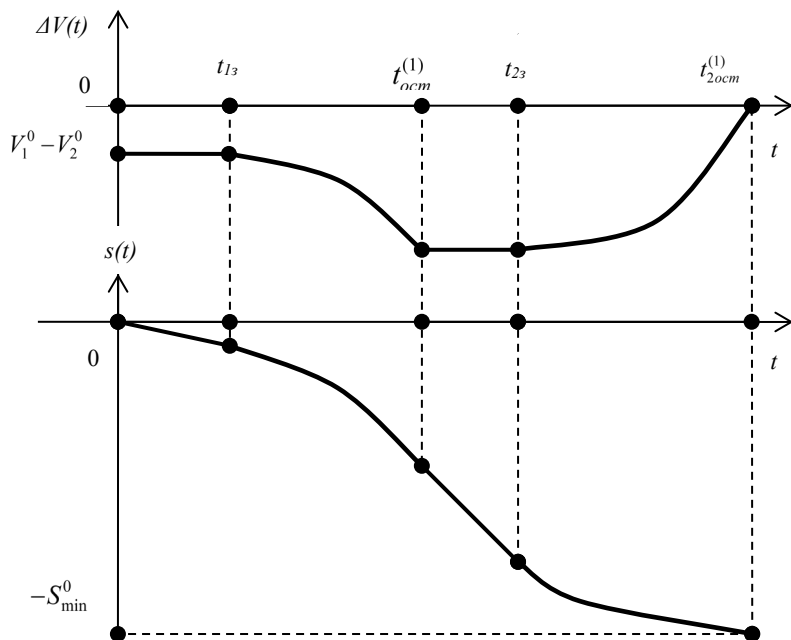


Рисунок 1 – Графики функций  $\Delta V$  и  $s(t)$

Тогда минимально безопасное расстояние будет равно

$$S_{\min}^0 = (V_2^0 t_{23} - V_1^0 t_{13}) + \frac{2}{3} \left[ V_2^0 \sqrt{\frac{2V_2^0}{\alpha_2}} - V_1^0 \sqrt{\frac{2V_1^0}{\alpha_1}} \right].$$

Точно также проводятся рассуждения и в остальных случаях:

**A2)**  $0 < t_{13n} < t_{1ocm}^{(1)} = t_{23} < t_{2ocm}^{(1)}$  и **B)**  $0 < t_{13n} \leq t_{23} < t_{1ocm}^{(1)} \leq t_{2ocm}^{(1)}$ .

#### 4. Разработана методика обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков с учетом полученной математической модели движения транспортных средств.

Методика обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков на первом этапе предусматривает выполнение расчетов длительности светофорного цикла, изложенных в работе Кременца Ю.А., Печерского М.П., Афанасьева М.Б. Схематично длительность светофорного цикла определяется в следующей последовательности (рис. 2).



Рисунок 2 – Последовательность расчета длительности цикла и его элементов

В реальных условиях движения на пересечении с поворотными потоками возникают ситуации, которые влияют на безопасность дорожного движения на пересечении, но в используемой на первом этапе методике определения длительности светофорного цикла они не учтены. Указанные ситуации возникают под действием дополнительных факторов в том или ином сочетании во время движения транспортных средств в течение длительности основного такта.

Поэтому на втором этапе определяются величины скоростей движения транспортных средств и минимально безопасные расстояния между движущимися транспортными средствами, аналитически определенными в настоящей работе, зависящие от величины скоростей движения.

Проведенные натурные исследования показывают, что во время действия основного такта торможение части потока при движении на пересечении с поворотными потоками, вызванное перечисленными выше факторами, происходит от двух до пяти раз в зависимости от конфигурации пересечения. Это приводит к тому, что реальное количество автомобилей, прошедших через пересечение с поворотными потоками оказывается

меньше расчетного по используемой методике определения длительности светофорного цикла. Определяемая же длительность основного такта по существующей методике не учитывает влияние выше перечисленных факторов на количество прошедших автомобилей через пересечение.

Выполненные исследования показали, что при движении автомобилей на пересечении с одной и той же полосы движения происходит замедление потока от двух до пяти раз в течение длительности основного такта. При этом с указанным замедлением, как правило, движутся «пачки», состоящие от двух до четырех автомобилей.

Значения величины минимально безопасного расстояния, определённые по математической модели, показывают, что в поворотных потоках безопасную дистанцию поддерживают всего 35–45 % водителей. Это является одной из причин высокой аварийности на пересечениях с поворотными потоками. Действие дополнительных факторов на пересечениях с поворотными потоками проявляются не только при движении автомобилей в «пачках», но и в случае прямолинейно движущихся автомобилей, следующих за «пачкой». Значения величин минимально безопасного расстояния, определённые по математической модели, показывают, что в случае, если транспортное средство движется прямолинейно за «пачкой» в поворотных потоках, безопасную дистанцию между ними поддерживают всего 25–30 % водителей. Это также является одной из причин аварийности на пересечениях с поворотными потоками.

Экспериментальные данные показали, что в большинстве случаев диапазон изменения скорости автомобилей  $A_1$  и  $A_2$  варьируется в пределах от 5,4 до 23,4 км/ч и от 6,5 до 27 км/ч соответственно на пересечениях с поворотными потоками. Для удобства использования на практике эти диапазоны изменения скорости автомобилей были разбиты на десять интервалов. В каждом интервале для минимальных и максимальных значений величин скорости определены минимально безопасные расстояния по математической модели.

На третьем этапе в зависимости от соотношения минимально безопасных расстояний, определенных по математической модели, и значений дистанции, поддерживаемой водителями между автомобилями в «пачках» при поворотном движении на пересечениях, полученных при натурных исследованиях, определяются значения поправочных коэффициентов  $k_n$  для корректировки длительности основного такта (табл. 2). Эти коэффициенты позволят учесть влияние дополнительных факторов на пересечении с поворотными потоками на определение длительности основного такта.

В зависимости от длительности основного такта при движении автомобилей на пересечении с одной и той же полосы движения его время должно быть увеличено в среднем на 6-15 %, что учитывается введением

поправочного коэффициента в существующую методику определения длительности светофорного цикла. Величина поправочного коэффициента  $k_n$  будет варьироваться в пределах от 6 до 15 %. После корректировки длительности основного такта в рассматриваемых направлениях движения необходимо скорректировать длительность цикла.

Таблица 2 – Определение величины поправочного коэффициента  $k_n$  с учетом минимально безопасного расстояния по математической модели

№ пп	Величина скорости автомобиля $A_1$ , км/ч	Величина скорости автомобиля $A_2$ , км/ч	Минимально безопасное расстояние по математической модели $S_{\min}^0$ , м	Значение поправочного коэффициента $k_n$ , %
1.	5,4–16,2	6,5–18,0	2,6–7,6	7
2.	7,2–14,4	9,0–16,2	3,9–6,8	8–10
3.	9,0–10,8	10,8–12,6	4,6–5,3	9
4.	10,8–18,0	12,6–21,6	5,3–10,2	9–13
5.	12,6–14,4	13,7–16,2	5,4–6,8	6–8
6.	14,4–16,2	16,2–19,8	6,8–9,4	8–13
7.	16,2–18,0	18,0–21,6	7,6–10,2	8–13
8.	18,0–19,8	19,8–23,4	8,3–11,0	7–12
9.	19,8–21,6	23,4–27,0	11,0–13,9	12–15
10.	21,6–23,4	25,2–27,0	11,8–12,6	11

Последовательность расчета длительности цикла и его элементов в разработанной методике обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков будет схематично выглядеть следующим образом (рис. 3).

Наблюдения показали, что для каждого пересечения характерны свои условия движения и соответствующие им минимально безопасные расстояния.

В результате применения методики обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков были получены данные о ее результативности, проявляющейся в снижении аварийности.

При использовании поправочных коэффициентов на практике для каждого диапазона значений скоростей движущихся автомобилей определены соответствующие им минимально безопасные расстояния. Движение транспортных средств с дистанцией, соответствующей минимально безопасному расстоянию, может быть обеспечено с помощью установки дорожного знака 3.16 «Ограничение минимальной дистанции».

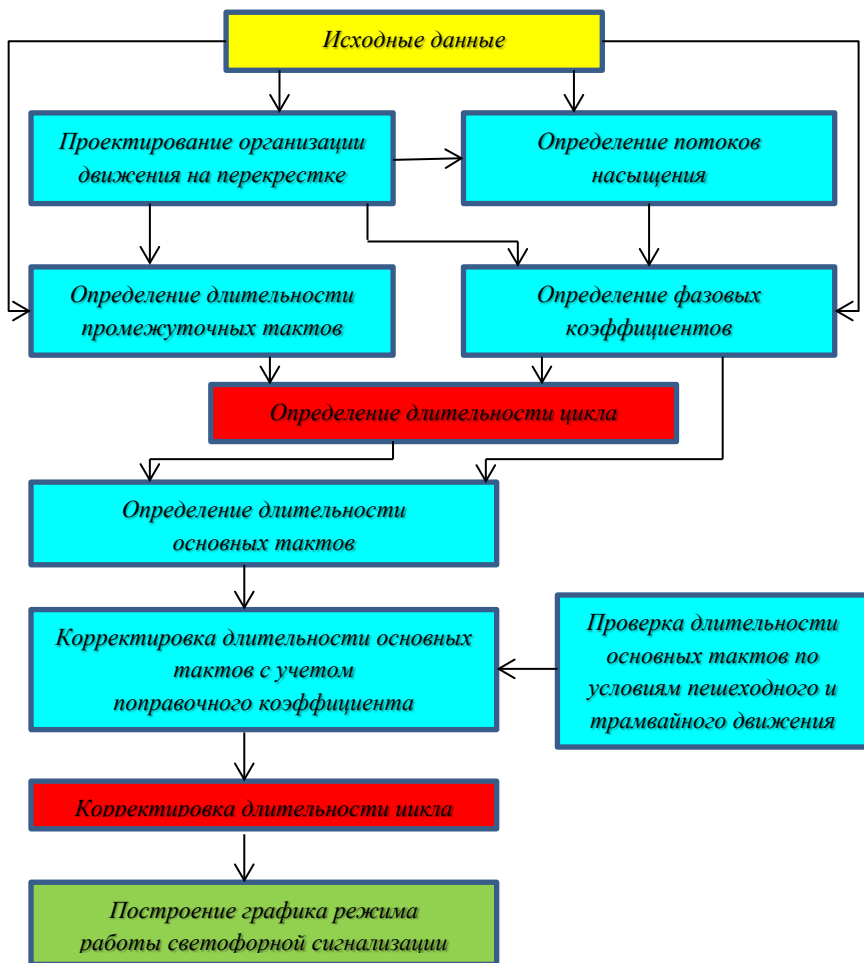


Рисунок 3 – Предлагаемая последовательность расчета длительности цикла и его элементов

Разработанная математическая модель движения транспортных средств может быть использована при создании алгоритмов управления автономными транспортными средствами, моделировании дорожного движения и др.

### III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Итогом диссертационного исследования являются следующие результаты:

1. Анализ статистических данных аварийности в г. Екатеринбурге показал значительное число ДТП, совершаемых на пересечениях. Они занимают третье место среди ДТП, связанных с неправильно выбранной скоростью движения и выездом на полосу встречного движения. По официальным данным ГИБДД МВД России в 2019 г. в Российской Федерации аварийность на перекрестках в 2019 году (19,6 % от общего числа ДТП) занимает первое место среди ДТП, связанных с неправильно выбранной скоростью движения (9,4 %), выездом на полосу встречного движения (8,5 %) и нарушением правил проезда пешеходных переходов (11 %). Это подтверждает необходимость совершенствования организации движения на пересечениях.

2. Анализ влияния конфигурации пересечений и транспортных потоков, движущихся по одним и тем же полосам движения на них в разных направлениях, на безопасность дорожного движения проводился ежегодно на около 500 пересечениях. Установлено, что наибольшее число ДТП происходит на четырехсторонних пересечениях (54 %). На трехсторонних пересечениях происходит 44 % ДТП, 2 % ДТП происходит на многосторонних пересечениях. На 82 % пересечений транспортные потоки движутся с одной и той же полосы движения в разных направлениях.

3. Понятие «поток насыщения» – ключевое понятие, используемое при организации дорожного движения на регулируемых пересечениях. Анализ работ специалистов разных стран показывает, что многие авторы трактуют понятие «поток насыщения» неодинаково. Не смотря на разность подходов к определению величины потока насыщения, обеспечение безопасности дорожного движения при этом не учитывается. Не учитывается влияние всех факторов, необходимых для определения потока насыщения, обеспечивающих безопасность дорожного движения. Это приводит к неоднозначности определения длительности светофорного цикла, длительности основных тактов на пересечении и необходимости изменения существующих расчетов длительности светофорного цикла на пересечениях с учетом обеспечения безопасности дорожного движения.

4. Обоснованы дополнительные факторы, влияющие на безопасность дорожного движения на пересечениях при наличии поворотных потоков. В существующих методиках расчета длительности светофорного цикла влияние этих факторов, несмотря на их значимость, не учитывается ни при

определении потока насыщения, ни при определении длительности основных тактов особенно при наличии поворотных потоков на пересечениях.

5. Разработана математическая модель движения транспортных средств на пересечении, определяющая дистанцию между автомобилями, обеспечивающую безопасность дорожного движения.

6. Разработана методика обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков с учетом полученной математической модели движения транспортных средств. Введен поправочный коэффициент  $k_n=6-15\%$  для корректировки длительности основного такта и цикла в зависимости от условий движения на пересечениях и соответствующих им минимально безопасным расстояниям. Предложена установка дорожного знака на подходе к пересечению 3.16 «Ограничение минимальной дистанции».

7. Определенное минимально безопасное расстояние в математической модели движения транспортных средств может быть использовано при разработке алгоритмов управления автономными транспортными средствами, в интеллектуальных транспортных системах.

Таким образом, использование результатов исследования даст возможность решить актуальную научно-практическую задачу по обеспечению безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков и повысить эффективность организации движения.

#### **IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:**

**Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:**

1. Михалева, Л. В. Результаты определения минимально безопасного расстояния между легковыми автомобилями, движущимися в попутном направлении / Л. В. Михалева, О. В. Алексеева, **О. С. Гасилова**, Б. А. Сидоров // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 214–219.

2. Михалева, Л. В. Оценка безопасности движения автомобилей в рамках системы ВАДС / Л. В. Михалева, О. В. Алексеева, **О. С. Гасилова**, Б. А. Сидоров // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 220–227.

3. **Гасилова, О. С.** Влияние на безопасность дорожного движения конфигурации перекрестков / О. С. Гасилова, Б. А. Сидоров, О. Н. Чернышев // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 94.

4. **Гасилова, О. С.** Нахождение минимально безопасного расстояния между прямолинейно движущимися транспортными средствами на регулируемых пересечениях / О. С. Гасилова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 4. – С. 49–63.

**Публикации в изданиях, индексируемых международной системой цитирования Scopus:**

5. Gorev, A. Prerequisite for accident-free traffic at signal-controlled intersections / A. Gorev, **O. Gasilova**, B. Sidorov // Architecture and Engineering. – 2021. – vol. 6. – № 1. – P. 73-80.

**Публикации в других рецензируемых изданиях:**

6. Алексеева, О. В. Оценка безопасности движения в интенсивных транспортных потоках / О. В. Алексеева, **О. С. Гасилова**, Б. Н. Карев, Л. В. Михалева, Б. А. Сидоров // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. – 2016. – № 2(6). – С.14–19.

**Публикации в сборниках материалов конференций:**

7. Сидоров, А. Б. Предлагаемая схема организации дорожного движения с учетом движения на перекрестке при светофорном регулировании / А. Б. Сидоров, **О. С. Гасилова** // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы IV Всероссийской научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2008. – Ч. 1. – С. 309–311.

8. Столяров, П. А. Повышение пропускной способности улично-дорожной сети / П. А. Столяров, **О. С. Гасилова**, Б. А. Сидоров // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы VII Всероссийской научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – Ч. 1. – С. 295–297.

9. Тарасов, С. А. Совершенствование организации дорожного движения на пересечениях с интенсивными пешеходными потоками / С. А. Тарасов, **О. С. Гасилова**, Б. А. Сидоров // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы VII Всероссийской научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – Ч. 1. – С. 301–303.

10. Есаулкова, А. В. Влияние пешеходных потоков на пропускную способность регулируемых пересечений / А. В. Есаулкова, А. Е. Павлова, **О. С. Гасилова**, Б. А. Сидоров // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2014. – Ч. 1. – С. 27–30.



11. Беляев, А. С. Использование имитационного моделирования в повышении пропускной способности улично-дорожной сети / А. С. Беляев, А. Е. Кунгуров, **О. С. Гасилова**, В. П. Митюков // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы VII Всероссийской научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. – Ч. 1. – С. 266–268.

12. **Гасилова, О. С.** Связь между траекториями движения автомобилей на пересечениях и безопасностью дорожного движения / О. С. Гасилова, Б. А. Сидоров // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XII Всероссийской научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2016. – Ч. 1. – С. 226–228.

13. Лыжина, М. О. Влияние типов пересечений на безопасность дорожного движения / М. О. Лыжина, **О. С. Гасилова**, Б. А. Сидоров // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. – С. 323–325.

14. Алексеева, О. В. Натурные исследования перестроений транспортных средств на улично-дорожной сети / О. В. Алексеева, **О. С. Гасилова**, Е. А. Ивачев, М. О. Лыжина // Организация и безопасность дорожного движения : материалы X международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д.т.н., проф. Л. Г. Резника – Тюмень : ТИУ, 2017. – Т.2. – С. 139–142.

15. Романов, В. В. Оценка безопасности дорожного движения на пересечениях автомобильных дорог / В. В. Романов, Э. З. Грехова, **О. С. Гасилова** // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XV Всероссийской научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 305–308.

16. Астафьева, О. М. Реализация программы обеспечения безопасности движения в субъектах УрФО / О. М. Астафьева, **О. С. Гасилова**, Б. А. Сидоров // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIII Международной научно-технической конференции – Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. – С. 314–317.

#### **Патенты на полезные модели:**

17. Патент № 135172 Российская Федерация МПК G09В 19/14 (2006.01). Устройство для оценки безопасности дорожного движения : № 2013426812 : заявлено 11.06.2013 : опубликовано 27.11.2013 / **Гасилова О. С.**, Алексеева О. В. заявитель и патентообладатель УГЛТУ. 3 с.

18. Патент № 192549 Российская Федерация МПК G09B 19/14 (2006.01) G09B 1/14 (2006.01) : Устройство для оценки безопасности дорожного движения : № 2019115421 : заявлено 20.05.2019 : опубликовано 23.09.2019 / Алексеева О. В., **Гасилова О. С.**, Старков В. В., Безсолицин Н. П., Демидов Д. В., Шерстобитов С. В., Сидоров Б. А. заявитель и патентообладатель УГЛТУ. 10 с.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 25.06.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ 56.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

