

*На правах рукописи*



**ФАДИНА Ольга Сергеевна**

**МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТНЫМИ РЕЖИМАМИ  
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Оренбург 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель – **Шепелёв Владимир Дмитриевич**  
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Макарова Ирина Викторовна**  
доктор технических наук, профессор  
Набережночелнинский институт (филиал)  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)  
федеральный университет» заведующий кафедрой  
сервиса транспортных систем

**Неволин Дмитрий Германович**  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
университет путей сообщения» заведующий  
кафедрой проектирования и эксплуатации  
автомобилей

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Защита диссертации состоится «18» марта 2026 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета 24.2.352.01, на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд.170215.

С диссертацией и авторефератом диссертации можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» ([www.osu.ru](http://www.osu.ru)).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент



Хасанов Ильгиз Халилович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В современных городах наблюдается проблема неэффективного использования транспортной инфраструктуры в межпиковый период, когда интенсивность движения значительно ниже пиковых значений. Именно в это время наблюдаются наибольшие резервы для снижения задержек на регулируемых пересечениях без необходимости существенных капитальных вложений.

Традиционные системы светофорного регулирования, работающие по жёстким циклам, не учитывают изменяющуюся интенсивность движения и специфику транспортного потока в межпиковые часы. В результате автотранспортные средства вынуждены простаивать на регулируемых пересечениях даже при отсутствии автотранспортного потока на конфликтующем направлении движения. Это приводит к росту задержек, неоправданному увеличению времени в пути, дополнительному расходу топлива и, как следствие, к экономическим потерям и росту выбросов загрязняющих веществ.

Особенностью автотранспортного потока в межпиковый период является его более однородный состав: преобладание легковых транспортных средств, устойчивые интервалы движения, меньшая доля грузового транспорта. Эти характеристики создают благоприятные условия для организации согласованных режимов движения, способных минимизировать задержки за счёт безостановочного проезда автотранспортных средств.

Существующие методики оценки пропускной способности, базирующиеся на статистических данных, имеют недостатки, включая отсутствие учета текущего состояния транспортного потока и состояния дорожного покрытия, что снижает их точность. Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью поиска и внедрения новых методов управления движением на регулируемых пересечениях, ориентированных на сокращение задержек автотранспортных средств.

**Объект исследования** – процесс движения транспортных потоков на регулируемых пересечениях в условиях неполной загрузки (межпиковый период).

**Предмет исследования** – закономерности изменения задержек и пропускной способности регулируемых пересечений при реализации алгоритма безостановочного проезда автотранспортных средств.

**Цель исследования** – повышение эффективности функционирования улично-дорожной сети на основе управления скоростными режимами автотранспортных потоков.

**Задачи исследования:**

1) провести анализ современных методов и систем управления движением автотранспортных потоков на регулируемых участках улично-дорожной сети;

2) разработать математическую модель расчета средней скорости движения автотранспортных средств для безостановочного проезда регулируемых пересечений;

3) провести программную верификацию и апробацию математической модели управления скоростными режимами, определяющее изменение задержки групповых автотранспортных средств;

4) разработать методику организации безостановочного проезда для систем динамического управления дорожным движением и оценить ее эффективность.

#### **Положения научной новизны, выносимые на защиту:**

1) методика учета структурной неоднородности транспортного потока и состояния дорожного покрытия, позволяющая оценить время разъезда очереди автотранспортных средств на регулируемых пересечениях;

2) математическая модель расчета средней скорости движения групповых автотранспортных средств для организации безостановочного проезда регулируемых пересечений, отличающаяся учетом геометрических параметров улично-дорожной сети, режимов работы светофорных объектов;

3) методика управления скоростными режимами транспортных потоков, отличающаяся использованием методов оценки динамических параметров групповых и внегрупповых автотранспортных средств, позволяющая сократить временные задержки и повысить пропускную способность на регулируемых участках улично-дорожной сети.

**Практическая значимость** – повышение эффективности использования улично-дорожной сети на основе динамического управления скоростными режимами автотранспортных потоков.

**Содержание диссертационной работы** соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.5. – Эксплуатация автомобильного транспорта в части п. 3 – Исследование закономерностей, разработка моделей, алгоритмов и специального программного обеспечения в решении задач проектирования, организации, планирования, управления и анализа транспортного процесса; п. 8 – Исследования в области технологий организации дорожного движения, развития технических средств организации дорожного движения.

**Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов** основаны на комплексном применении теоретического анализа, натурных наблюдений, имитационного моделирования и статистической обработки данных. В работе использован методологический аппарат, представленный в трудах отечественных и зарубежных ученых: Афанасьева М. Б., Врубель Ю. А., Капитанова В. Т., Шауро С. В., Клиновштейна Г. И., Коноплянко В. И., Кременца Ю. А., Левашева А. Г., Пугачева И. Н., Жданова В. Л., Горева А. Э., Володина Ю. И., Затонского А. В., Евтюкова С. А., Якунина Н. Н., Якунину Н. В., Зырянова В. В., Жанказиева С. В., Хейт Ф., Иносэ Х., Хамада Т., ОДМ 218.2.020-2012, Дрю Д., Сильянова В. В., Уордропа Дж., Вебстера Ф. В., Андропова Р. В., Морозова В. В., Шепелева В. Д., Городокина В. А., Бранстона

Д. и многих других. Для сбора и анализа эмпирических данных применялись современные технологии, такие как свёрточные нейронные сети (система AIMS есо) для детектирования и анализа автотранспортных потоков, а также программный комплекс PTV Vissim для моделирования. Достоверность результатов обеспечивается репрезентативной выборкой данных, полученных с 22-х полос движения 11-и регулируемых пересечений г. Челябинска, верификацией модельных расчётов на основе экспериментальных данных, применением кластерного анализа (метод Уорда) и дисперсионного анализа для оценки однородности выборки в среде SPSS, а также использованием методов нечёткой логики (пакет fuzzyTECH) для учёта неопределённостей в условиях реального дорожного движения. Обоснованность выводов подтверждается корректным выбором и апробацией корректирующих коэффициентов, учитывающих состояние дорожного покрытия и структуру транспортного потока, и их верификацией в рамках модельных экспериментов.

**Реализация результатов работы.** Основные результаты работы внедрены в ООО НТК «МИР» г. Челябинска.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на международной научно-технической конференции «Автоматизация» (Сочи, 9-16 сентября 2023 г.); всероссийской научной конференции с международным участием «Цифровая индустрия: состояние и перспективы развития 2023 (ЦИСП'2023)» (Челябинск, 21–23 ноября 2023 г.); международной научно-технической конференции «Экология и техносферная безопасность» (Сочи, 25-29 марта 2024 г.); XIX-ой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 18-20 ноября 2024); XX-ой Международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 19-21 ноября 2025); научных семинарах кафедр «Автомобильный транспорт», «Автомобили и автомобильный сервис» ЮУрГУ (2021-2025 гг.); Передовой инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала» (2025 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе две статьи в журнале, входящем в перечень ВАК, 5 статей индексируемых в наукометрической базе Scopus и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх разделов с выводами, заключения, списка использованных источников из 91-го наименования и 5-и приложений. Работа изложена на 174 страницах основного текста, содержит 41 рисунок и 22 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приведены обоснование актуальности проблемы, цель и задачи исследования, научная новизна, практическая ценность и основные

положения, выносимые на защиту, сведения об использовании результатов исследования.

**В первом разделе** представлен комплексный анализ современных отечественных и зарубежных исследований в области управления автотранспортными потоками на регулируемых пересечениях.

Основы методологии исследований рассмотрены в работах Врубель Ю.А. который предложил систематизацию методов изучения дорожного движения по группам в зависимости от ряда признаков. Теоретические основы оценки пропускной способности и задержек исследованы в трудах Афанасьева М.Б., Клиновштейна Г.И., Кременца Ю.А.. Особый вклад в анализ коэффициентов приведения типов транспортных средств внес Левашев А.Г., что имеет ключевое значение для оценки состава автотранспортного потока.

Сравнительный анализ нормативной базы показал различия в подходах: в России используются «Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения», тогда как за рубежом применяются следующие методики: Руководство по пропускной способности автомобильных дорог (HCM) Совета по транспортным исследованиям США, Руководство по проектированию объектов дорожного движения (HBS, Германия), Руководство по пропускной способности регулируемых перекрестков в Канаде.

Фундаментальные модели автотранспортных потоков, включая модель задержек Вебстера Ф.В., модель Бекманна, гидродинамическую модель Лайтхилла-Уизема-Ричардса и модель Гриншилдса, проанализированы на предмет применимости в условиях изменчивой интенсивности движения. Установлено, что эти классические подходы не учитывают динамически изменяющиеся параметры очереди и дорожные условия в реальном времени.

Проведен анализ современных интеллектуальных транспортных систем, включая технологии V2X и C-V2X, систему Audi Travolution и универсальные системы управления дорожным движением (UTMS). Выявлены их преимущества и недостатки, а также ограничения применения в условиях российских городов.

Установлено, что существующие методики в основном направлены на управление движением при высокой интенсивности движения автотранспортных средств (АТС), близкой к потоку насыщения. При этом они не направлены на оптимизацию движения в периоды низкой загруженности с учетом динамических параметров АТС при проезде регулируемых пересечений, которые определяются наличием очереди внегрупповых автотранспортных средств, состоянием и качеством дорожного покрытия [1].

*Внегрупповые автотранспортные средства* – это АТС, которые поворачивают с примыкающих улиц на магистраль и могут останавливаться на красный сигнал светофора, в отличие от групповых АТС, стартующих на зеленый и движущихся единым потоком (Кременец Ю.А.).

*Групповые автотранспортные средства* – это организованная совокупность автотранспортных средств, формирующаяся на регулируемом

пересечении и движущаяся в одном направлении единым потоком. Ключевым признаком группы является минимальная и стабильная дистанция (интервал) между АТС, а также согласованность их скоростного режима и динамики (разгона и торможения).

Результаты проведенного анализа позволили сформулировать цель и задачи исследования.

**Во втором разделе** представлена методика проведения исследования, основанная на системном подходе с применением методов анализа, синтеза и классификации.

Рассмотрены различные типы математических моделей: макромодел, микромодел и кинетические модели. Выявлены их преимущества и ограничения для решения задач управления дорожным движением.

Сбор данных осуществлялся с помощью системы интеллектуального мониторинга «AIMS есо» на основе сверточной нейронной сети. Мониторинг проводился на 22-х полосах 11-ти регулируемых пересечений г. Челябинска [1, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14].

Анализ суточной динамики интенсивности движения выявил характерные пиковые периоды. Для некоторых полос характерно наличие только утреннего или вечернего пиков интенсивности. В результате анализа суточной динамики интенсивности движения установлены временные интервалы пиковой нагрузки: утренний час «пик» с 7:00 до 9:00, вечерний – с 16:00 до 18:00. Параллельный анализ скоростных характеристик выявил значительный разброс средних скоростей проезда пересечений (от 22 км/ч до 62 км/ч) на различных полосах движения, что свидетельствует о наличии специфических факторов, влияющих на автотранспортный поток на каждой конкретной полосе [13].

Структура автотранспортного потока характеризуется абсолютным преобладанием легковых автомобилей (94%). Количественная оценка стартовых ускорений автотранспортных средств показала, что показатели значительно варьируются (в 2–3 раза) по полосам. Состояние покрытия (гололед, мокрый асфальт) может увеличивать это время на 30–50% из-за снижения динамики разгона. Наличие колеи, выбоин и трамвайных путей также вносит значительный вклад в увеличение задержек.

Проведенный анализ выявил ключевые факторы, влияющие на время разезда очереди на регулируемых пересечениях: состояние и качество дорожного покрытия и структура транспортного потока. Установлено, что изменение ускорения первого ТС с 0,8 до 2,8 м/с<sup>2</sup> сокращает время разезда очереди до 40%. В результате обследования параметров разезда очереди, установлено, что после шестого автотранспортного средства динамика ускорения стабилизируется, обеспечивая равномерный интервал разезда. Анализ показал, что 59% перегонов в городской сети имеют длину не более 400 м, с преобладанием 300-метровых участков (25%). Это доминирование коротких перегонов определяет требования к синхронизации светофорных циклов для реализации систем координации («зеленая волна»).

Учет этих закономерностей необходим для построения адекватных математических и имитационных моделей, используемых для оптимизации управления дорожным движением.

Для учета значимых факторов в исследовании введены корректирующие коэффициенты [1, 7]:

- коэффициент динамики разъезда очереди, учитывающий состояние дорожного покрытия ( $k_{dr}$ ) (таблица 1);
- коэффициент, учитывающий категорию наиболее инерционного автотранспортного средства, определяющий увеличение времени разъезда очереди на регулируемом пересечении. На основе экспериментальных данных определено его значение ( $k_{kts} = 1,64$ ).

Таблица 1 – Диапазон значений коэффициента  $k_{dr}$

Состояние покрытия	Диапазон ускорений, м/с <sup>2</sup>	Диапазон $k_{dr}$
Нормальное	2,80 – 0,80	1,556 – 0,444
Мокрое	2,5 – 0,7	1,389 – 0,389
Снежный накат	1,5 – 0,5	0,833 – 0,277

Кластерный анализ данных в SPSS подтвердил статистическую значимость выделенных факторов, выявив 3 кластера пересечений с разными условиями движения [4, 7, 8].

Разработана комплексная методика расчета времени безостановочного проезда пересечения [1, 6, 10]. В основу методики легли работы Клиновштейна Г.И., Кременца Ю.А, Городокина В.А., Шепелева В.Д., которые были модифицированы и дополнены автором с учетом времени задержки начала старта движения внегрупповых автотранспортных средств. Методика определяет временной интервал движения автотранспортных средств от стоп-линии предыдущего пересечения до достижения следующего пересечения:

$$t(n_i) = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (1)$$

где составляющие времени рассчитываются как:

1) время проезда пересечения:

$$t_1 = h_i^{sl} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{int}}{a_i^{int}}} + \tau_i^r \quad (2)$$

где  $h_i^{sl}$  – время на достижение стоп-линии  $i$ -го АТС с момента включения разрешающего сигнала светофора, с;  $S_{int}$  – длина пересечения (задается для каждого пересечения отдельно), м;  $a_i^{int}$  – ускорение  $i$ -го автотранспортного средства при проезде участка пересечения, м/с<sup>2</sup>;  $\tau_i^r$  – время реакции водителя 1-го автотранспортного средства (запаздывание старта первого АТС), с;

2) время достижения средней скорости:

$$t_2 = \frac{v_i^m - v_i^{int}}{a_i} \quad (3)$$



где  $v_i^m$  – максимально разрешенная скорость  $i$ -го автотранспортного средства на перегоне между пересечениями, м/с;  $v_i^{int}$  – скорость  $i$ -го АТС, достигнутая на дальней границе пересекаемой проезжей части, м/с;  $a_i$  – ускорение  $i$ -го АТС за пределами конкретного узла улично-дорожной сети (УДС) до момента достижения максимально разрешенной скорости транспортного потока на отрезке пути между узлами УДС, м/с<sup>2</sup>;

$$v_i^{int} = \sqrt{2 \cdot S_{ni} \cdot a_{ni}} \quad (4)$$

3) время движения с постоянной скоростью:

$$t_3 = \frac{L_i^n - \frac{(v_i^m)^2 - (2 \cdot S_{ni} \cdot a_{ni})}{a_i} + \frac{(v_i^m)^2 - (2 \cdot S_{ni} \cdot a_{ni}) \cdot \left( \sqrt{\frac{2 \cdot S_{ni}}{a_{ni}}} + t_i^z \right)}{2 \cdot (v_i^m - (2 \cdot S_{ni} \cdot a_{ni}))}}{v_i^m}, \quad (5)$$

$$t_3 = \frac{S_3}{v_i^m}, \quad (6)$$

где  $S_3$  – расстояние до динамического знака с точки, в которой  $i$ -ое автотранспортное средство достигло  $v_i^m$ , в связи с приближением к внегрупповому АТС (А2) (м) и определяется по формуле (7):

$$S_3 = L_i^n - S_2 + S_{dz}, \quad (7)$$

где  $L_i^n$  – длина  $i$ -го перегона, м;  $S_2$  – отрезок пути, преодолеваемый лидирующим АТС от дальней границы пересекаемой проезжей части на пересечении до места достижения средней скорости транспортного потока на перегоне между узлами УДС, м;  $S_{dz}$  – участок пути, который лидирующее АТС проезжает начиная с момента снижения скорости от средней на данном отрезке до рекомендованной, установленной динамическим знаком (максимально близкой к скорости, которую должен достичь последнее внегрупповое АТС (А2), возобновляющий движение на разрешающий сигнал светофора до достижения стоп-линии, м.

$$S_2 = \frac{(v_i^m)^2 - (v_i^{int})^2}{2 \cdot a_i}, \quad (8)$$

$$S_{dz} = \frac{(v_i^m)^2 - v_{ni}^2}{2 \cdot J_{dz}}, \quad (9)$$

где  $v_{ni}$  – скорость, достигнутая последним АТС, стоящим в очереди (А2) к моменту достижения стоп-линии, м/с,  $J_{dz}$  – темп снижения скорости лидирующего АТС при приведении ее к величине, указанной на динамическом дорожном знаке, мин/км.

$$v_{ni} = \sqrt{2 \cdot S_{ni} \cdot a_{ni}}, \quad (10)$$

где  $S_{ni}$  – расстояние, преодолеваемое АТС А2 от места, занимаемого им в очереди внегрупповых АТС, до пересечения стоп-линии на пересечении, м,  $a_{ni}$  –

ускорение, с которым АТС А2 набирает скорость при приближении к стоп-линии, м/с<sup>2</sup>;

4) время подхода к стоп-линии:

$$t_4 = \sqrt{\frac{2 \cdot (1,5 + D_i \cdot (n_i - 1))}{a_{n_i}}} + t_i^z \quad (11)$$

где  $D_i$  – динамический габарит  $i$ -го АТС, м;  $n_i$  – порядковый номер в очереди  $i$ -го автотранспортного средства.

Продолжительность времени  $t(n_i)$  движения автотранспортного средства от стоп-линии предыдущего пересечения до достижения следующего пересечения определяется по формуле (12):

$$t(n_i) = h_i^{sl} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{int}}{a_i^{int}}} + \tau_i^r + \frac{v_i^m - v_i^{int}}{a_i} +$$

$$L_i^n \frac{(v_i^m)^2 - (2 \cdot S_{n_i} \cdot a_{n_i})}{a_i} + \frac{(v_i^m)^2 - (2 \cdot S_{n_i} \cdot a_{n_i}) \cdot \left( \sqrt{\frac{2 \cdot S_{n_i}}{a_{n_i}}} + t_i^z \right)}{2 \cdot (v_i^m - (2 \cdot S_{n_i} \cdot a_{n_i}))} +$$

$$+ \frac{L_i^n}{v_i^m} + \sqrt{\frac{2 \cdot (1,5 + D_i \cdot (n_i - 1))}{a_{n_i}}} + t_i^z \quad (12)$$

Схема движения АТС между последовательными пресечениями с применением динамического знака представлена на рисунке 1.

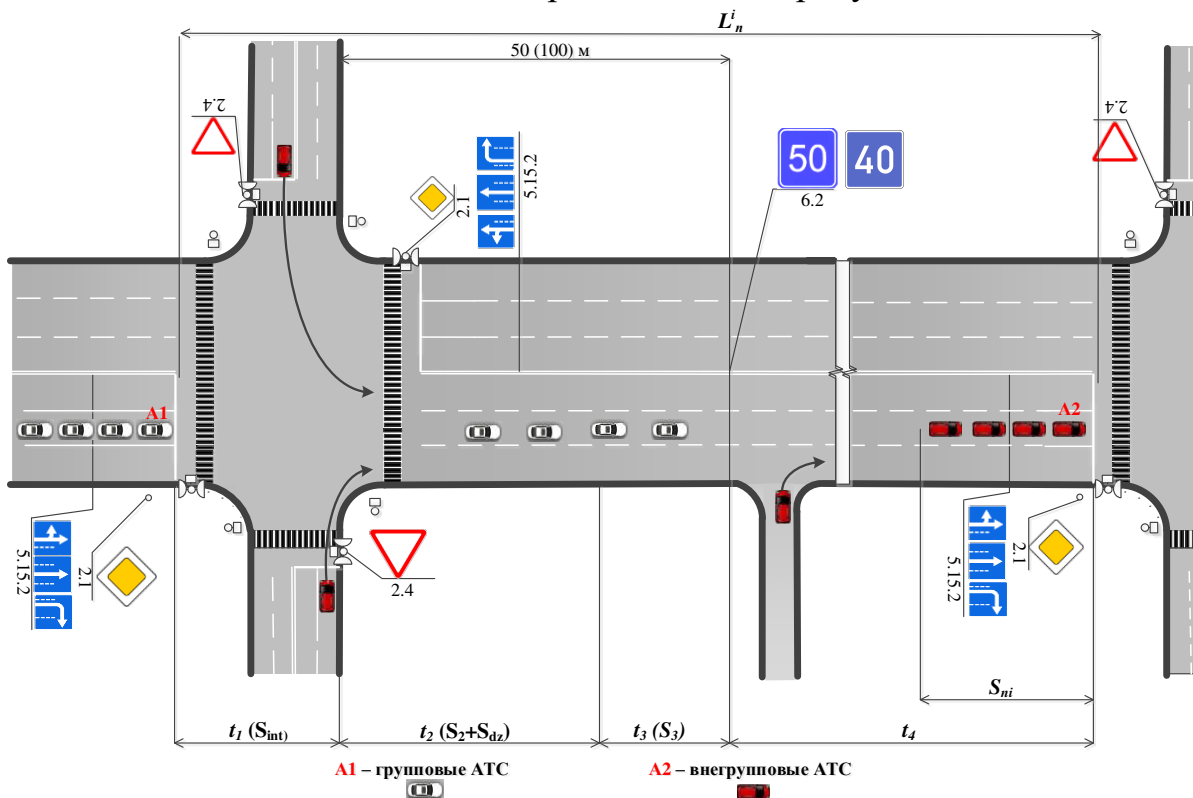


Рисунок 1 – Схема движения АТС между последовательными пресечениями и расположения динамических знаков

Разработана математическая модель расчета средней скорости группы автотранспортных средств для безостановочного проезда регулируемого пересечения при координированном управлении дорожным движением [1, 5, 7, 9, 12, 13]:

$$V_{cp} = \frac{3,6 \cdot L_i^n}{t_{cd} - \left( h_{cl} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{int}}{a_{int}}} + \tau_r \right) + \sqrt{\frac{2 \cdot (1,5 + D_i \cdot (n_i - 1))}{a_i \cdot k_{dr}}} + \frac{(n_i - 1) \cdot t_i^z}{k_{dr}} \cdot k_{kts}} \quad (13)$$

где  $V_{cp}$  – средняя скорость группы АТС, км/ч;  $L_i^n$  – длина  $i$ -го перегона до следующего пересечения, м;  $t_{cd}$  – время сдвига разрешающего сигнала светофора, с;  $h_{cl}$  – время на достижение стоп-линии лидирующего АТС с момента включения разрешающего сигнала светофора, с;  $S_{int}$  – длина анализируемого пересечения, м;  $a_{int}$  – ускорение лидирующего автотранспортного средства при проезде участка пересечения, м/с<sup>2</sup>;  $\tau_r$  – время реакции водителя лидирующего АТС (запаздывание старта), с;  $D_i$  – динамический габарит  $i$ -го автотранспортного средства, м;  $n_i$  – количество внегрупповых АТС в очереди, ед;  $a_i$  – ускорение  $i$ -го автотранспортного средства, м/с<sup>2</sup>;  $t_i^z$  – среднее стартовое время задержки следующего в очереди АТС, которое дает ему предыдущий, с;  $k_{dr}$  – коэффициент динамики разъезда очереди, учитывающий состояние дорожного покрытия;  $k_{kts}$  – коэффициент учитывающий категорию наиболее инерционного в очереди АТС.

Проведен однофакторный и многофакторный анализ влияния параметров модели на рекомендуемую скорость проезда перегона между пересечениями [7]. Однофакторный анализ установил диапазон влияния ключевых параметров на рекомендуемую скорость. Для комплексной оценки совместного воздействия факторов использован метод нечёткой логики (пакет fuzzyTECH), позволяющий учесть вероятностный характер изменения входных параметров в условиях неопределённости (рисунки 2, 3).

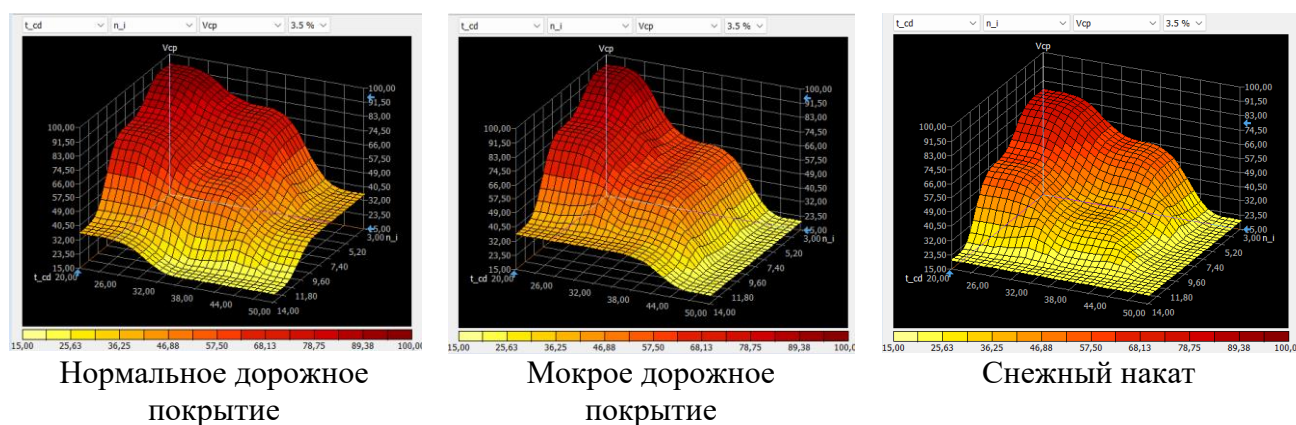


Рисунок 2 – Графики взаимовлияния переменных (информативная пара факторов  $t_{cd}$  -  $n_i$  при вариации фактора  $k_{dr}$ )

В аналитическом подходе на рисунке 2 показаны графики зависимости переменной  $V_{cp}$  от влияния времени сдвига светофорных циклов  $t_{cd}$  и размера очереди автотранспортных средств  $n_i$  (независимые переменные) при

изменении метеоусловий в исследуемом диапазоне (нормальное, мокрое, снежный накат).

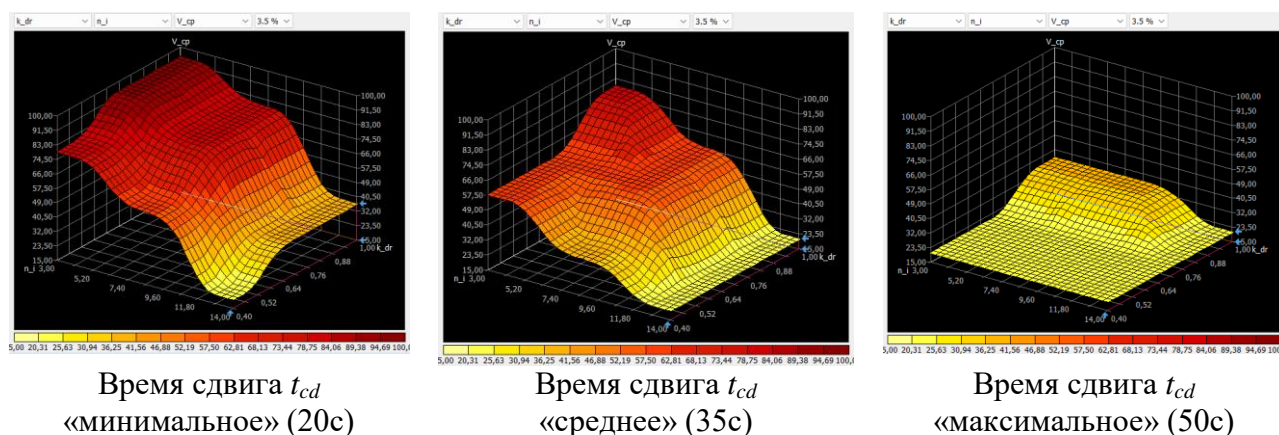


Рисунок 3 – Графики взаимовлияния переменных (информативная пара факторов  $n_i$  -  $k_{dr}$  при вариации фактора  $t_{cd}$ .)

Графическое представление (рис. 3) влияния на рекомендуемую скорость  $V_{cp}$  ситуации на последующем пересечении – размер очереди автотранспортных средств ( $n_i$ ) и метеоусловия, определяющие временные возможности проезда этих автотранспортных средств ( $k_{dr}$ ), при вариации времени сдвига светофорных циклов  $t_{cd}$ .

Анализ результатов двух подходов в проведенных экспериментах с моделью на основе нечёткой логики показывает характер изменения рекомендуемой скорости на перегоне между пересечениями при случайной вариации исследуемых факторов ( $n_i$ ,  $k_{dr}$ ,  $t_{cd}$ ).

Разработана методика количественной оценки пропускной способности полосы и снижения задержек группы автотранспортных средств. За основу взяты подходы Вебстера Ф., НСМ и Левашева А.Г., которые были адаптированы для учета динамических параметров разъезда очереди [2].

Ключевым показателем эффективности стало удельное время проезда автотранспортных средств, рассчитываемое по формуле (14):

$$T_{увп} = \frac{t_g}{N_{TC}}, \quad (14)$$

где  $t_g$  – длительность зеленой фазы, с;  $N_{TC}$  – количество АТС проехавших за цикл, ед.

Пропускная способность определяется по формуле (15):

$$P_c = t_{оч}^{a_i, n_i} + t_{оч}^{N_{TC}} + \frac{t_g}{T_{увп}^{a_i}} \quad (15)$$

где  $t_{оч}^{a_i, n_i}$  – время разъезда очереди внегрупповых автотранспортных средств, с;  $t_{оч}^{N_{TC}}$  – время разъезда вторичной очереди из автотранспортных средств группы, с;  $T_{увп}^{a_i}$  – удельное время проезда, в зависимости от ускорения, с/ед.

Установлено, что максимальная пропускная способность (40 ед./такт) достигается при ускорении 2,8 м/с<sup>2</sup>. Снижение ускорения до 0,8 м/с<sup>2</sup> приводит к

снижению пропускной способности на 35–40%. Анализ времени разъезда очереди внегрупповых автотранспортных средств показал стабилизацию удельного времени проезда с 7-го автотранспортного средства в очереди (1,45 с при  $a=2,8 \text{ м/с}^2$ ).

Визуализация поля распределения задержек демонстрирует их зависимость от длины перегона, размера очереди и ускорения (рисунок 4). Установлено, что движение с рекомендуемой скоростью позволяет снизить задержки автотранспортных средств на 2,2–9,5% при вариации исследуемых параметров.

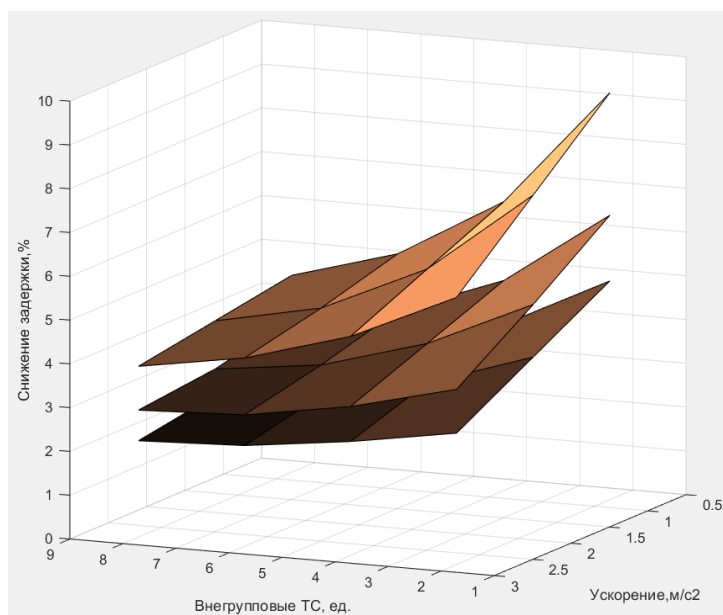


Рисунок 4 – Поле распределения снижения задержек

Проведенные исследования позволили выявить ключевые закономерности влияния временных параметров разъезда очереди внегрупповых автотранспортных средств на эффективность функционирования регулируемых пересечений.

**В третьем разделе** представлены результаты экспериментальных исследований, целью которых являлась верификация математической модели безостановочного проезда пересечения группой автотранспортных средств.

Для этого применялся комплексный подход, включающий имитационное моделирование на модифицированной версии Intelligent Driver Model (IDM), микромоделирование в среде PTV Vissim, натурные исследования на регулируемом пересечении (ул. Зальцмана – ул. 2-я Эльтонская, г. Челябинск).

Для экспериментального исследования была использована модифицированная версия имитационной модели Intelligent Driver Model (IDM). На рисунке 5 показаны результаты моделирования времени разъезда очереди внегрупповых автотранспортных средств и пропускной способности полосы.

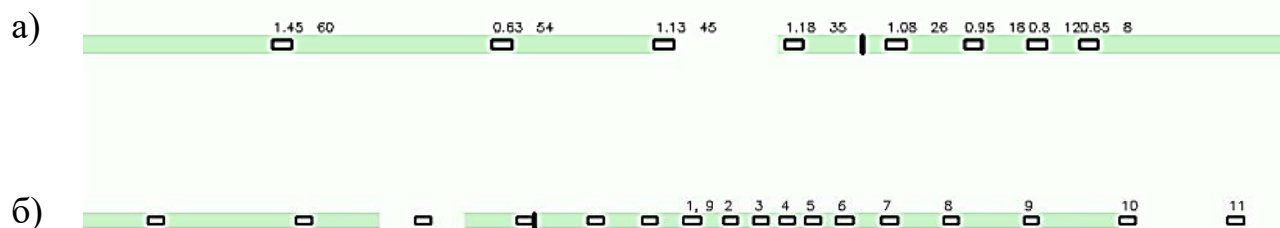


Рисунок 5 – Имитационное моделирование Extended IDM with Speed Adaptation (EIDM-SA): а) время разъезда очереди внегрупповых АТС, с; б) пропускная способность регулируемого пересечения, ед/такт

Анализ зависимостей на рисунке 6 демонстрирует влияние средней скорости группы АТС и очереди внегрупповых АТС на пропускную способность пересечения для различных длин перегонов (300, 400, 500 м). Анализ рисунка 6 выявил оптимальные скорости группы 45-55 км/ч при длине перегона 400 м.

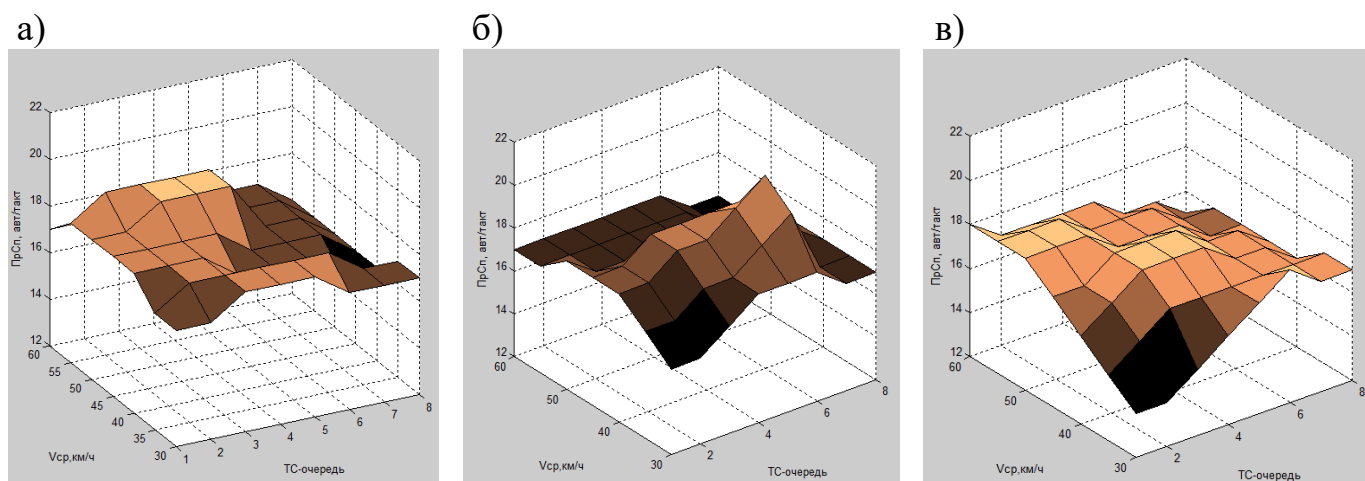


Рисунок 6 – Зависимость пропускной способности пересечения от средней скорости группы АТС и очереди внегрупповых АТС: а)  $L_n = 300$  м; б)  $L_n = 400$  м; в)  $L_n = 500$  м

Микромоделирование в среде РТУ VISSIM выполнено для верификации результатов теоретических исследований (рисунок 7).





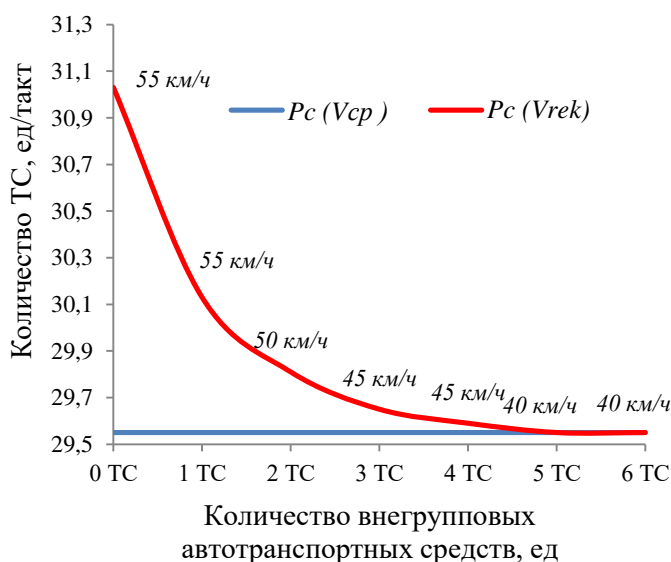


Рисунок 8 – Пропускная способность полосы движения, ед/такт

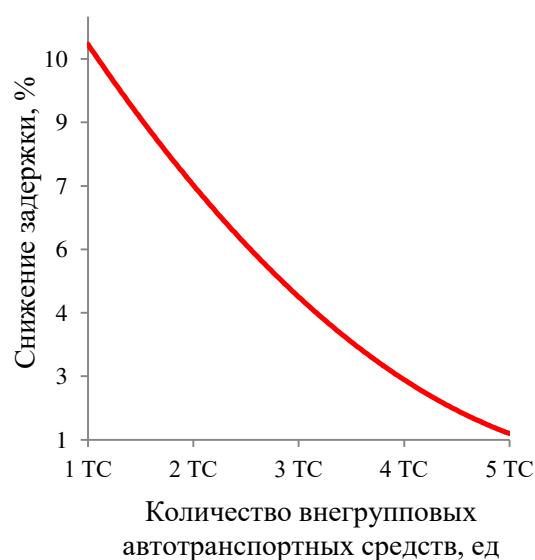


Рисунок 9 – Снижение задержки лидирующего АТС, %

Натурный эксперимент с участием автотранспортного средства экспериментальной группы (рис. 10) подтвердил эффективность предложенной методики. Соблюдение расчетного скоростного режима обеспечило вероятность безостановочного проезда – 85%.



Рисунок 10 – Проведение натурного эксперимента на пересечении ул. Зальцмана – ул. 2-я Эльтонская

Сравнительный анализ результатов показал высокую адекватность разработанной математической модели:

- расхождение с данными имитационного моделирования не превысило 5%;
- результаты натурных экспериментов подтвердили основные теоретические выводы.

**В четвертом разделе** рассмотрены методика организации безостановочного проезда, а также комплексная оценка эффективности предлагаемых решений.



Данная методика направлена на внедрение системы безостановочного проезда пересечений в условиях реальной городской дорожной сети с использованием современных технических средств без вмешательства в работу светофорных объектов. Система основана на синхронизации скорости автотранспортных средств с временными параметрами светофорного регулирования через динамические знаки рекомендуемой скорости и мобильное приложение.

Для реализации результатов исследования было разработано мобильное приложение для расчёта скорости безостановочного проезда регулируемых перекрёстков «Зелёная волна 2.0» [15].

Проведена оценка экологической эффективности предлагаемых решений. Установлено, что внедрение системы безостановочного проезда позволяет снизить выбросы вредных веществ на 4% за счет минимизации циклов "разгон-торможение" и сокращения времени работы двигателя в режиме холостого хода.

Оценка экономической эффективности показала, что внедрение системы позволяет сократить расход топлива АТС до 22% и снизить задержки АТС. Экономический эффект от внедрения системы на полосе движения экспериментального пересечения составляет до 415 тыс. руб. в год за счёт сокращения расхода топлива автотранспортных средств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлены и количественно оценены закономерности влияния временных параметров разъезда очереди внегрупповых автотранспортных средств на пропускную способность регулируемых пересечений. Установлена зависимость времени разъезда от ускорения первого автотранспортного средства в очереди, определяемого состоянием и качеством дорожного покрытия. Введены корректирующие коэффициенты: динамики разъезда очереди и учета категории автотранспортного средства. Практическая апробация показала, что увеличение ускорения первого внегруппового автотранспортного средства приводит к снижению удельного времени проезда на 31%.

2. Разработана математическая модель для определения средней скорости группы автотранспортных средств, обеспечивающей безостановочный проезд регулируемого пересечения. Модель интегрирует ключевые параметры: длину перегона, время сдвига светофорной сигнализации, количество и динамические показатели внегрупповых автотранспортных средств. Для комплексной оценки совместного воздействия факторов использован метод нечёткой логики, позволяющий учесть вероятностный характер изменения входных параметров в условиях неопределённости. Верификация модели подтвердила ее адекватность с отклонением прогнозируемых показателей от экспериментальных данных не более чем на 5%.

3. На основе комплексного факторного анализа, применения методов моделирования (PTV VISSIM), имитационного моделирования (Extended IDM with Speed Adaptation) и других теоретических исследований выявлены оптимальные скоростные режимы движения групповых автотранспортных средств. Установлено, что максимальная эффективность системы достигается на перегонах в диапазоне от 300 до 400 метров при скорости движения автотранспортных средств 50 км/ч, что позволяет снизить задержки до 9,5%.

4. Установлено, что реализация безостановочного проезда групповых автотранспортных средств в условиях светофорного регулирования приводит к снижению времени задержки по сравнению со свободным движением до 10%.

5. Разработаны и предложены к внедрению практические решения: мобильное приложение «Зеленая волна 2.0» и применение динамических дорожных знаков, позволяющие реализовать безостановочный проезд. Практическая значимость работы подтверждается расчетами, указывающими на снижение расхода топлива до 22% и сокращение выбросов загрязняющих веществ до 4%.

### **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

– в рецензируемых научных изданиях из «Перечня ...» ВАК:

1. **Фадина О. С.** Повышение пропускной способности регулируемых перекрестков на основе синергии компьютерного зрения и адаптивного регулирования скорости / О. С. Фадина, В. Д. Шепелев, З. В. Альметова, Н. К. Горяев // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 1. – С. 28–39. – DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-1-28-39>.

2. **Фадина О. С.** Снижение транспортных задержек при управлении скоростными режимами на регулируемых пересечениях / О. С. Фадина, В. Д. Шепелев, Е.Д. Ахмадеев // Транспортное машиностроение. – 2025. – №. 12. С. 76-86. – DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-12-76-86>.

– в научном издании, входящем в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus, Web of Science:

3. **Fadina O.** Forecasting the Amount of Traffic-Related Pollutant Emissions by Neural Networks / V. Shepelev, I. Slobodin, A. Gritsenko, O. Fadina // Frontiers in Built Environment. – 2022. – Vol. 8. – Art. 945615.

4. **Fadina O.** Comparative Evaluation of Road Vehicle Emissions at Urban Intersections with Detailed Traffic Dynamics / V. Shepelev, A. Glushkov, O. Fadina, A. Gritsenko // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, Iss. 11. – Art. 1887.

5. **Fadina O.** Optimizing the Speed of Traffic Flows Taking into Account the Operating Modes of Traffic Lights and Environmental Aspects / O. Fadina, V. Shepelev, A. Vorobyev // Proceedings - 2023 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2023. – 2023. – P. 294–298.

6. **Fadina O.** Creating Sustainable Urban Transportation Systems Through Innovative Traffic Management Strategies / O. Fadina, Z. Almetova, O. Ivanova, A.

Vorobyev, G. Assanova // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. – 2024. – Part F3514. – P. 75–85.

7. **Fadina O.** Improving traffic flow management at intersections using cluster analysis and fuzzy logic / V. Shepelev, A. Glushkov, O. Fadina // FME Transactions. – 2025. – Vol. 53, No. 3. – P. 499–508. – DOI: <https://doi.org/10.5937/fme2503499S>.

– в других изданиях:

8. **Фадина О. С.** Моделирование пропускной способности узлов транспортной городской сети на основе методов нечеткой логики / В. Д. Шепелев, А. И. Глушков, И. С. Слободин [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 181–187. – DOI: 10.14529/em210419.

9. **Фадина О. С.** Повышение пропускной способности на регулируемых пересечениях за счет оптимизации скоростных режимов транспортных потоков / О. С. Фадина, В. Д. Шепелев, М. А. Варворкин, Л. Э. Плюхин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2023. – Т. 17, № 3. – С. 175–182. – DOI: 10.14529/em230317.

10. **Фадина О. С.** Влияние пропускной способности регулируемых пересечений на количество выхлопных газов от автотранспорта / В. Д. Шепелев, А. И. Глушков, О. С. Фадина, В. Е. Кутузова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2023. – Т. 17, № 1. – С. 168–178. – DOI: 10.14529/em230116.

11. **Фадина О. С.** Оценка выбросов загрязняющих веществ от транспортных потоков с учетом их динамических показателей на основе машинного зрения / О. С. Фадина, А. А. Бауэр, К. И. Смирнов // Современные материалы и методы решения экологических проблем постиндустриальной агломерации: сб. материалов I Всерос. науч.-практ. конф., Челябинск, 12–14 дек. 2023 г. / Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск, 2024. – С. 51–56.

12. **Фадина О. С.** Моделирование устойчивых транспортных потоков с применением нейросетевых алгоритмов / О. С. Фадина, В. Д. Шепелев, А. И. Воробьев // Цифровая Индустрия: Состояние и Перспективы Развития 2023 (ЦИСП'2023): сб. науч. ст., Челябинск, 21–23 нояб. 2023 г. / Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2024. – С. 457–464.

13. **Фадина О. С.** Снижение транспортных задержек за счет оптимизации скоростных режимов транспортных потоков / О. С. Фадина, А. И. Глушков, М. А. Варворкин // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Оренбург, 20–22 нояб. 2024 г. / Оренбургский государственный университет. – Оренбург, 2025. – С. 418–426.

- свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

14. **Фадина О. С.** Интеллектуальная система мониторинга выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в режиме реального времени (AIMS-Eco City) : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2024689728 Рос.

Федерация / В. Д. Шепелев, И. С. Слободин, О. С. Фаина; правообладатель ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)». – № 2024688489; заявл. 26.11.2024; зарегистрир. 10.12.2024.

15. **Фаина О. С.** Мобильное приложение для расчёта скорости безостановочного проезда регулируемых перекрёстков (Зелёная волна 2.0): св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025666724 Рос. Федерация / В. Д. Шепелев, И. С. Слободин, О. С. Фаина; правообладатель ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)». – № 2025665317; заявл. 05.06.2025; зарегистрир. 27.06.2025.

Фадина Ольга Сергеевна

**МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТНЫМИ РЕЖИМАМИ  
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Издательский Центр Южно-Уральского государственного университета

---

Подписано в печать \_\_.2026. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая

Усл. печ. л. 0,93. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_.

---

Отпечатано в типографии Издательского Центра ЮУрГУ  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.