

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В. Г. ШУХОВА»

На правах рукописи



Юнг Анастасия Алексеевна

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА
ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ СРЕДСТВ
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Д.Т.Н., доц.
Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгород 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	11
1.1 Использование средств индивидуальной мобильности в зарубежных странах.....	11
1.2 Использование средств индивидуальной мобильности в Российской Федерации	21
1.3 Основные проблемы использования средств индивидуальной мобильности в городских транспортных системах и пути их решения	24
1.4 Прогнозирование количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности	35
1.5 Выводы по главе 1	44
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ.....	46
2.1 Анализ рынка продаж средств индивидуальной мобильности.....	46
2.2 Оценка городской инфраструктуры для движения средств индивидуальной мобильности.....	53
2.3 Оценка использования средств индивидуальной мобильности на городской улично-дорожной сети как транспорта последнего километра	57
2.4 Выводы по главе 2.....	75
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОСТИ ОБЪЕКТОВ на городской УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ.....	77
3.1 Исследование аварийности с участием средств индивидуальной мобильности на объектах городской улично-дорожной сети.....	77

3.2 Статистическая вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий на объектах городской улично-дорожной сети.....	80
--	----

3.3 Выводы по главе 3	106
-----------------------------	-----

ГЛАВА 4 СИСТЕМА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ СИМ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ	108
---	------------

4.1 Принципы устойчивой городской транспортной системы	108
--	-----

4.2 Информационно-цифровая (интеллектуальная) система повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах	113
--	-----

4.3 Интегральный экономический эффект от внедрения информационно-цифровой (интеллектуальной) системы.....	116
---	-----

4.4 Выводы по главе 4	119
-----------------------------	-----

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	144

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Несмотря на предпринимаемые в последние годы активные меры, существенной проблемой остается безопасность населения на транспорте, которая является системной комплексной проблемой.

С 2017 года в транспортные процессы стали активно внедряться средства индивидуальной мобильности (СИМ). В мегаполисах нашей страны (Москва, Санкт-Петербург и др.) процент передвигающихся СИМ увеличивается с каждым годом в геометрической прогрессии. Областные административные центры также не остаются в стороне, местные жители из-за большого количества положительных факторов данных средств (экономия времени, денежных средств, исключение лишних контактов с людьми и т. д.) всё чаще выбирают для передвижения СИМ.

Согласно данным официальных источников (Научный центр БДД МВД России) в 2024 году зарегистрировано 4426 (+42,8%) ДТП с участием СИМ, в результате которых погибли 54 (+25,6%) человека, в том числе 6 детей. Ранение получили 4591 (+44,5%) человек, в числе которых 1165 детей.

В соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2024 года №309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» одними из основных национальных целей развития РФ является сохранение населения и создание комфортной и безопасной среды для жизни что с точки зрения безопасности дорожного движения находит свое отражение в национальном проекте «Инфраструктура для жизни», в частности в инициативе «Безопасность дорожного движения», согласно которой дороги становятся более безопасными для водителей и пешеходов также и за счет внедрения новых цифровых элементов безопасности.

Следует отметить, что появление СИМ в городских транспортных системах связано в первую очередь с рядом преимуществ, таких как

повышенная маневренность, удобство расположения относительно парковочных мест, возможностью быстрого перемещения на относительно короткие расстояния (до 5 км), а также возможностью социального дистанцирования, что стало очень важным преимуществом в условиях недавнего COVID-19. Однако, ввиду всех перечисленных преимуществ, в связи с увеличением числа используемых средств за последние годы (2017 г. - порядка 30 тыс. кикшеринговых устройств и 2024 – 794 тыс. кикшеринговых устройств, согласно данным Ассоциации операторов микромобильности), что связано с активным внедрением данных устройств (СИМ) в основные сегменты спроса – доставка городской еды и продуктов питания, доставка товаров электронной торговли, доставка посылок и документов и др., в совокупности использование для выполнения определенного вида транспортной работы, возникает проблема, связанная в первую очередь с большим количеством дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием СИМ и неприспособленностью городской инфраструктуры для безопасного и комфортного передвижения нового вида транспорта.

Данная проблема требует безотлагательного решения, в том числе за счет внедрения новых цифровых технологий, позволяющих совершенствовать и развивать инфраструктуру городских транспортных систем для СИМ, что и обосновывает актуальность выбранной темы.

Степень разработанности темы. Наибольший вклад в теорию транспортных потоков, методов организации дорожного движения, обеспечения безопасности дорожного движения и управлению процесса движения в городских транспортных системах по средствам применения интеллектуальных и цифровых технологий внесли такие отечественные и зарубежные ученые как Л.Л. Афанасьев, В.Ф. Бабков, В.Н. Басков, В.М. Власов, Ю.А. Врубель, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, С.В. Еремин, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г.И. Клинковштейн, А.Ю. Кременец, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, В.В. Сильянов, А.Г. Шевцова, Д. Дрю, Т.М. Метсон, А.Д. Миллер, В. Хаддор, К. Джетто и др. Вопросу безопасности

передвижения СИМ с городских транспортных системах и правовому регулированию данного вопроса посвящены труды В.В. Донченко, Д.В. Ирошникова, Ю.В. Мишина, П.С. Шелмакова, С.А. Сойниковой, П.А. Волкова, Е. Мишера, Р. Довлина, Ф. Дэвидсона, П. Товсона и др.

Анализ многих известных научных и практических работ, результатов теоретико-прикладных исследований в области организации дорожного движения позволил выявить недостаточную степень разработки в сфере применения цифровых технологий и управления движением нового вида транспорта, выполняющего определенный вид транспортной работы в городских транспортных системах – СИМ. Совершенствование организации дорожного движения в городских транспортных системах с учетом нового вида транспорта по средствам применения и использования интеллектуальных и цифровых решений требует проведения научных исследований

Цель исследования – повышение безопасности участников дорожного движения с учетом использования средств индивидуальной мобильности на городской улично-дорожной сети.

Для достижения цели исследования, **определены основные задачи:**

1. Проведение исследований, направленных на оценку показателей аварийности с участием СИМ;
2. Анализ городской улично-дорожной сети для определения возможностей движения СИМ;
3. Проведение натурных исследований для подтверждения эффективности использования СИМ как транспорта последнего километра;
4. Разработка математической модели для оценки аварийности объектов дорожной инфраструктуры в городской транспортной системе;
5. Разработка информационно-цифровой (интеллектуальной) системы регулирования движения СИМ на основе показателя безопасности дорожного движения;
6. Определение интегрального экономического эффекта от внедрения результатов исследования в городской транспортной системе.

Объект исследования – городская улично-дорожная сеть.

Предмет исследования – движение средств индивидуальной мобильности по городской улично-дорожной сети.

Рабочая гипотеза, состоит в том, что городская улично-дорожная сеть должна быть адаптирована к движению СИМ для обеспечения безопасности дорожного движения.

Научная новизна исследования состоит в:

1. Полученной между временным периодом и количеством дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ закономерности, которая позволила усовершенствовать мультипликативную модель для выполнения прогноза дорожных аварий;
2. Установленных экспериментальным путём между параметрами «расстояние» и «время» зависимостях, которые позволяют научно обосновать использование средств индивидуальной мобильности на городской улично-дорожной сети, как транспорта последнего километра;
3. Предложенной математической модели прогнозирования аварийности с участием средств индивидуальной мобильности на объектах городской дорожной инфраструктуры.

Положения, выносимые на защиту:

1. Усовершенствованная мультипликативная модель для выполнения прогноза дорожных аварий с участием СИМ;
2. Алгоритм разработки план-схемы движения СИМ по городской улично-дорожной сети;
3. Информационная модель, обосновывающая использования СИМ на городской улично-дорожной сети как транспорт последнего километра;
4. Математическая модель прогнозирования количества ДТП с участием СИМ на объектах дорожной инфраструктуры в городской транспортной системе;
5. Информационно-цифровая (интеллектуальная) система регулирования движения СИМ на основе показателя безопасности дорожного

движения.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории движения транспортных потоков с учетом нового вида транспорта – СИМ основанной на результатах теоретических и практических изысканий в результате которых были получены - информационная модель использования СИМ в городской транспортной системе, основанной на временном факторе; математическая модель оценки аварийности элементов городской улично-дорожной сети с учетом нового вида транспорта – СИМ, а также в теоретическом обосновании разработки системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, с учетом показателя безопасности дорожного движения.

Практическая значимость работы заключается в разработке информационно-цифровой (интеллектуальной) системе повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, с учетом показателя безопасности дорожного движения и применении результатов исследования органами исполнительной власти и федеральными структурами на уровне субъекта, что подтверждено актами внедрения, выданными: муниципальным бюджетным учреждением «Управление Белгородблагоустройство» (МБУ «УБГБ»), Министерством автомобильных дорог и транспорта Белгородской области (МИНТРАНС Белгородской области), ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Департаментом транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы, Государственным казенным учреждением города Москвы - Центром организации дорожного движения Правительства Москвы.

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование выполнено на основе трудов ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации дорожного движения, в числе которых Л.Л. Афанасьев, В.Ф. Бабков, В.Н. Басков, В.Е. Веревкин, В.М. Власов, Ю.А. Врубель, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г.И.

Клинковштейн, А.Ю. Кременец, А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.А. Поляков, В.В. Сильянов, А.Г. Шевцова, Ф.В. Вебстер, Д. Дрю, Т.М. Метсон, А.Д. Миллер и многих других специалистов. Теоретико-методологической основой исследования стали натурные наблюдения, статистический анализ, математическое и имитационное моделирование и системный анализ полученных результатов.

Информационная база исследования. Нормативно-правовые и законодательные акты, Постановления Правительства РФ, Транспортная стратегия РФ, Федеральные и региональные целевые программы развития транспортных систем, нормативные документы федеральных и региональных органов власти и управлений, статистические данные.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов выполненного исследования подтверждается теоретически - обеспечивая обоснование поставленных цели и задач исследования; и экспериментально - на основании применения полученных информационных и математических моделей и апробации и внедрения информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах на примере городской улично-дорожной сети г. Белгорода, а также публикациями в изданиях, рецензируемых ВАК РФ, Scopus/Web of Science.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают паспорту научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам: 3 «Исследование закономерностей, разработка моделей, алгоритмов и специального программного обеспечения в решении задач проектирования, организации, планирования, управления и анализа транспортного процесса»; 8 «Исследования в области технологий организации дорожного движения, развития технических средств организации дорожного движения».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на конференциях

и форумах: «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025); «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ)» (Курск, 2019, 2020, 2021, 2022); «Образование. Наука. Производство» (Белгород, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023); «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2020, 2021, 2022); «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств» (Саратов, 2020, 2021, 2022); «Молодежь и транспорт. Настоящее и будущее» (Орёл, 2021, 2022, 2023); «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (Горловка, 2023); «Актуальные вопросы административно-правовой деятельности органов внутренних дел» (Орёл, 2023); «Перспективы развития транспортного комплекса» (Минск, 2023).

Исследования выполнены в рамках гранта Фонда содействия инновациям Договор: 655ГССС15-L/81116 «Система обнаружения средств индивидуальной мобильности в городской среде».

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 28 статьях, в том числе 6 – в ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 3 – в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных SCOPUS/ Web of Science, получено 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка принятых сокращений и условных обозначений, списка литературы из 110 наименований и 2 приложений. Текст диссертации изложен на 123 страницах машинописного текста и включает 40 таблиц и 68 рисунков.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

1.1 Использование средств индивидуальной мобильности в зарубежных странах

Массовое распространение СИМ на УДС является общей проблемой для большинства государств и требует скорейшего её решения. Главным вопросом является повышение защищенности всех участников ДД при стремительно нарастающем спросе на данные устройства и, соответственно, увеличении их доли в общем ТП [1].

На современном этапе органы дорожного управления ряда стран активно реализуют меры, направленные на снижение числа ДТП с участием СИМ. В странах Европы такие устройства всё чаще воспринимаются как элемент транспортной системы - транспорт «последней мили» - они используются для краткосрочных поездок от места жительства до рабочего места, ближайшей остановки общественного транспорта или станции метро.

Стремление государств ЕС сократить долю ТС с двигателями внутреннего сгорания и перейти к экологически чистым альтернативам — электромобилям, электробусам и другим видам электрического транспорта — что в целом и способствует активному росту популярности СИМ среди городского населения. Это приводит к увеличению числа пользователей электросамокатов, гироскутеров и аналогичных устройств на европейском континенте.

Опыт регулирования и интеграции СИМ в городскую инфраструктуру, накопленный за рубежом, представляет значительный интерес для применения в российских условиях. Следует отметить, что тенденция массового использования СИМ сформировалась не только в России, а в странах с развитой транспортной инфраструктурой, где уже возникли

серьёзные вызовы, связанные с безопасностью пешеходов и организацией движения в условиях смешанного ТП.

Изучение и адаптация передовых практик зарубежных государств, а также поиск оптимальных решений с учётом отечественных реалий могут стать ключевым шагом в формировании безопасной и эффективной городской транспортной среды в России [2]. В рамках выполненного исследования были рассмотрены подходы к изучению эффективности использования СИМ в различных странах мира.

Исследование, проведенное авторским коллективом [3] из университета Южной Мэриленд в Далласе, штат Техас, США указывает на статистические данные по двум основным показателям: время, затраченное на преодоление пути и затраченному расстоянию для средств мобильности и велосипедов.

Например, средняя продолжительность поездок на велосипеде составила 15,56 минуты, в то время как средняя продолжительность поездок на СИМ составила 10,02 минуты. Среднее расстояние для поездок на велосипеде составляло 2,34 км, в то время как среднее расстояние для поездок на СИМ составляло 1,48 км.

Таблица 1 – Статистические данные продолжительности поездки и пройденного расстояния на велосипедах и СИМ [3]

Модальность	Минимум	Среднее значение	Максимум
Продолжительность (велосипед)	2,00 мин	14,46 мин	90,00 мин
Продолжительность (СИМ)	2,00 мин	11,02 мин	90,00 мин
Расстояние (велосипед)	0,03 км	2,57 км	16 км
Расстояние (СИМ)	0,03 км	1,64 км	16 км

Также исследования, связанные с пройденным расстоянием и продолжительностью поездок проводили ученые Ор Каспи, Майкл Дж.

Смарт, Роберт Б. Ноланд [4]. В период с 16 августа 2018 года по 28 февраля 2019 года авторами проводился сбор статистических данных, направленных на исследование количества поездок на СИМ.

В выходные и праздничные дни среднее количество поездок составляло 12 277 поездок в день, в то время как в будние дни в среднем совершалось всего 10 895 поездок. Как показано в таблице 2, средняя продолжительность поездки составила 6,6 мин, среднее расстояние - 971 м, а средняя скорость - 8,4 км/ч.

Таблица 2 - Статистика поездок за период 16.08.2018 – 28.02.2019 [4]

	Будни	Выходные и праздники	Утро (7:00–10:00)	Вечер (16:00–19:00)
Поездки, шт.	2 237	1 427	810	182
Процент поездок, %	100	64	36	8
Среднее число поездок в день, шт.	11,4	10,9	12,3	9,2
Медиана (расстояния поездки), м.	971	917	1094	869

Почасовые поездки в будние дни характеризуются утренним пиком около 9:00, небольшим спадом около 10:00, а затем более высокими показателями использования между 12:00 и 18:00. Почасовое распределение поездок в выходные и праздничные дни характеризуется одним пиком около 15:00. Эти показатели предполагают, что СИМ в большей степени используются населением для поездок в будние дни на работу, но также и для многих других целей в течение дня.

Автором [5] были проведены исследования, направленные на выявление целей при передвижении пользователей на средствах индивидуальной мобильности. Для оценки был выбран пятилетний общенациональный репрезентативный опрос передвижения пользователей СИМ на дорогах Германии с несколькими дополнительными региональными исследованиями, для города Мюнхена. В нем распределение целей поездок состоит из 33% поездок в условиях досуга, 24% поездок, связанных с покупками, 19% поездок

на работу и 12% поездок по поручениям. Деловые поездки составляют всего 5% от всех поездок, в то время как краткосрочные поездки составляют 7%.

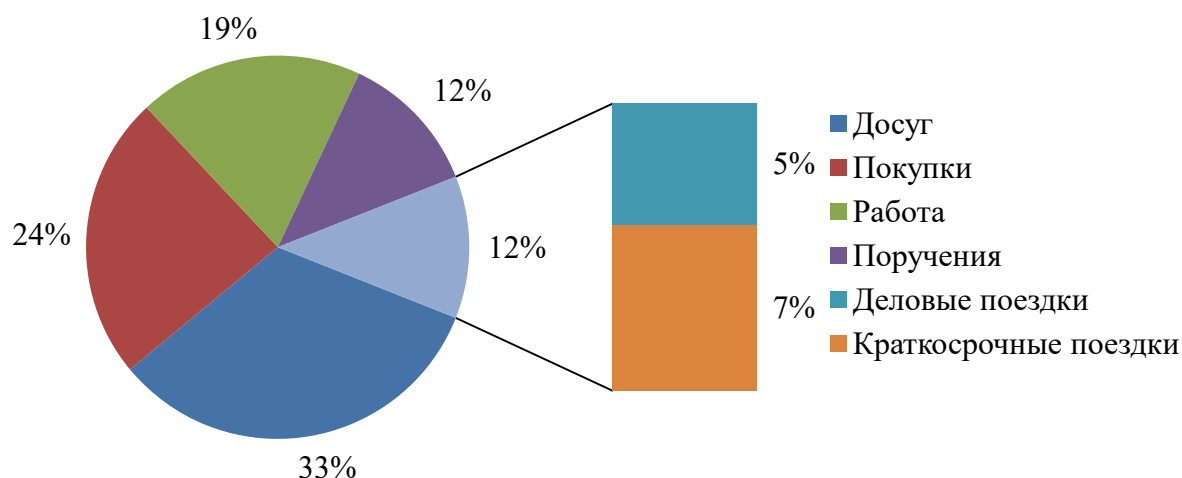


Рисунок 1 – Цели поездок на средствах индивидуальной мобильности среди населения г. Мюнхен

В своих исследованиях авторский коллектив [6] предоставляет сводную статистику характеристик поездок на электросамокатах для пяти городов: Индианаполиса, Луисвилля, Миннеаполиса и Калгари.

Таблица 3 – Сводная статистика по поездкам с использованием электросамокатов [6]

Город	Число поездок, шт.		Среднее время поездки, мин.	Макс. скорость, км/ч	Средняя скорость, км/ч	Макс. дистанция, км.	Средняя дистанция, км
	мин.	мин.					
Остин	1,6	4,4	11,0	25,0	9,8	18,1	1,1
Калгари	1,8	5,6	12,8	25,0	9,5	18,6	1,3
Чикаго	2,3	6,8	13,2	25,0	12,0	21,2	1,6
Индианаполис	1,8	-	13,9	40,2	8,8	11,5	1,1
Луисвилл	2,0	6,5	15,4	24,1	9,0	17,1	1,2
Миннеаполис	2,1	6,8	14,3	25,0	10,2	17,0	1,3

В табл. 3 представлены основные статистические данные о поездках на электросамокатах в различных городах США и Канады, включая минимальное и максимальное количество поездок, среднюю продолжительность, скорости и расстояния.

В целом, средние расстояния поездок варьируются от 8,8 км (Индианаполис) до 10,2 км (Миннеаполис), при этом максимальные значения достигают 24 – 40 км.

Данные, представленные в таблице, демонстрируют важность анализа пространственных и временных данных для понимания моделей использования электросамокатов в разных городских условиях.

В исследовании [7] был выполнен анализ инцидентов с травмами, связанных с использованием стоячих моторизованных самокатов. Исследование охватывает период с 1.10.2018 г. по 1.10.2019 г. в отделении неотложной скорой помощи городе Скоттсдейл, штат Аризона (США) [8]. Основная цель исследования заключалась в изучении травм, связанные с использованием СИМ, результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4 - Травмы, связанные с использованием электросамокатов, их тяжесть и результаты обращения в отделение неотложной помощи [7]

Тип травмы и место поражения	Количество, %
<i>- переломы, из них:</i>	<i>43 (70%)</i>
голова, лицо, шея	22 (51%)
рука	6 (14%)
нога	5 (12%)
<i>- рана, из них:</i>	<i>70 (100%)</i>
голова, лицо, шея	35 (50%)
рука	15 (21%)
торс	6 (9%)
нога	14 (20%)
<i>-черепно-мозговые травмы</i>	<i>17 (28%)</i>
удар головой	9
интракраниальное кровоизлияние	8
<i>тяжесть травмы по шкале тяжести повреждений</i>	
торс	10 (23%)
легкая (1–8)	45 (74%)
средняя (9–14)	8 (13%)
тяжелая (16–24)	7 (11%)
критическая (25–27)	1 (2%)
<i>Уровень приоритизации травмы</i>	
зеленый (низкий или без приоритета)	8 (13%)
желтый (умеренный приоритет)	43 (70%)
красный (высокий приоритет)	3 (5%)
<i>Результат обращения в отделение неотложной помощи</i>	
доставлен в обычное отделение	23 (38%)
отправлен домой	18 (30%)
операционная	3 (5%)

Тип травмы и место поражения	Количество, %
отделение интенсивной терапии	15 (25%)
покинул больницу вопреки советам врачей	1 (2%)

На основании исследований, авторами [9] была получена таблица распределения мест происшествий с участием СИМ, а также выполнен анализ травм, связанных с использованием электросамокатов в Сингапуре.

Таблица 5 – Распределение параметров ДТП с участием СИМ

<i>место расположения</i>	<i>%, количество пострадавших</i>
центральная часть города	31%
кампус университета	16%
<i>место происшествия</i>	
проезжая часть	55%
тротуар	33%
велосипедная дорожка/пешеходная дорожка	8 человек
парковка	4 человека
гараж	1 человек
неизвестно	2 человека
<i>вовлечение других участников движения</i>	
участие моторизованного ТС	16%
столкновение с автомобилем	10%
наезд на бордюр	10%
стационарные (столбы, люки)	7%
<i>дополнительные характеристики</i>	
ровная поверхность	65%
спуск под уклон	24%
подъем в гору	6%

Согласно табл. 5, почти половина всех травм (47%) произошла в центральной части города и на территории кампуса Техасского университета. Большинство травм (55%) произошло на проезжей части, а значительная часть (33%) – на тротуарах. В 16% случаев травмы были связаны с участием моторизованных ТС, включая столкновения с автомобилями (10%). Дополнительные факторы, такие как рельеф местности, показывают, что большинство пострадавших передвигались по ровной поверхности (65%), реже спускались под уклон (24%) или поднимались в гору (6%). Данные, представленные в табл. 5 наглядно демонстрируют распределение мест

происшествий, типы дорожного покрытия и другие характеристики, которые могут быть полезны для анализа факторов риска при использовании электросамокатов.

В исследованиях [10-12] главным фактором для оценки изменения количества поездок на СИМ выступает использование географически взвешенной регрессия, которая позволяет оценивать влияние локальных, а не глобальных независимых переменных коэффициентов, что может дать более полное представление использования СИМ.

Авторы [11] представляют результаты по изменению количества поездок на СИМ с учетом различных факторов, а именно:

- доли землепользования;
- среднегодового дохода населения и численности студентов, проживающих в выбранной для исследования области.

Зеленым цветом выделены положительные значения коэффициента, а красным - отрицательные значения (табл. 6).

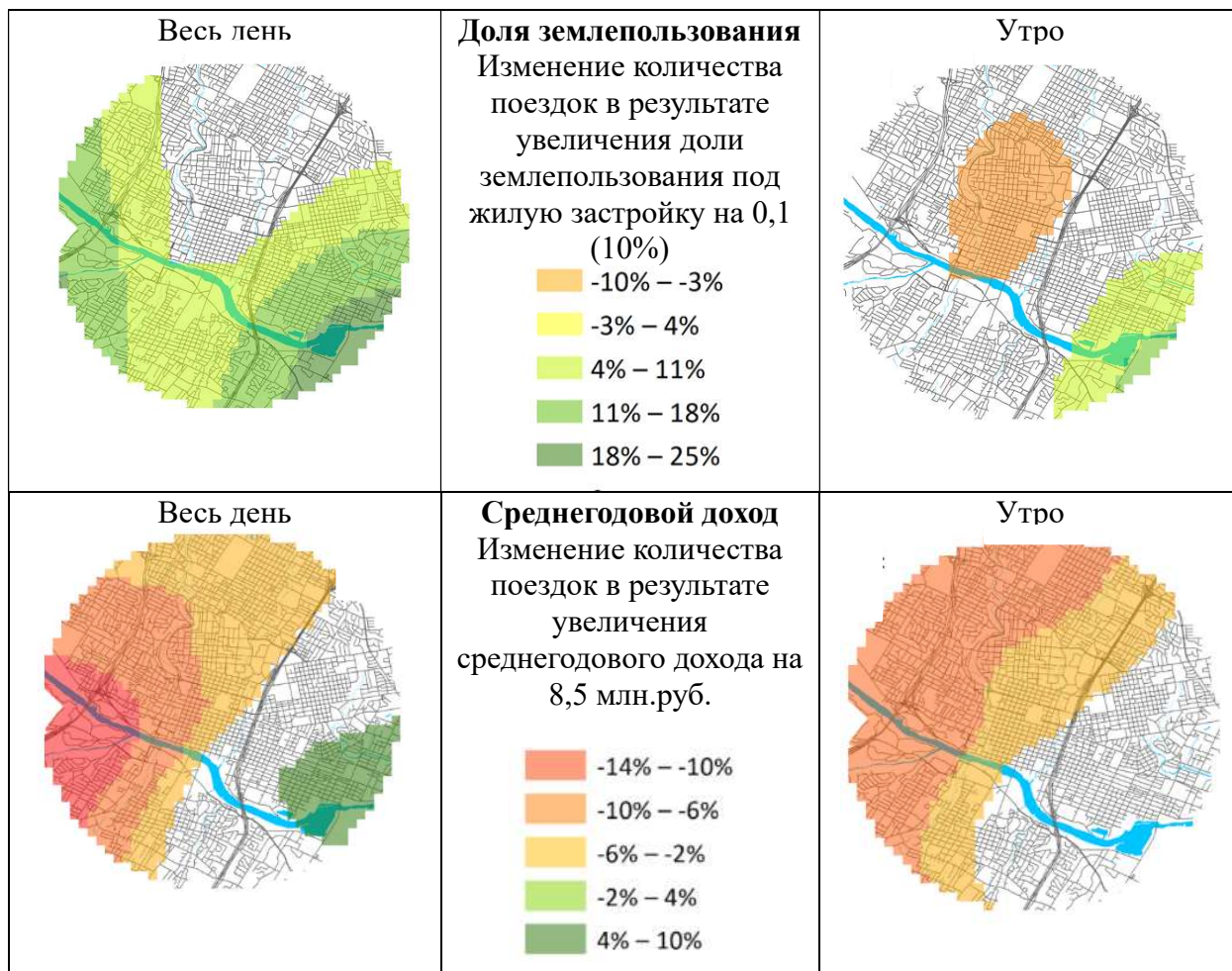
Исследования проводились на примере города Остин, штат Техас. Использование земельных участков под жилую застройку положительно влияет на количество туристов, приезжающих на юг и запад от центра города. Это может означать, что люди, которые пользуются сервисом в этом районе, не используют его для того, чтобы вернуться домой или жить в районе смешанного землепользования. Показатели коэффициента дохода в обеих моделях в целом схожи, хотя доход был значительным только для тех, кто прибывал утром. Центральная, северная и западная части центра города более богаты, а восточная - менее. Кроме того, средний доход в районе Техасского университета очень низок, в то время как доля студентов очень высока.

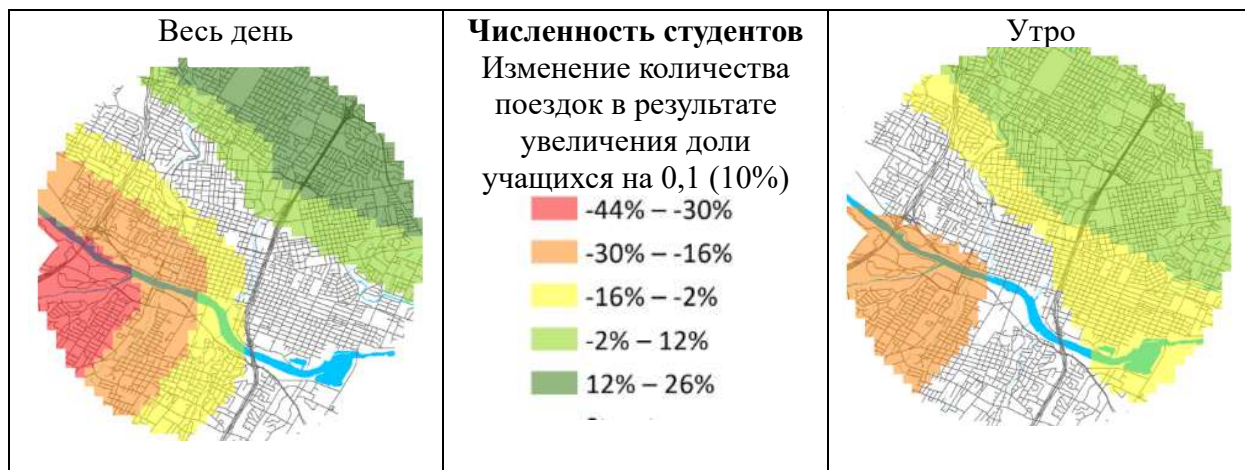
В обеих моделях использование СИМ в северной и западной частях центра города напрямую связано с доходом населения. При более высоком доходе жители города меньше используются СИМ для передвижения по городу, а при более низком наоборот, процент пользователей данных устройств выше.

Результаты регрессии показывают, что в районах с большим количеством студентов в северо-восточной части города совершается больше поездок, а в районах с меньшим количеством учащихся в западной части страны, где доля учащихся относительно невелика, совершают меньше поездок.

Разница между моделями позволяет предположить, что студенты, вероятно, являются основным источником использования СИМ, и подразумевает, что многие из утренних поездок совершаются студентами.

Таблица 6 – Коэффициенты модели географически взвешенной регрессии для связи между поездками на СИМ и социодемографическими характеристиками





В исследовании [12] показано, как в городе Стамбул городской департамент транспорта разработал руководящие принципы по проектированию и управлению пространством на обочине дороги, призванные сделать ходьбу безопасным, привлекательным и выгодным способом передвижения. Разработанные методы должны позволить пешеходам добраться до мест назначения, включая точки парковки средств индивидуальной мобильности, остановки общественного транспорта, рабочие места, места отдыха, школы и жилые дома.

Осознавая данную необходимость, было принято решение разделить фасад тротуара на три зоны:

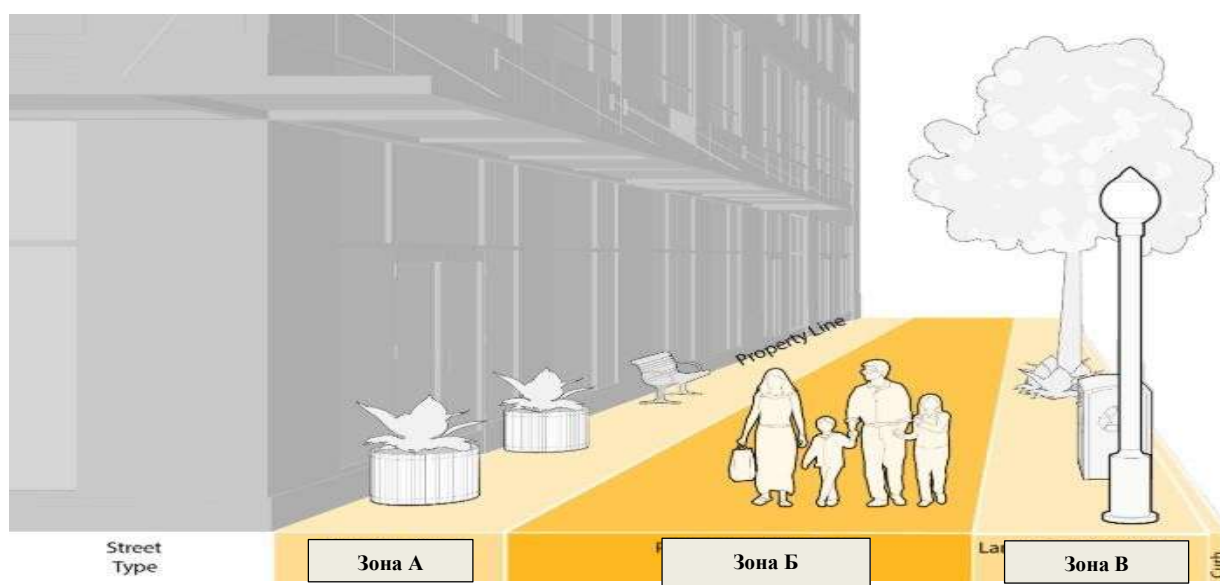


Рисунок 2 –Тротуарные зоны г. Стамбул

Зона А — это область между линией собственности жителей города и пешеходной зоной. В зависимости от размера зоны фасада эта область может вместить уличные кафе, входы в магазины, розничные витрины, озеленение, остановки общественного транспорта или другие особенности, которые улучшают пешеходную среду. Более широкая зона А предоставляет больше места будущим арендаторам и жильцам для посадки уличных деревьев и других необходимых ландшафтных решений. Минимальная ширина данной зоны составляет 0,6 метра, чтобы обеспечить достаточное расстояние от фиксированных объектов.

Зона Б — это свободная область для пешеходов, с выделенным тротуаром, специально отведенным для пешеходного движения. Уличная мебель, уличные деревья, кашпо и другие вертикальные элементы, такие как: столбы, пожарные гидранты и уличная мебель, а также временные знаки и другие предметы не должны находиться в пешеходной зоне.

Зона В — это область ландшафта (включая бордюр). Располагается между проезжей частью и передним краем пешеходной зоны. Эта зона отделяет пешеходов от прилегающей проезжей части и является подходящим местом для уличной мебели, уличных деревьев и растительности. Зона ландшафта/мебели также является предпочтительным местом для других объектов, таких как: вывески, пешеходное освещение, гидранты и надземные и подземные коммуникации. В зонах общественного транспорта эта зона может использоваться для остановок общественного транспорта, платформ и остановок; посадки; освещения; мусорных баков и т. д.

Эти зоны формируют основу правил точек парковки велосипедов и средств индивидуальной мобильности в г. Стамбул и предписывают пользователям:

- парковать устройство в любой зоне озеленения на тротуаре, ширина которой превышает 1 метр;
- прикреплять устройство к стойке для велосипедов (при условии, что они не блокируют доступ пешеходов);

парковать устройства в специально отведенных зонах для парковки (иногда их называют загонами, это окрашенные участки размером примерно с парковочное место для транспортного средства, предназначенные для парковки средств индивидуальной мобильности).

Выполненный анализ зарубежных научных источников позволил установить, что на сегодняшний день имеется определенный научный задел в исследовании движения СИМ в городских транспортных системах. Несмотря на относительно ранний возраст возникшей проблемы, в зарубежной практике имеется ряд исследований, связанных с оценкой травм в результате наезда СИМ, а также мероприятий, способствующих снижению наезда СИМ. В свою очередь, важным является анализ опыта использования СИМ в России.

1.2 Использование средств индивидуальной мобильности в Российской Федерации

Вопросы, связанные с резким ростом популярности СИМ в России, впервые начали активно обсуждаться в 2016 году. В ответ на стремительное распространение таких устройств, в 2019 году Министерством транспорта Российской Федерации был разработан проект поправок к ПДД, направленный на регулирование взаимодействия между водителями ТС, пешеходами и пользователями малогабаритных электрических средств передвижения. Данный проект был опубликован для общественного обсуждения 31 октября 2019 года и в дальнейшем прошёл стадию корректировок. Тем не менее, из-за разногласий по ряду ключевых положений, в том числе касающихся правового статуса СИМ и условий их использования, предложения не были окончательно утверждены и не вошли в действующую редакцию ПДД [13]. В ПДД Российской Федерации 1 марта 2023 года были внесены поправки, затрагивающие эксплуатацию СИМ [13], а именно:

- движение детей в возрасте до 7 лет на СИМ допустимо только по тротуарам, пешеходным и велопешеходным дорожкам, при обязательном сопровождении взрослых.

Внесенные изменения также регламентируют условия эксплуатации СИМ на различных объектах УДС:

1. в пешеходном пространстве – можно передвигаться на СИМ, если их вес не больше 35 килограммов;

2. по тротуарам и пешеходным дорожкам – разрешается движение при одновременном выполнении следующих требований: масса СИМ должна быть не более 35 кг, и дополнительно должно соблюдаться хотя бы одно из указанных ниже условий:

- отсутствие или высокая загруженность велосипедной или велопешеходной инфраструктуры;

- сопровождение ребенка младше 14 лет взрослым, который также использует СИМ.

3. по обочине – движение разрешено, если отсутствует техническая возможность использовать велосипедные дорожки, полосы для велосипедистов, велопешеходные пути, тротуары или пешеходные дорожки по причине их отсутствия или перегруженности.

4. по правому краю проезжей части – допускается при одновременном выполнении следующих требований:

- невозможность использования велосипедной инфраструктуры, тротуаров или пешеходных зон;

- на данной дороге установлено ограничение скорости не более 60 км/ч, а также разрешено движение велосипедов;

- СИМ оборудовано: эффективной тормозной системой, звуковым предупредительным сигналом, световозвращающими элементами (белого цвета спереди, оранжевого или красного - сбоку, красного – сзади), а также фарой (или фонарём) белого цвета спереди для движения в тёмное время суток или в условиях недостаточной видимости [13].

Помимо этого, начиная с 2024 года введены новые штрафы для пользователей СИМ [14]:

- за не остановку по требованию сотрудника ГАИ и отказ от медосвидетельствования, пользователю СИМ грозит штраф в размере 30 тысяч руб., по сути, как для водителей ТС, что говорит о том, что законодательство хочет приравнять водителей ТС и пользователей СИМ в одну категорию. Не исключено, что в скором времени законодательство введет обязательную регистрацию пользователей СИМ и ввод, и наличие ВУ [15];

- при прохождении пользователя СИМ процедуры медосвидетельствования и признания его в состоянии алкогольного опьянения грозит штраф в размере 30 тысяч рублей;

- за оставление места ДТП предусмотрен штраф в размере 5 тысяч рублей;

- за движение с пассажиром на СИМ не оборудованных для данного вида передвижения штраф составит 3 тысячи рублей;

- за движение с ребенком на СИМ не оборудованных для данного вида передвижения штраф составит 5 тысяч рублей [15].

Следует отметить, что сегодня СИМ становятся универсальным решением для множества профессий [16-21]. Их применение позволяет оптимизировать рабочие процессы, снизить затраты и повысить производительность труда (рис. 3).



Рисунок 3 – Сферы использования СИМ

В нашей стране СИМ имеют большой спектр для их использования. Они могут применяться во множестве сфер, где требуется быстрота и маневренность в передвижении по городским улицам или небольшим территориям.

1.3 Основные проблемы использования средств индивидуальной мобильности в городских транспортных системах и пути их решения

Использование СИМ приносит значительные экономические выгоды за счет снижения затрат на инфраструктуру, топливные ресурсы, здравоохранение и повышения эффективности использования времени [22-24]. Кроме того, это способствует развитию новых отраслей экономики,

снижению зависимости от импорта энергоносителей и достижению целей устойчивого развития.

Рост популярности СИМ стимулирует развитие новых производственных линий, создавая рабочие места в сфере обслуживания, производства, продаж, сервисного обслуживания и ремонта.

Однако на сегодняшний день УДС имеют ряд ограничений для безопасного и комфортного передвижения данных устройств, а именно:

1. Отсутствие выделенной инфраструктуры.

В большинстве городов отсутствуют специальные дорожки для передвижения СИМ, такие как велодорожки или зоны для электроскутеров. Пользователи вынуждены передвигаться по ПЧ, что создает риск столкновений с автомобилями. Также использование тротуаров может привести к конфликтам с пешеходами и увеличению количества несчастных случаев.

2. Ограниченное пространство для парковки.

В городах недостаточно специализированных парковок для СИМ, таких как велопарковки или стоянки для электроскутеров, что приводит к нарушению общественного порядка из-за неправильной парковки и загромождению общественных пространств, особенно тротуаров.

3. Препятствия дорожного покрытия.

Дорожная инфраструктура часто содержит элементы, которые затрудняют использование СИМ. Шероховатые или разбитые дороги, отсутствие пандусов на переходах и эскалаторах, высокие бордюры, всё это создает значительный дискомфорт для передвижения СИМ на УДС города.

4. Угроза безопасности.

Отсутствие специально организованной и адаптированной инфраструктуры для СИМ существенно повышает риск получения травм их пользователями. На фоне роста популярности таких устройств отмечается значительное увеличение числа ДТП с их участием, что, в свою очередь, снижает общественное доверие к СИМ как к безопасному и надёжному виду

городского транспорта [25, 26].

Массовое появление СИМ на улицах городов создаёт новые вызовы для транспортной безопасности. Увеличение плотности смешанного ТП усиливает вероятность конфликтных ситуаций не только между пользователями СИМ, но и между ними, пешеходами и водителями традиционных ТС. Это формирует реальную угрозу роста аварийности в городской среде [27].

Вместе с тем, несмотря на выявленные риски, СИМ обладают рядом существенных преимуществ, особенно в условиях крупных городов с высокой плотностью застройки и регулярными транспортными заторами. К положительным аспектам их использования относятся: сокращение времени в пути, отсутствие необходимости в поиске парковочного места, простота эксплуатации, экологическая безопасность, низкие эксплуатационные затраты и доступность для различных социальных групп населения [28, 29].

Всё это способствует трансформации городской мобильности: СИМ всё чаще рассматриваются как реальная альтернатива личному автомобилю, особенно для коротких поездок в рамках «транспорта последней мили» или «транспорта последнего километра».

Эти устройства знаменуют собой новый этап в развитии городского транспорта, сочетающий компактность, экологичность и высокую манёвренность. В России СИМ получили массовое распространение сравнительно недавно, тогда как в ряде зарубежных стран они уже давно вошли в повседневную транспортную практику и рассматриваются как полноценная замена автомобилю. За счёт постоянного совершенствования конструкций, технических характеристик и разработки нормативных правил эксплуатации, за рубежом достигается значительный рост уровня безопасности и удобства использования таких средств.

Всё чаще жители городов отдают предпочтение ТС с электрическим приводом, способным эффективно преодолевать значительные расстояния и оптимально подходящим для передвижения в городской среде. Такие СИМ обладают рядом преимуществ — они энергоэффективны, экологичны,

доступны по стоимости и не требуют сложного ТО. Их массовое использование способствует сокращению количества автомобилей на дорогах и снижению общей транспортной нагрузки в мегаполисах.

Вместе с тем распространение СИМ сопровождается и рядом проблем. Несмотря на высокую скорость движения (значительно превышающую пешеходную), в правовом поле они зачастую приравниваются к пешеходам. Отсутствие чёткой нормативно-правовой базы и недостаточная проработанность инфраструктурных решений создают правовую неопределённость в регулировании использования СИМ.

На данный момент использование СИМ в повседневной жизни населения имеет повышенную транспортную опасность. Большое количество категорий СИМ могут передвигаться с достаточно высокой скоростью, ограниченную маневренность и низкий уровень устойчивости, что повышает риск потери контроля над аппаратом, особенно в условиях плотного пешеходного или ТП [30, 31].

Особенно остро проблема использования СИМ выражается в высоких показателях аварийности (рис. 4, рис. 5). В 2024 году в России зафиксировано 4426 ДТП с участием средств индивидуальной мобильности, что составляет 5 % от общего количества дорожно-транспортных происшествий за год [32-35].

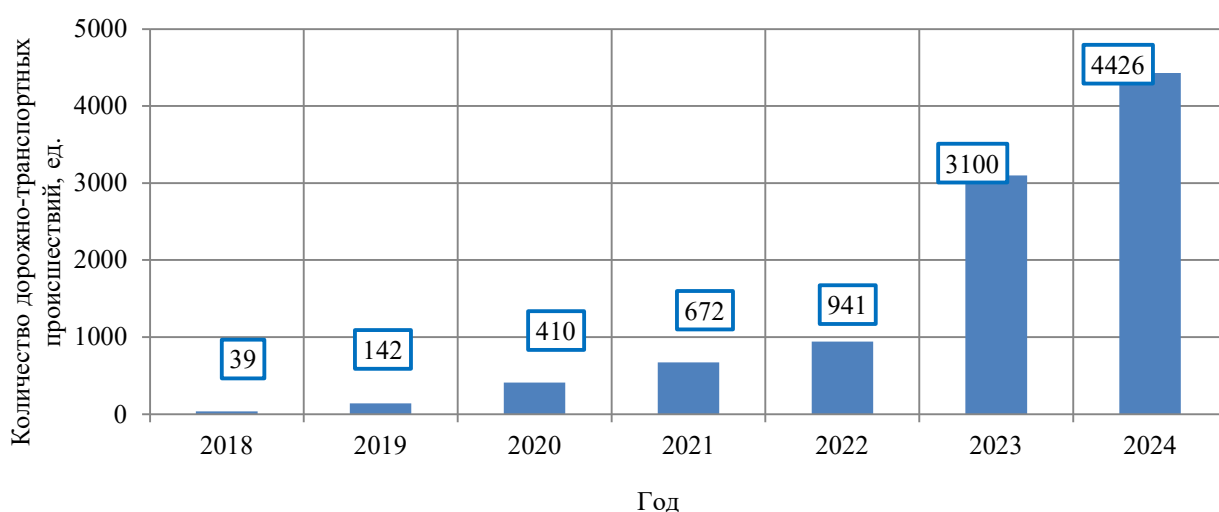


Рисунок 4 – Гистограмма количества ДТП с участием СИМ

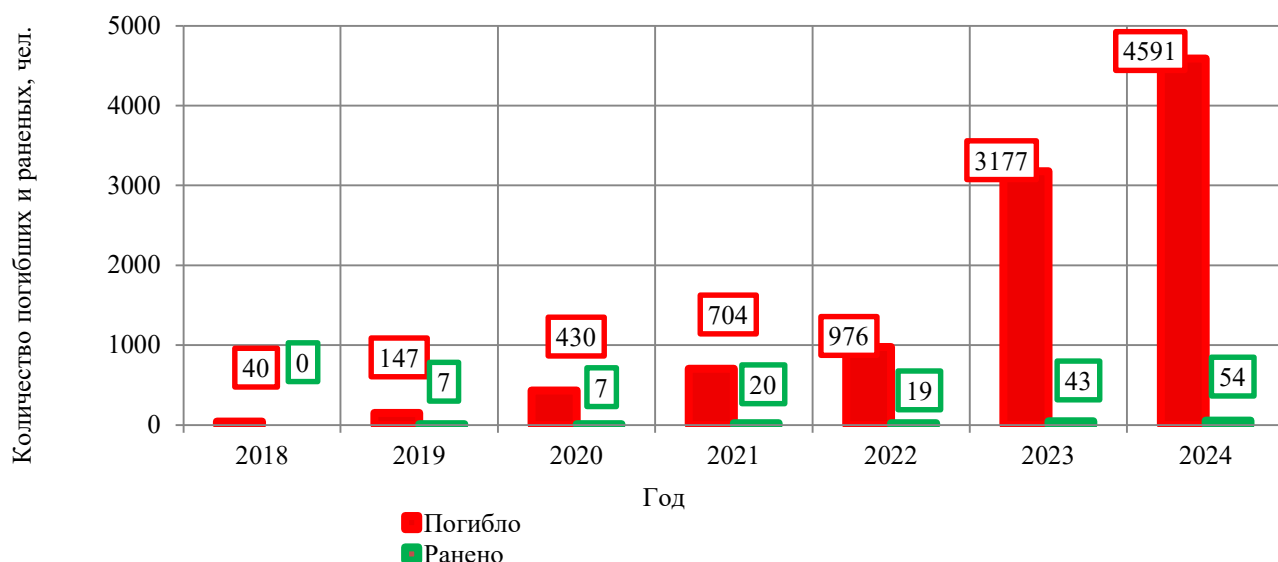


Рисунок 5 – Гистограмма тяжести последствий в результате ДТП с участием СИМ (число погибших и раненых)

Согласно данным НЦ БДД, число ДТП с участием СИМ растет, что свидетельствует о необходимости ужесточения правил их эксплуатации и повышения уровня безопасности на городских дорогах. Количество ДТП с их участием резко возросло за последние годы: если в 2018 году зафиксировано 39 инцидентов, то к 2024 году их число достигло 4426 (рис. 4). Такой рост свидетельствует об увеличении показателя аварийности более чем в 113 раз. Особую тревогу вызывает тот факт, что в результате этих происшествий имеют место не только травмы, но и летальные исходы (рис. 5).

Анализ статистики за шестилетний период показывает, что основной причиной ДТП с участием СИМ остаются нарушения ПДД. Преобладающая доля аварий связана с несоблюдением требований ПДД со стороны пользователей СИМ. В ЦФО доля ДТП, вызванных нарушениями ПДД, превышает 80%, что указывает на значительную роль человеческого фактора в формировании аварийной обстановки.

Для комплексной оценки ситуации рассмотрим структуру дорожных происшествий и их основные виды [36-38]. В Белгородской области наиболее распространённым типом ДТП с участием СИМ является столкновение, на которое приходится 45,9% от общего числа зарегистрированных аварий.

Данный показатель подчёркивает необходимость совершенствования как инфраструктуры, так и механизмов регулирования движения СИМ в городской среде.

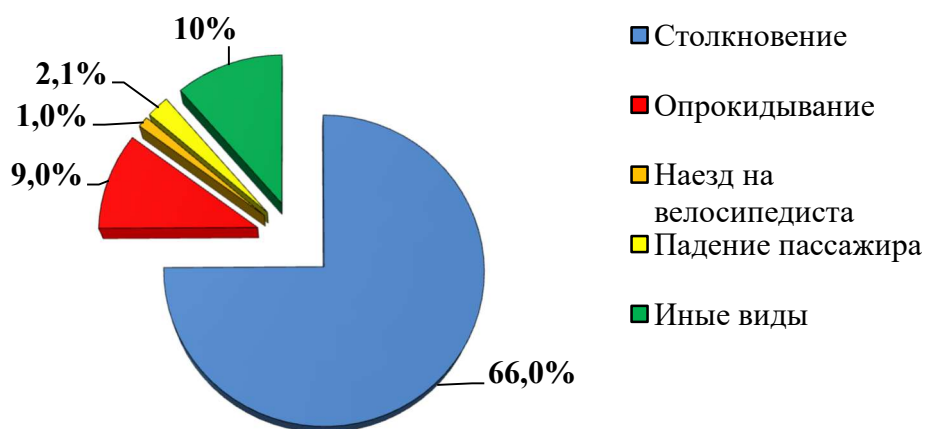


Рисунок 6 – Основные виды ДТП с участием средств индивидуальной мобильности

Следует отметить, что СИМ в основном эксплуатируются молодыми людьми, что обуславливает их повышенную вовлеченность в ДТП и делает эту возрастную группу наиболее уязвимой с точки зрения травматизма.

В 2022 году зафиксировано почти 50% пользователей СИМ, получивших ранения в ДТП, а именно люди до 25 лет. Среди них много подростков: больше 25% в возрасте от 14 до 19 лет [32, 33].

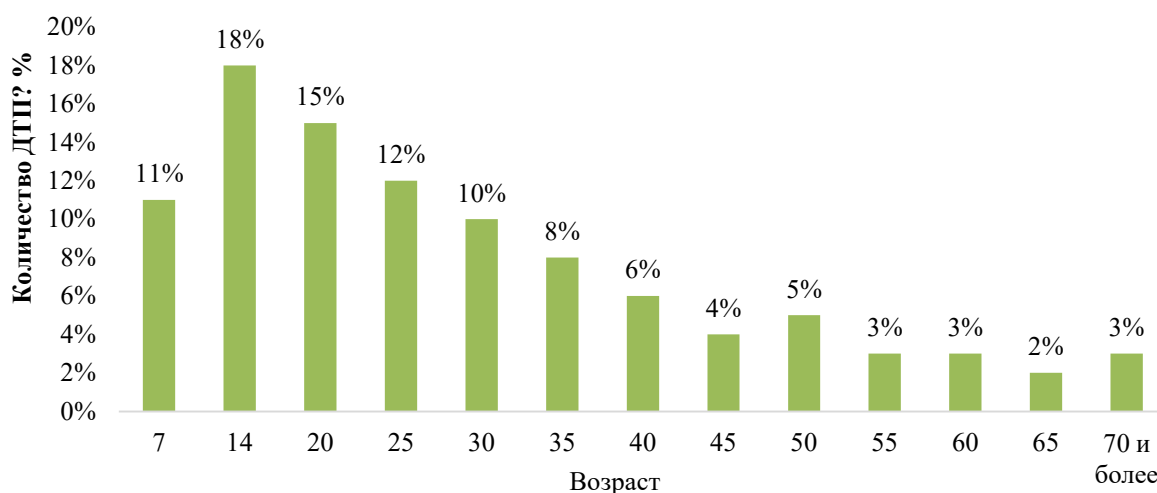


Рисунок 7 – Гистограмма возрастной доли пострадавших в ДТП с участием СИМ

Подавляющее большинство пользователей электросамокатов, попадающих в ДТП, не находятся в состоянии алкогольного опьянения – алкоголь в крови обнаруживается лишь у 5% из них. В сравнении с этим, при авариях с участием водителей автомобилей признаки опьянения фиксируются в два раза чаще, а среди мотоциклистов — в четыре раза [32, 33], что подчёркивает иные причины рисков при использовании СИМ.

После ДТП алкоголь в крови у автомобилистов находят вдвое чаще, а у мотоциклистов – вчетверо чаще, чем у самокатчиков.

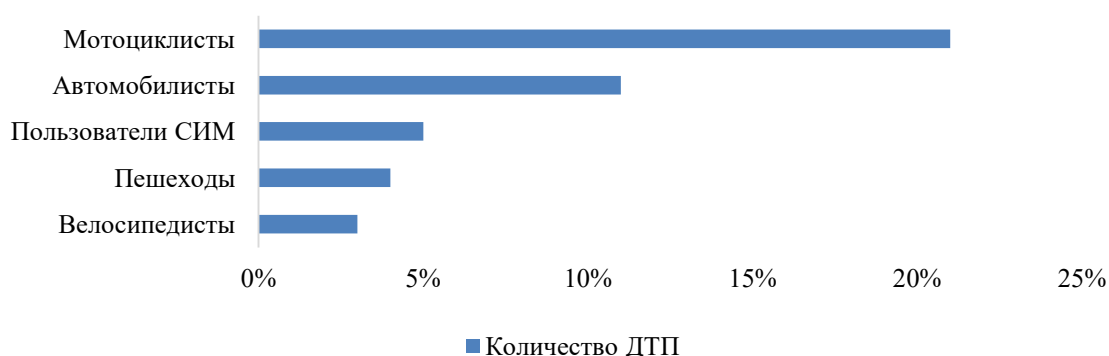


Рисунок 8 – Линейчатая гистограмма количества ДТП с содержанием алкоголя в крови

Поскольку СИМ – преимущественно городское средство передвижения, 99% аварий произошло в НП.

Наибольшее количество ДТП с участием электросамокатов зафиксировано в Краснодарском крае, который занимает первое место по данному показателю. Однако в официальных данных МВД России не приводится точное число аварий, произошедших на территории региона. Среди других территорий с высоким уровнем аварийности на фоне роста использования СИМ выделяются Тюменская, Свердловская и Нижегородская области, а также Москва и Санкт-Петербург [32-35].

Анализ локализации ДТП показывает, что подавляющее большинство инцидентов с участием СИМ происходит в зонах транспортных конфликтов – преимущественно на перекрёстках и участках пересечения потоков, включая

выезды с прилегающих территорий: дворовых проездов, автозаправочных станций, парковок и других мест с интенсивным смешанным движением [39].

Типичными сценариями являются ситуации, когда водитель автомобиля, выезжая с АЗС, не замечает движущийся электросамокат, либо, наоборот, пользователь СИМ выезжает на ПЧ и сталкивается с ТС. По мнению специалистов МВД, основной причиной подобных аварий является высокая скрытность электросамокатов в потоке: они часто появляются неожиданно для других участников ДД и плохо заметны из-за низкой шумности, небольших габаритов и отсутствия чёткой правовой регламентации их движения, установлено что 80% ДТП с участием СИМ зарегистрировано в светлое время суток, 19% - в темное время и 1% приходится на сумерки [35].



Рисунок 9 – Линейчатая гистограмма удельного веса ДТП с участием СИМ на объектах УДС

Анализ структуры ДТП с участием СИМ выявляет чёткую закономерность в локализации аварий. Наибольшее число инцидентов

приходится на участки с интенсивным смешанным движением и высокой концентрацией пешеходных потоков. Так, на тротуарах, пешеходных дорожках и в пешеходных зонах зафиксировано 37,6% всех ДТП с участием СИМ – это наиболее аварийно-опасные участки с точки зрения конфликта между пользователями устройств и пешеходами (рис. 9).

Значительная доля происшествий - 27,7% - регистрируется в зонах пересечения ПЧ, включая перекрёстки и выезды с прилегающих территорий, где наблюдается сложное взаимодействие различных участников ДД (рис. 9). Особую тревогу вызывает тот факт, что 17,6% аварий происходит непосредственно на ПП, что свидетельствует о нарушении правил поведения СИМ в зонах повышенной уязвимости пешеходов.

Представленные данные свидетельствуют о наличии системных проблем в организации взаимодействия СИМ с другими участниками ДД. Учитывая рост популярности таких устройств и отсутствие чёткой НПБ [40-45], можно прогнозировать дальнейшее увеличение числа ДТП с их участием, если не будут приняты меры по регулированию их использования и повышению БДД в городской среде. Причем рост у данного показателя будет достаточно стремительный, что объясняется наличием ряда факторов:

- даже в городах с населением менее 100 тыс. чел. стремительно развиваются сервисы кикшеринга (почасовая аренда СИМ, чаще всего электросамокатов): в 2022 году каждый третий, попавший в ДТП электросамокат оказался арендным [32, 33];

- существующая инфраструктура городских дорог зачастую не адаптирована к появлению новой категории участников ДД – пользователей СИМ. Это приводит к их взаимодействию, как с автомобильными потоками, так и с пешеходами, что повышает риски возникновения конфликтных ситуаций и ДТП. Это создаёт неопределённость в поведении участников ДД: СИМ перемещаются с более высокой скоростью, чем пешеходы, но не обладают статусом полноценного ТС. В таких условиях высока вероятность возникновения конфликтных ситуаций, когда пользователь самоката

неожиданно появляется в поле зрения водителя, что нередко приводит к столкновениям и ДТП [32-35].

С 1 февраля 2023 года в России вступил в силу ГОСТ, регулирующий технические требования к СИМ включая электросамокаты [41]. Данный стандарт устанавливает классификацию устройств и вводит ограничения по максимальной скорости в зависимости от их типа. Дополнительно с 1 марта 2023 года в ПДД были внесены изменения, закрепившие новые нормы эксплуатации таких устройств: скорость движения электросамокатов, гироскутеров и аналогичных транспортных средств ограничена 25 км/ч [13]. Согласно действующим нормативам, устройства с массой более 35 кг не допускаются к движению по пешеходным и велосипедным дорожкам. Более того, даже при соблюдении массового критерия приоритет в пешеходных зонах однозначно сохраняется за пешеходами, что подчёркивает необходимость учёта интересов наиболее уязвимых участников ДД.

Несмотря на принятие ряда, нормативно-правовых мер по регулированию использования СИМ, одной из наиболее острых проблем остаётся рост аварийности, прямо влияющий на безопасность и здоровье населения [46]. Влияние СИМ, однако, выходит за рамки транспортной безопасности [43]: их массовое применение затрагивает и другие сферы городской жизни — включая организацию общественного пространства, доступность инфраструктуры, а также комфорт и безопасность пешеходной среды.

Ниже приведена систематизированная оценка как положительных, так и негативных аспектов интеграции СИМ в современную УДС, учитывающая их воздействие на транспортную систему, городскую среду и поведение участников ДД (рис. 10).

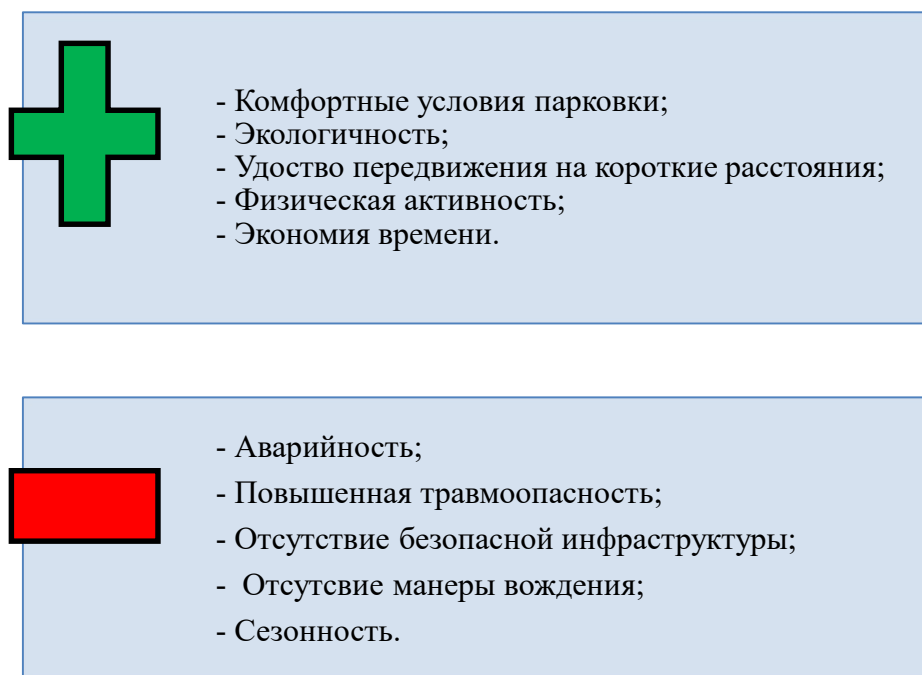


Рисунок 10 – Схема положительных и отрицательных сторон использования СИМ

Для решения выделенных отрицательных пунктов необходимо обратиться к законодательству нашей страны. Рассмотрим, как с точки зрения управленческой власти решаются проблемы, связанные с данным видом транспорта, и чего еще на данный момент не было предусмотрено.

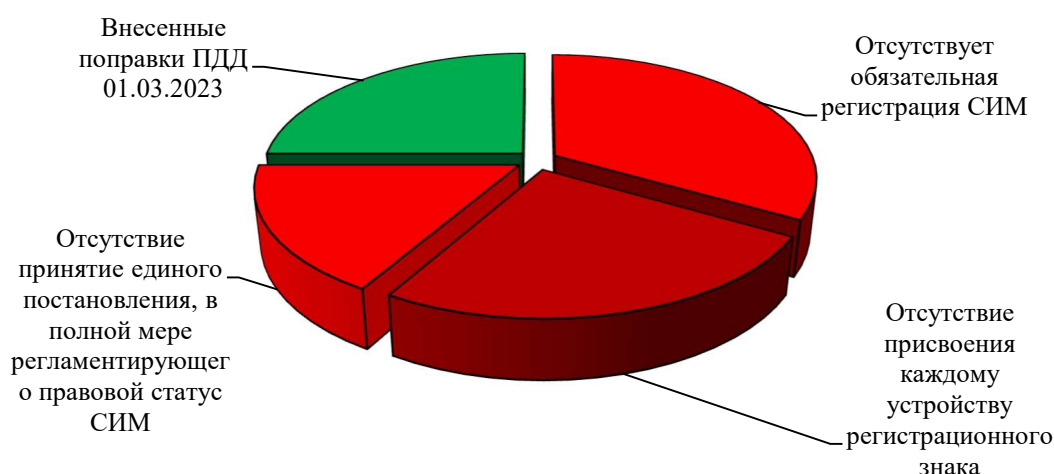


Рисунок 11 – Проблемы, связанные с движением СИМ на законодательном уровне

В результате выполненного анализа основных проблем, возникающих в УДС и связанных с процессом движения СИМ, можно определить основную – аварийность. С учетом наличия определенной базы данных, возможным становится выполнить процедуру прогнозирования количества ДТП в отдельно выделенном субъекте Российской Федерации.

1.4 Прогнозирование количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности

Согласно ранее выполненному анализу показателей аварийности было установлено, что количество ДТП с участием СИМ ежегодно увеличиваются. Согласно официальным источникам [32-35] наибольшее количество ДТП приходится на крупные мегаполисы и курортные города, рассматривая тяжесть последствий по субъектам РФ можно отметить, что наиболее аварийным регионом на сегодняшний день является Краснодарский край (рис. 12, рис. 13).



Рисунок 12 – Карта субъектов РФ по числу ДТП с участием СИМ за 2021 год [32]

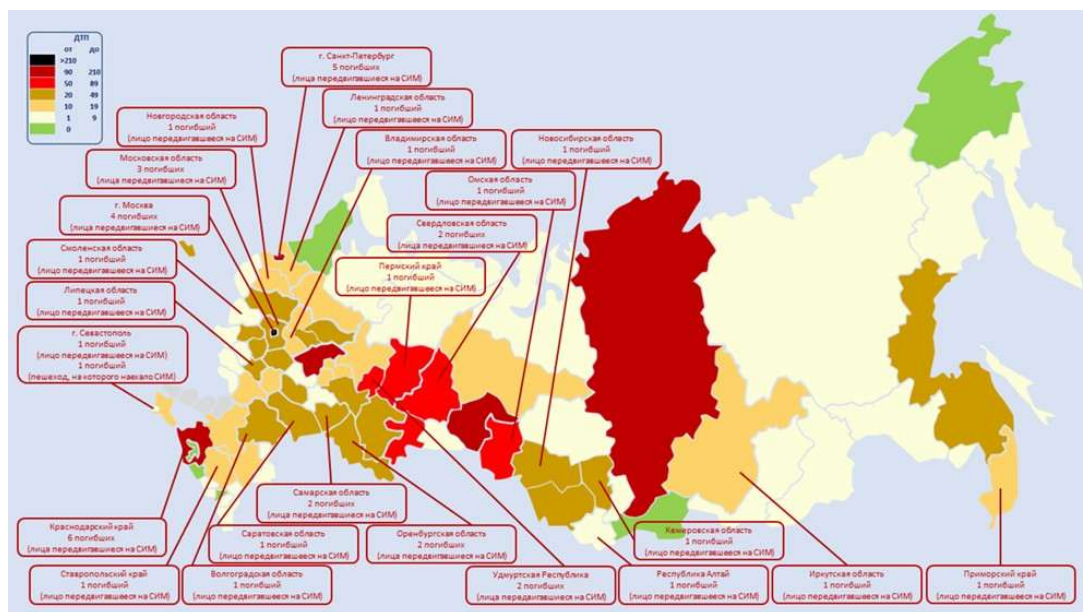


Рисунок 13 – Карта субъектов РФ по числу ДТП с участием СИМ за 2023 год

[34]

С целью оценки изменения ситуации в области аварийности с участием СИМ в масштабах южных городов, на примере Краснодарского края разработана прогнозная модель количества ДТП с участием рассматриваемых средств передвижения.

Согласно официальной статистической базе, где существует возможность выгрузки карточек ДТП, в которых содержится наиболее полная информация о происшествии, его виде, участника, а также иной информации, которая является первичной при оформлении осмотра места происшествия [47]. В результате выгрузки показателей по ЮФО, в частности Краснодарскому краю по периодам года – месяцам, были получены данные о числе ДТП с участием СИМ за 2018–2023 гг. Всего за рассматриваемый период в анализируемом субъекте произошло 190 происшествий. Из представленных графиков (рис. 14. а, б) видно, что в целом общее количество происшествий в рассматриваемом субъекте снижается, особенно в период с 2019 года по 2022 год, но далее происходит небольшой рост, приблизительно на 6%, тогда как ДТП с участием СИМ с период с 2018 по 2021 год

увеличиваются с нарастающим эффектом и в 2023 году происходит резкое увеличение числа аварий.

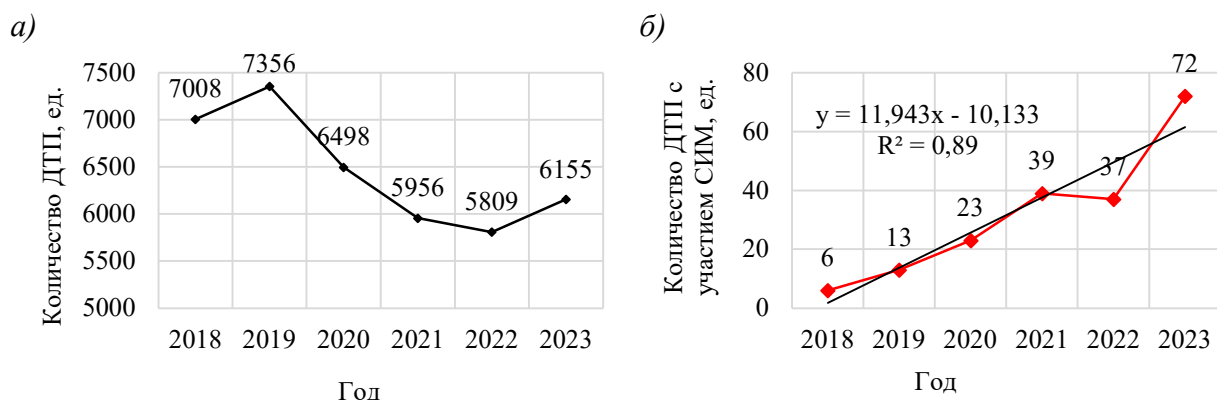


Рисунок 14 – Линейные графики изменения числа ДТП по Краснодарскому краю за 2018–2023 гг.

(а – общее количество ДТП; б – количество ДТП с участием СИМ)

В результате анализа данных, содержащихся в карточка ДТП, было установлено, что ДТП с участием СИМ в течение года происходят довольно часто и фиксируются во все периоды года, как в зимний, так и в летний, что можно объяснить определенной климатической зоной расположения Краснодарского края, что позволяет использовать СИМ круглогодично. Несмотря на это, наибольшее число ДТП все же фиксируется в летний период (табл. 7).

Таблица 7 – Распределение числа ДТП с участием СИМ по месяцам года по результату анализа показателей аварийности Краснодарского края за период 2018–2023 гг.

Год Месяц	2018	2019	2020	2021	2022	2023
январь	0	0	1	0	0	6
февраль	1	1	0	0	1	2
март	1	0	1	3	1	1
апрель	0	0	0	2	7	2
май	0	1	0	6	6	8
июнь	1	2	1	6	7	5
июль	0	1	2	6	5	15
август	1	2	4	4	1	7

сентябрь	1	1	4	3	2	6
октябрь	1	1	6	5	5	12
ноябрь	0	3	0	3	1	6
декабрь	0	1	4	1	1	2

Графическое представление данных (рис. 15), отраженных в таблице 7 и подбор тренда показывает, с величиной достоверности аппроксимации 0,65, линейный характер распределения рассматриваемой величины, что на данном этапе свидетельствует о характере увеличения рассматриваемых показателей.

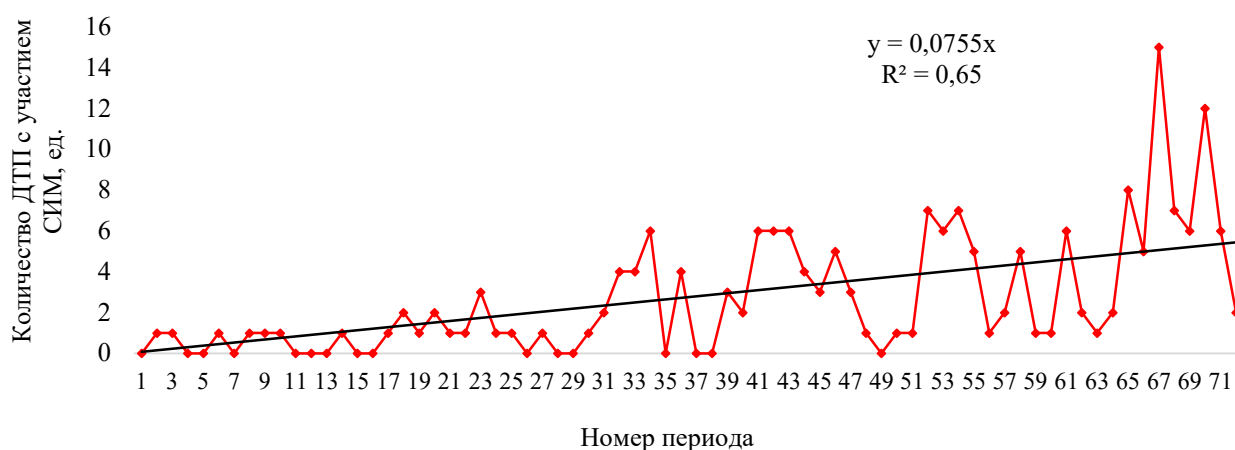


Рисунок 15 –Графическое изображение распределения количества ДТП с участием СИМ по месяцам года для рассматриваемого субъекта РФ – Краснодарского края в период 2018–2023 гг.

Из представленного графика (рис. 15) видно, что количество ДТП с участием СИМ увеличивается, при выполнении процедуры сглаживания графика по вершинам, установлено, что вид распределения с величиной достоверности аппроксимации 0,94 также описывается линейной функцией (рис. 16). В таком случае, с учетом постоянно увеличивающихся показателей в качестве математической модели для описания такого характера распределения во времени и последующего прогнозирования возможно использовать мультипликативную модель, описанную в разделе эконометрики – временные ряды [48].

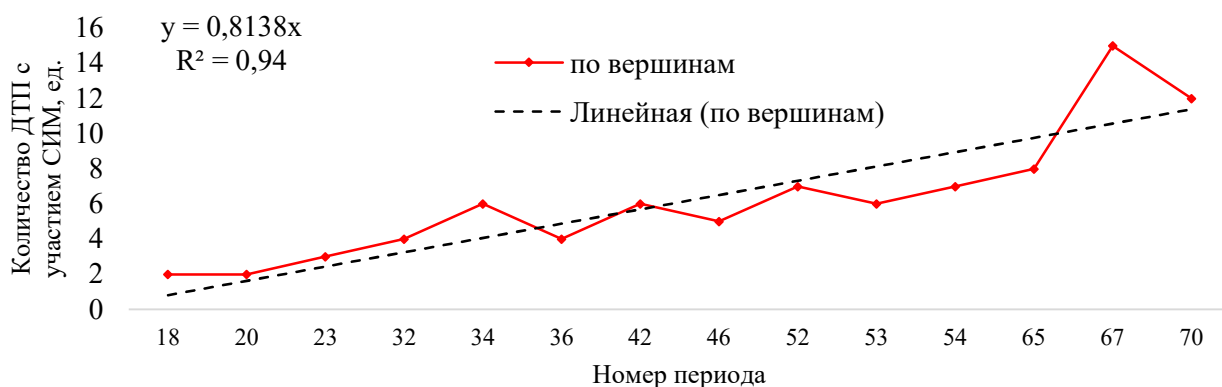


Рисунок 16 – Распределение количества ДТП с участием СИМ по максимальным значениям для Краснодарского края за период 2018–2023 гг.

В таком случае мультипликативная модель имеет вид:

$$Y = T \cdot S \cdot E \quad (1)$$

где Y – значение показателя временного ряда; T – трендовый компонент; S – сезонный компонент; E – случайный компонент.

Чтобы получить модель временного ряда мультипликативного вида необходимо определить все виды компонент. Для определения сезонной компоненты (S) необходимо осуществить выравнивание ряда методом скользящей средней для рассматриваемых периодов временного ряда:

$$y'_t = \frac{y_1 + y_2 \dots + y_n}{n} \quad (2)$$

где y'_t – значение скользящего среднего; y_1 – значение исследуемой величины в предыдущем периоде (день, месяц, квартал и пр.); y_2 – значение исследуемой величины в текущем периоде; y_n – значение исследуемой величины в последующем периоде; n – число периодов ($n=12$).

Далее необходимо осуществить процедуру центрирования скользящей средней (\bar{y}'_t) и выполнить расчет сезонной компоненты:

$$S_t = \bar{S}_t \cdot k_s \quad (3)$$

где S_t – скорректированная сезонная компонента; k_s – корректирующий коэффициент ($k_s = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \bar{S}_t$).

Расчет скорректированной сезонной компоненты осуществляется с использованием формулы:

$$\bar{S}_t = \frac{1}{m} \sum_m^1 \hat{S}_t \quad (4)$$

где \bar{S}_t – значение средней сезонной компоненты; m – число рассматриваемых периодов.

Значение средней сезонной компоненты осуществляется с использованием формулы:

$$\hat{S}_t = y_t / \bar{y}_t' \quad (5)$$

где \hat{S}_t – оценочный сезонный компонент; y_t – значение исследуемой величины в текущем периоде; \bar{y}_t' – значение центрированной скользящей средней.

Далее произведен расчет компонентов трендовой составляющей, в соответствии с видом мультипликативной модели (1). Согласно первому приближению тренда (рис. 15) и построению тренда по максимальным значениям (вершинам), наиболее точно распределение описывается линейным трендом, причем во втором случае (рис. 16) величина аппроксимации составляет 0,94, что свидетельствует о достаточно высокой степени точности в подборе тренда.

Таблица 8 – Результаты расчета сезонной компоненты

Номер периода Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018											0,00	0,00
2019	0,00	0,10	0,00	0,00	0,08	0,14	0,07	0,13	0,06	0,06	0,16	0,05
2020	0,05	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,07	0,14	0,14	0,20	0,00	0,13
2021	0,00	0,00	0,09	0,06	0,16	0,16	0,15	0,10	0,07	0,12	0,07	0,02
2022	0,00	0,02	0,02	0,15	0,12	0,14	0,10	0,02	0,04	0,09	0,02	0,02
2023	0,11	0,03	0,02	0,03	0,13	0,08	0,24	0,11	0,09	0,18		
\bar{S}_t	0,031	0,031	0,034	0,047	0,099	0,112	0,126	0,099	0,080	0,13	0,049	0,043
S_t	0,417	0,426	0,457	0,64	1,343	1,526	1,72	1,354	1,091	1,77	0,67	0,588

* $k_s = 13,63$

В таком случае искомая компонента будет иметь вид:

$$T = a \cdot t + b \quad (6)$$

где a и b – коэффициенты, определяющие характер изменения тренда, точку пересечения и угол наклона.

Коэффициенты a и b будут определены с использованием формул:

$$a = \frac{\sum y_t \cdot S_t}{\sum t} \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum (y_t) \cdot \sum (S_t)}{\sum t} \quad (8)$$

Были вычислены значения коэффициентов $a = -0,25$ и $b = 0,08$, подстановка которых в уравнение (6) позволяет записать модель трендовой компоненты в виде:

$$T = -0,25 \cdot t + 0,08 \quad (9)$$

На заключительном этапе, необходимо оценить случайную компоненту (E), которая определяется с использованием формулы:

$$E = y_t - F \quad (10)$$

где F – показатель значения временного ряда, оперяемый как произведение трендовой (T) и сезонной компоненты (S):

$$F = T \cdot S \quad (11)$$

В данном случае величина случайной компоненты позволяет оценить величину ошибки, что будет использовано для вычисления показателя достоверности.

Расчет всех необходимых компонент позволил определить вид модели прогнозирования количества ДТП с участием СИМ для Краснодарского края, которая по результату выборки данных за период 2018–2023 гг. без учета случайной компоненты, которая имеет вид:

$$Q = S_t \cdot (0,08 - 0,25 \cdot t) \quad (12)$$

где Q – значение рассматриваемого показателя – количество ДТП с участием СИМ, ед.; S_t – сезонная компонента для определенного месяца (1...12); 0,08, - 0,25 – коэффициенты b и a соответственно – составляющие трендового компонента; t – время, значение рассматриваемого периода.

С использованием полученной модели (12) для Краснодарского края были спрогнозированы показатели количества ДТП с участием СИМ на период 2024 года, что наглядно отражено в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты прогнозирования количества ДТП с участием СИМ для Краснодарского края на период 2024 года (январь-декабрь)

Компоненты t		T	S	Q
73	Январь 2024	5,50	0,42	2
74	Февраль 2024	5,58	0,43	2
75	Март 2024	5,66	0,46	3
76	Апрель 2024	5,74	0,64	4
77	Май 2024	5,81	1,34	8
78	Июнь 2024	5,89	1,53	9
79	Июль 2024	5,97	1,72	10
80	Август 2024	6,05	1,35	8
81	Сентябрь 2024	6,13	1,09	7
82	Октябрь 2024	6,21	1,77	11
83	Ноябрь 2024	6,29	0,67	4
84	Декабрь 2024	6,37	0,59	4

Выполненный расчет позволил спрогнозировать 72 ДТП с участием СИМ в 2024 году и количественно определить значение ДТП для каждого месяца, что наглядно отражено в таблице 9. Графически, полученные результаты представлены на рис. 17.

Величина ошибки определена с использованием формулы:

$$\delta = \frac{\sum e_t^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (13)$$

Вычисления по формуле (13) показали, что величина ошибки составила 33, позволяет судить о 67% - ой достоверности полученной предложенной прогнозной модели.

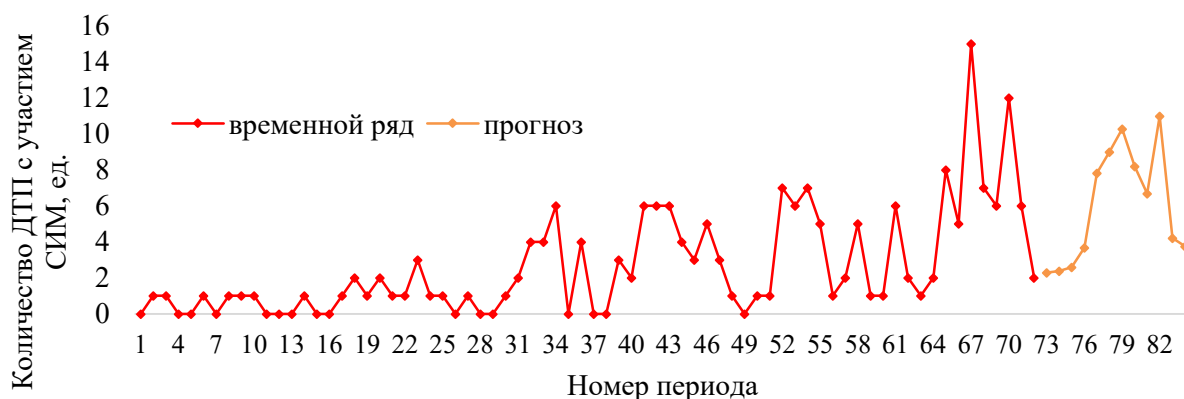


Рисунок 17 –Графическое изображение результатов прогнозирования с использованием полученной модели (12)

Таким образом, для прогнозирования количества ДТП с участием СИМ для в определенном субъекте РФ предложено использовать эконометрический метод, если динамику распределения ДТП рассматривать в контексте теории временных рядов. На основе статистических данных установлено, что для прогнозирования их динамики наилучшим образом подходит мультипликативная модель. В качестве конкретного применения данной методики прогнозирования рассмотрена динамика ДТП с участием СИМ на территории Краснодарского края по данным официальной статистики ГАИ.

Анализ ДТП с участием СИМ на территории Краснодарского края позволили установить, что характер распределения исследуемых величин по месяцам рассматриваемых лет (за период 2018–2023 гг.) описывается временным рядом. С использованием эконометрики установлено, что увеличивающийся характер изменения рассматриваемых величин возможно описать с применением мультипликативной модели, состоящей из трех компонент – сезонной, трендовой и случайной. Расчет всех компонент позволил определить вид модели ($Q = S_t \cdot e_t \cdot (0,08 - 0,25 \cdot t)$), позволяющей произвести расчет количества ДТП с участием СИМ для рассматриваемого субъекта – Краснодарского края. Расчет с использованием полученной модели позволил определить количество ДТП с участием СИМ в 2024 году – 72 с распределением по месяцам года, обеспечив точность прогнозирования 67%.

Результаты расчетов показали, что сформулированная прогнозная мультипликативная модель удовлетворительно согласуется с имеющимися в открытом доступе статистическими данными ГАИ, и предложенная методика может быть использована для краткосрочного прогнозирования с определенной долей достоверности.

1.5 Выводы по главе 1

Использование СИМ на УДС всё чаще становится фактором, повышающим риски для безопасности дорожного движения. Участники, управляющие такими устройствами, не только подвергаются повышенной угрозе сами, но и могут создавать опасные ситуации для пешеходов и других участников движения. Анализ ДТП свидетельствует о растущей вовлечённости пользователей СИМ в аварийные ситуации. Всё чаще такие устройства становятся участниками ДТП, что указывает на острую проблему их интеграции в существующую транспортную среду. Особую обеспокоенность вызывают случаи, в которых в качестве пользователей СИМ выступают несовершеннолетние, чья ограниченная опытность и повышенная уязвимость значительно усиливают риски получения травм.

Актуальность вопроса регулирования и безопасного использования СИМ в городской инфраструктуре подтверждается, прежде всего, резким ростом числа ДТП с их участием. Данная тенденция демонстрирует несоответствие между быстро развивающейся практикой применения новых видов мобильности и уровнем готовности УДС, нормативной базы и системы обеспечения безопасности.

Проведенный анализ мирового опыта использования СИМ и предпринимаемых мер законодательного управления в сфере контроля за их передвижением доказывает, что к ряду наиболее востребованных государственных постановлений и мер, принимаемых на государственном уровне в мировых странах относят в первую очередь ввод обязательной

регистрации СИМ, а также принятие постановления, регламентирующего правовой статус новых участников ДД.

Анализ количества ДТП с участием СИМ позволил определить, что увеличивающийся характер количества происшествий возможно описать с помощью временного ряда и последующим математическим анализом, основанным на мультипликативной модели, состоящей из трех компонент – сезонной, трендовой и случайной. Расчет всех компонент позволил установить вид модели $Q = S_t \cdot e_t \cdot (0,08 - 0,25 \cdot t)$, что позволило произвести расчет количества ДТП с участием СИМ и математически установить, что в случае непринятия научно-обоснованных мероприятий, количество происшествий будет увеличиваться.

Результаты расчетов показали, что сформулированная прогнозная мультипликативная модель удовлетворительно согласуется с имеющимися в открытом доступе статистическими данными ГАИ, и предложенная методика может быть использована для краткосрочного прогнозирования с определенной долей достоверности.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

2.1 Анализ рынка продаж средств индивидуальной мобильности

Темпы технологического развития в транспортной сфере продолжают ускоряться: за последние десять лет произошла смена нескольких поколений автотранспортных средств [49, 50]. Рынок ежегодно пополняется новыми моделями, которые подвергаются постоянной модернизации — совершенствуются их конструкция, функциональность и удобство эксплуатации. На фоне этого развития значительное распространение получили устройства, предназначенные для личного передвижения, использующие в качестве источника движения либо электрический привод, либо мускульную силу человека. Такие устройства получили общее обозначение — СИМ, которые всё активнее интегрируются в повседневную транспортную среду городов [51-54].

Сегодня, индивидуальные средства увеличивают мобильность человека, а также снижают денежные затраты и исключают вопросы, связанные с временными затратами, что является очень важным условием в современной жизнедеятельности человека. Для того чтобы как можно чаще избегать общественного транспорта, население прибегает к использованию электросамокатов, гироскутеров, моноколес, сегвеев и т.д. Именно поэтому дополнительным фактором, усилившей популярность данных средств, стала пандемия коронавирусной инфекции Covid-19, который позволил снизить взаимодействие с другими людьми, которые нельзя исключить при использовании общественного транспорта, метро, такси [55].

В результате анализа, установлено, что происходит непрерывное совершенствование устройств в целом, тем самым повышается привлекательность данных видов средств передвижения. А также

наблюдаются изменения с учётом потребительского спроса в городских условиях [56]. Определено, что СИМ обладают большим количеством преимуществ, что с каждым годом повышает спрос на данные средства передвижения в городской среде и, несмотря на имеющиеся недостатки, люди активно заменяют автомобили на данные устройства [57].

Современное общество продолжает динамично развиваться, что находит своё отражение в транспортной сфере: смена поколений автотранспортных средств происходит с возрастающей скоростью. Потребительский рынок регулярно обновляется за счёт появления новых типов транспортных устройств, которые подвергаются постоянному совершенствованию — как с точки зрения конструктивных решений, так и с точки зрения функциональных возможностей и удобства использования. Ниже представлено описание и классификация основных видов СИМ, включая их технические и эксплуатационные характеристики (табл. 10).

Таблица 10 – Виды СИМ и их описание

Вид СИМ	Описание
	Самокат - средство передвижения, приводимое в движение путём отталкивания ногой от земли в положении стоя. Самокат используется не только в качестве персонального транспорта, но и для досуга, занятия спортом и физкультурой
	Электрический самокат – средство передвижения на двух колесах с электромотором
	Роликовые коньки – специальные коньки, ботинки с прикреплёнными к ним рамами, в которых закреплено от двух до пяти (и даже шести) колёс, предназначенные для передвижения по твёрдой ровной поверхности, реже по бездорожью, аналогично передвижению по льду на традиционных коньках.
	Моноколесо - электрический самобалансирующий уницикл (моноцикл) с одним колесом и расположенными по обе стороны от колеса подножками.

Вид СИМ	Описание
	<p>Скейтборд - доска, состоящая из фанеры, которая содержит несколько слоёв шпона, установленная на колёса небольшого диаметра (ролики).</p>
	<p>Электрический скейтборд – это персональный транспортер на основе скейтборда. Скорость обычно регулируется с помощью беспроводного ручного дросселя пульта дистанционного управления или смещения веса тела гонщика между передней частью доски для движения вперед и задней частью для торможения.</p>
	<p>Гироскутер – уличное электрическое транспортное средство, выполненное в форме двух соединённых поперечных площадок для ступней, подвижных относительно друг друга, с колёсами по бокам.</p>
	<p>Сегвей – электрическое самобалансирующееся транспортное средство с двумя колёсами, расположенными по обе стороны от водителя, внешне напоминающее колесницу.</p>
	<p>Электроскутер - вид скутера, использующий электродвигатель с питанием от аккумулятора.</p>

Анализ рынка СИМ необходим для того, чтобы можно было наглядно увидеть популярность данных средств за счет анализа спроса и предложений.

На современном рынке представлено значительное разнообразие СИМ, что позволяет каждому пользователю выбрать устройство, соответствующее его возрасту, уровню подготовки, физическим возможностям, потребностям в передвижении и материальным возможностям. Широкий ассортимент – от электросамокатов и гироскутеров до моноколёс и электровелосипедов – обеспечивает гибкость в подборе оптимального варианта транспорта. При этом выбор обусловлен не только техническими характеристиками, но и рядом

эксплуатационных преимуществ СИМ, включая компактность, экологичность, простоту использования и экономическую доступность [58-61].

Согласно СМИ в 2024 году продаваемость СИМ составила порядка 230 тыс. единиц, что на 37% больше по сравнению с 2021 годом, 83% из которых составили электросамокаты, остальные 17% — это такие СИМ как, гироскутер, сигвей, многоколесо. Данные средства передвижения являются менее популярными, из-за их структурных характеристик, а также использования при вождении [62].

Вопросы повышения мобильности населения и эффективного использования времени являются приоритетными в современном обществе и актуальны для стран всех континентов. Одной из ключевых тенденций последних лет является устойчивый рост числа автомобилей, мотоциклов, мопедов и других видов транспорта. Эта динамика оказывает значительную нагрузку на улично-дорожную инфраструктуру, способствуя учащению транспортных заторов и увеличению количества ДТП.

В поисках альтернативных решений для преодоления коротких и средних расстояний в городской среде всё большее число граждан, включая владельцев личных автомобилей, обращаются к новым формам передвижения. Особое распространение получили компактные электрические устройства — такие как сегвеи, моноколёса, гироскутеры и электросамокаты, именуемые как СИМ. Их популярность обусловлена высокой манёвренностью, доступностью и способностью эффективно обходить пробки. В ответ на растущий спрос сформировалась новая сфера городской транспортной инфраструктуры — системы краткосрочной аренды СИМ, которые позволяют быстро получить доступ к устройству в любой точке города [63-65].

Кикшеринговые компании закупают устройства, которые необходимы для видения их бизнеса, а именно электросамокаты, обладающие повышенной прочностью, безопасностью и соответствуют условиям для комфортного перемещения в условиях современного города [66-68].

Из-за повышенного запроса потребителей электромобилей, который с каждым годом также увеличивается, тенденция увеличения продаж СИМ будет сохраняться и далее. Создание благоприятной инфраструктуры в условиях города, а именно строительство новой велоинфраструктуры и интеграции электросамокатов в городской транспорт является ключевой возможностью для роста отрасли, как следствие, предпочтение СИМ общественному транспорту [69]

В 2022 году компанией Яндекс был представлен собственный электросамокат и уже весной 2022 года подобные самокаты пополнили парк сервиса Яндекс Go (рис. 18, а, б, в)



Рисунок 18 – Электросамокат компании Яндекс Go

В данной модели (рис. 18) был уменьшен радиус колес, по сравнению с другими моделями электросамокатов, это делает электросамокат более управляемым, он лучше разворачивается. Добавлен задний амортизатор, который должен нивелировать неровности дорожного покрытия и меньше передавать тряску.

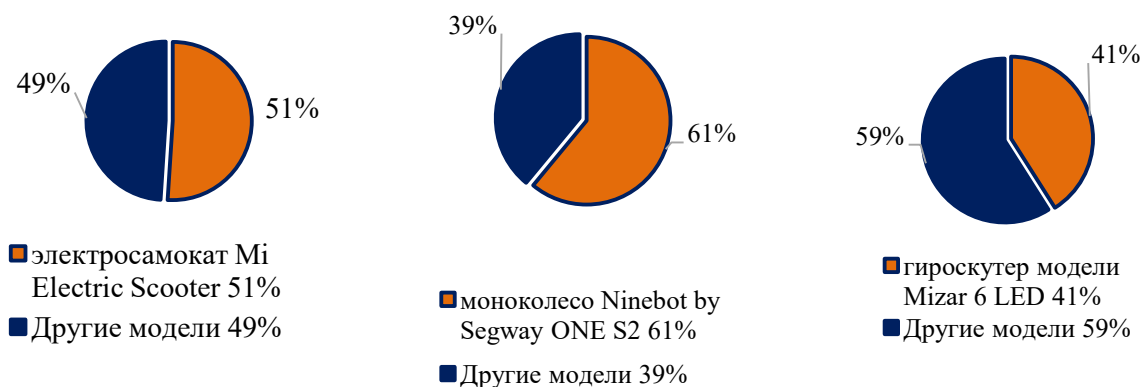
Согласно данным Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы (Дептранса), в 2022 году в рамках кикшеринговых сервисов в эксплуатации находилось около 40 000 электросамокатов. За этот период с их помощью было совершено 26,3 миллиона поездок, а число зарегистрированных пользователей таких сервисов составило порядка 2 миллионов человек.

С момента запуска проката электросамокатов за пять лет накопленный объём поездок превысил 37 миллионов, что подтверждается официальной статистикой Дептранса. Для сравнения: за десять лет функционирования городского велопроката объём поездок составил 28 миллионов, при этом в 2022 году на велосипедах было совершено лишь 3,3 миллиона поездок.

Такие показатели свидетельствуют о возрастающей популярности электросамокатов как средства городской мобильности. Их востребованность значительно превышает аналогичные показатели велосипедного проката, что указывает на предпочтение пользователей более быстрых, удобных и энергоэффективных решений для передвижения на короткие и средние расстояния в условиях мегаполиса.

В ходе проведённого анализа рынка СИМ были выделены наиболее распространённые модели, а также осуществлён обзор динамики их реализации в 2024 году. В качестве основы для сравнительной оценки использованы данные платформы «Яндекс. Маркет», отражающие объёмы продаж и популярность отдельных моделей.

На основе представленной информации проведено сопоставление ассортимента СИМ с учётом доли продаж каждой модели, что позволило определить лидеров рынка и выявить тенденции потребительского спроса. Анализ процентного соотношения реализованных устройств даёт представление о предпочтениях пользователей и помогает оценить востребованность различных моделей СИМ (рис. 19, а, б, в) в зависимости от их технических характеристик, ценовой категории и функциональных возможностей (табл. 11, табл. 12, табл. 13).



а) электросамокат модели Mi Electric Scooter б) моноколесо модели Ninebot by Segway в) гироскутер модели Mizar 6 LED

Рисунок 19 – Круговые диаграммы, отражающие продаваемость различных видов СИМ

Таблица 11-Основные характеристики наиболее продаваемых видов СИМ

Электросамокат Mi Electric Scooter		
Основные характеристики	Тип: Электросамокат Общая мощность: 250 Вт Максимальная скорость: 25 км/ч Скоростные режимы Максимальная скорость: 25 км/ч	Уровень влагозащиты: IP54 Индикатор заряда: есть Поддержка Bluetooth: есть Сигнальная подсветка: есть Материал корпуса: алюминиевый сплав
Моноколесо Nitebot by Segway ONE S2		
Основные характеристики	Тип: Моноколесо Общая мощность: 500 Вт Максимальная скорость: 25 км/ч Скоростные режимы Макс. скорость: 24 км/ч	Ширина: 180 мм Высота 450 мм Поддержка Bluetooth: есть Сигнальная подсветка: есть Материал корпуса: алюминиевый сплав
Гироскутер Mizar 6 LED		
Основные характеристики	Тип: гироскутер Макс. Скорость: 10 км/ч-12 км/ч Мощность мотора: 2 x 250W	Время заряда/сеть: 120 мин/220 В Колеса: 6,5”

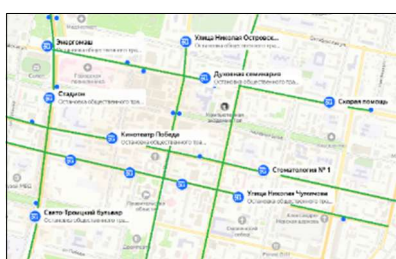
Из представленных круговых диаграмм (рис. 19, а, б, в) видно, что прирост продаваемости популярных моделей по сравнению с другими моделями СИМ значительно выше. Это говорит о том, что среди и так

популярных СИМ, население выделяет определенные модели, которые больше остальных соответствуют их потребностям.

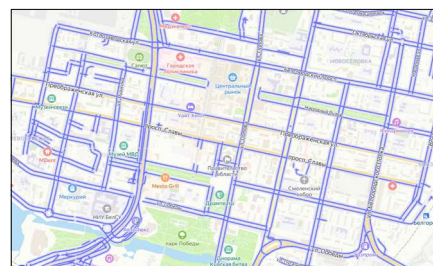
Помимо этого, необходимым условием использования СИМ является наличие определенной инфраструктуры, которая согласно ПДД [13], позволяет использовать их в различных условиях передвижения.

2.2 Оценка городской инфраструктуры для движения средств индивидуальной мобильности

Анализ центральной территории г. Белгорода позволил установить протяженность путей сообщения для движения пассажирского транспорта [70] (рис. 20 а), личного автомобильного транспорта (рис. 20 б) и СИМ (рис. 5 в).



а) общественный транспорт



б) личный автомобильный транспорт



в) СИМ

Рисунок 20 - План-схема движения различного транспорта (общественный, личный и СИМ) на городской улично-дорожной сети на примере центральной части г. Белгорода

В результате исследований было установлено, что дороги общего пользования, по которым курсирует общественный транспорт города

Белгород, составляют 378 км. Общая протяженность всех дорог общего пользования, которые используются личным автомобильным транспортом, составляет 1350 км. Средства индивидуальной мобильности в большинстве случаев передвигаются по тротуарным, пешеходным и велосипедным дорожкам. Исходя из законодательных требований к движению СИМ установлена протяженность путей сообщения - 289578 км. Таким образом установлено, что СИМ обладают высокими возможностями для движения в городской транспортной системе, ввиду большего количества маршрутов для движения в сравнении с общественным и личным автомобильным транспортом.

Следует отметить, что в основном СИМ используются для передвижения на расстояния до 5 км, что подтверждается в зарубежной научной практике. Для оценки превалентности использования рассматриваемого вида транспорта выполнен натурный эксперимент по основным маршрутам в городской транспортной системе на примере г. Белгорода. Установлено, что сегодня в рассматриваемой городской транспортной системе используется порядка 2 500 кикшеринговых устройств (СИМ), для которых в различных частях города оборудованы специализированные зарядные станции, что наглядно отражено на рис. 21.

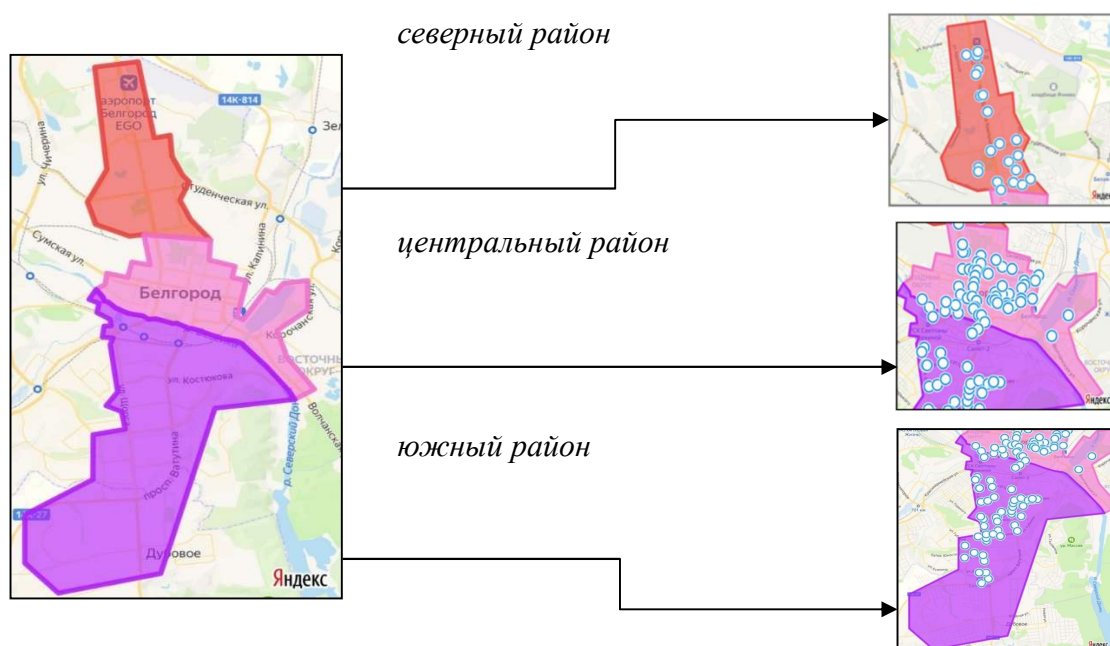


Рисунок 21 – Карта обозначения зарядных станций для СИМ в различных районах г. Белгорода

В результате исследований была определена динамика движения СИМ в различных районах г. Белгорода (табл. 12).

Таблица 12 – Результаты исследований динамики движения СИМ в различных районах г. Белгорода

<i>Северный район</i>			
день \ время	утро (8:00-10:00)	обед (13:00-15:00)	вечер (17:00-19:00)
Понедельник	47	38	23
Вторник	18	26	43
Среда	39	40	14
Четверг	23	32	21
Пятница	22	55	28
Суббота	42	22	10
Воскресенье	40	48	19
<i>Центральный район</i>			
день \ время	утро (8:00-10:00)	обед (13:00-15:00)	вечер (17:00-19:00)
Понедельник	120	93	99
Вторник	114	126	118
Среда	99	117	71
Четверг	110	140	86
Пятница	100	135	95
Суббота	131	82	80
Воскресенье	122	99	88
<i>Южный район</i>			
день \ время	утро (8:00-10:00)	обед (13:00-15:00)	вечер (17:00-19:00)
Понедельник	69	85	21
Вторник	44	36	60
Среда	30	73	66
Четверг	48	81	50
Пятница	66	29	59
Суббота	76	65	44
Воскресенье	90	27	20

В результате анализа полученных данных (табл. 12) можно отметить, что в северном районе наблюдается значительная вариативность показателей в зависимости от дня недели и времени суток. Наиболее высокие значения фиксируются в утренние часы: например, в понедельник и воскресенье — по

47 единиц, в среду — 39, в субботу — 42. В обеденное время значения остаются относительно стабильными, за исключением пятницы, когда наблюдается резкий всплеск до 55 единиц — это максимальный показатель в данном районе за всю неделю. Вечерние замеры демонстрируют общую тенденцию к снижению активности: наименьшее значение — 10 единиц в субботу, максимальное — 43 во вторник. Таким образом, в Северном районе прослеживается выраженная динамика: утренние и обеденные часы более активны, особенно в рабочие дни, тогда как вечером поток заметно падает, за исключением отдельных дней, таких как вторник.

Центральный район демонстрирует значительно более высокий уровень активности по сравнению с другими районами. Утренние замеры варьируются от 99 (в среду) до 131 (в субботу), что указывает на высокую загруженность центра города с самого утра. Обеденные часы — наиболее напряжённый период: максимальное значение — 140 единиц в четверг, минимальное — 82 в субботу. Это говорит о том, что в центре города наблюдается пиковая нагрузка в рабочие дни, особенно в середине недели. Вечерние показатели, хотя и ниже утренних, и обеденных, остаются высокими: от 71 (в среду) до 118 (во вторник). Воскресенье характеризуется относительно высокой активностью (122 утром, 99 днём и 88 вечером), что может быть связано с высокой посещаемостью торговых, культурных или развлекательных объектов в центре города в выходные дни. Таким образом, Центральный район является наиболее загруженным в течение всей недели, особенно в дневные часы.

Южный район показывает иную картину. Здесь наибольшая активность наблюдается в утренние и обеденные часы, но с выраженной нестабильностью. Например, в понедельник обеденный показатель достигает 85 единиц, тогда как в пятницу он падает до 29, а в воскресенье — до 27. Утренние значения также колеблются: от 30 (в среду) до 90 (в воскресенье). Вечерние замеры варьируются от 20 (воскресенье) до 66 (среда). Интересно, что в Южном районе наиболее высокие вечерние значения приходятся на вторник, среду и четверг, что может указывать на специфику

жизнедеятельности этого района — например, наличие промышленных зон, учебных заведений или транспортных узлов, активность в которых возрастает во второй половине дня в середине недели.

Сравнительный анализ трёх районов позволяет сделать вывод о различной функциональной нагрузке каждого из них. Центральный район, как и следовало ожидать, является наиболее активным в течение всей недели, особенно в дневные часы, что связано с его статусом административного, коммерческого и культурного центра. Северный район демонстрирует умеренную активность с пиками в рабочие дни, что может свидетельствовать о преобладании жилой застройки с соответствующими потоками населения. Южный район характеризуется наибольшей нестабильностью, что может быть связано с сезонными, событийными или инфраструктурными факторами.

На следующем этапе для установления зависимости между параметрами «расстояние» и «время», которые характеризуют СИМ как транспорт последнего километра был выполнен ряд экспериментальных исследований.

2.3 Оценка использования средств индивидуальной мобильности на городской улично-дорожной сети как транспорта последнего километра

Исследование проводилось на территории города Белгорода, в качестве зоны мониторинга была выбрана центральная часть города — зона №2 (рис. 21). Данный район был определён как приоритетный благодаря максимальной концентрации станций проката СИМ и наибольшему количеству самих устройств, доступных для пользователей (табл. 12).

В ходе анализа выделены ключевые точки притяжения, характеризующиеся высокой пешеходной и транспортной активностью: административные здания, культурные объекты, торговые и общественные пространства. На основании их расположения были реконструированы основные пути доступа и определены типовые маршруты передвижения значительной части населения в пределах изучаемой территории.

В результате сформированы три модельных маршрута, отражающих характерные направления перемещения пользователей в зоне №2.

Маршрут 1 начинается у офисного здания по адресу: Гражданский проспект, д. 18, в непосредственной близости от парковки «Корчма» (рис. 22), и завершается у парковки «Театр» (рис. 23). Данный путь соединяет деловую зону с культурным центром города и активно используется как пешеходами, так и пользователями СИМ в течение рабочего дня и вечерних часов.

В офисном здании выбранном за начальную точку сформировано 37 организаций и, следовательно каждый день там трудятся сотни людей. постоянно передвигаясь по городу, на относительно не большие расстояния, в связи с эти за конечную точку маршрута была выбрана Соборная площадь города, которая находится в самом центре города и вокруг которой находятся десятки компаний и учреждений связанных между собой, что в свою очередь является оптимальным вариантом для рассмотрения.



Рисунок 22 – Начальный пункт движения первого маршрута

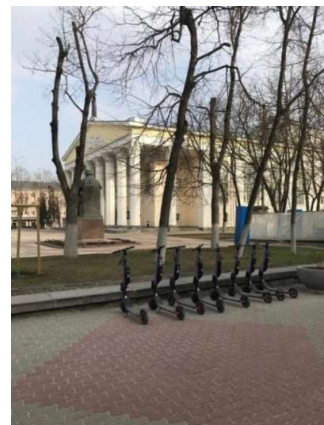


Рисунок 23 – Конечный пункт движения первого маршрута

Во втором маршруте начальная координата находится около здания и парковки «БелГУ», отмеченной на рисунке 24, а завершающая на парковке «Комод Театральный проезд» - рисунок 25.



Рисунок 24 – Начальная точка движения по второму маршруту



Рисунок 25 – Конечная точка движения по второму маршруту

В городе Белгороде молодежь быстро освоила СИМ, основная категория, которая пользуются электросамокатами это именно молодые люди, а в БелГУ учатся тысячи студентов, который при любой удобной возможности стараются осваивать что-то новое, отказываясь от общественного транспорта и автомобилей, ведь СИМ — это не только быстро и удобно, а ещё и экологично, а это сейчас новый тренд. Также стоит отметить, что большинство студентов на сегодняшний день стараются уезжать подальше от дома и проводить много времени в кафе или парках, даже выполняя там учебные задания, данная ситуация и будет рассмотрена примера второго сценария.

На третьем маршруте за точку начала выбрана парковка на улице Харьковской напротив Музея – Диорама «Курская битва, изображенная на рис. 26 Белгородское направление и завершающей точкой является парковка «Парк им. В.И. Ленина» - рис. 27.



Рисунок 26 – Начальная координата движения по третьему маршруту



Рисунок 27 – Конечная координата движения по третьему маршруту

При любой возможности большинство населения крупных городов стараются выехать за город отдохнуть от городской суеты, а в городе Белгороде есть много скверов и парков с большим количеством зелени, где постоянно проходят различные мероприятия, поэтому можно хорошо провести время и просто отдохнуть в черте города. Для таких целей в третьем сценарии были выбраны два крупных парка города это Парк Победы и Центральный парк им. В.И. Ленина.

По выбранным данным была составлена таблица 13 с точными координатами точек начала маршрута и окончания.

Таблица 13 –Координаты точек маршрутов

Номер пункта	Северная широта	Восточная долгота
Первый сценарий		
Начальная точка (А)	50.593996	36.600563
Конечная точка (Б)	50.593681	36.585870
Второй сценарий		
Начальная точка (А)	50.594724	36.575148
Конечная точка (Б)	50.593620	36.585528
Третий сценарий		
Начальная точка (А)	50.591398	36.586626
Конечная точка (Б)	50.604333	36.587428

На рис. 28, рис. 29, рис. 30 представлены карты маршрутов движения по трем разработанным сценариям, соответственно. На каждой схеме синий цвет линии - маршрут по воздуху (по прямой линии), красная линия - маршрут движения на автомобиле и зеленый цвет линии - маршрут движения на электросамокате.



Рисунок 28- Маршрут по сценарию №1

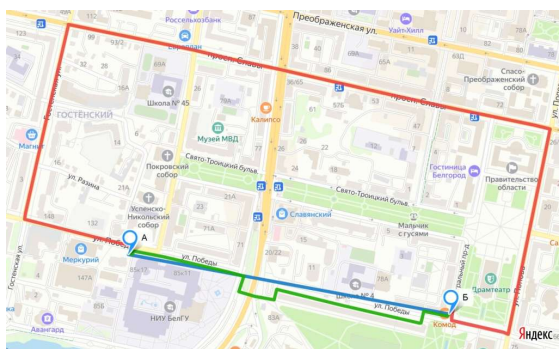


Рисунок 29 – Маршрут по сценарию №2

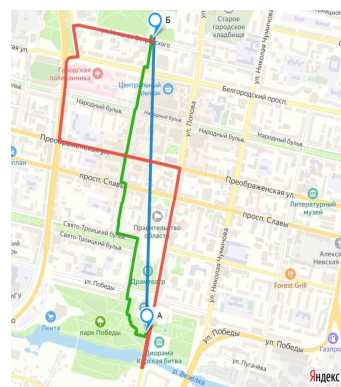


Рисунок 30 – Маршрут по сценарию №3

Анализируя полученные изображения, составлена таблица 14 отличия и сходства трех различных вариантов маршрутов

Таблица 14 – Характеристика маршрутов.

Характеристика	Показатели		
Первый маршрут			
Тип движения	По воздуху (по прямой линии). Синий цвет линии.	На личном автомобиле. Красный цвет линии	На электросамокате. Зеленый цвет линии.
Протяженность маршрута (м)	975	1600	1000
Пересечение с транспортной инфраструктуры	—	Транспортные светофоры, пешеходные переходы	Пешеходные светофоры, пешеходные переходы, парковки
Места скопления людей	—	Остановки общественного транспорта, пешеходные переходы	Пешеходные переходы, кафе, Соборная площадь, парковки
Минимальная ширина участка инфраструктуры для движения, м.	—	3,0	3,0
Максимальная ширина участка инфраструктуры для движения, м.	—	3,75	6,0
Второй маршрут			
Тип движения	По воздуху (по прямой линии). Синий цвет линии.	На личном автомобиле. Красный цвет линии	На электросамокате. Зеленый цвет линии.
Протяженность маршрута (м)	754	2500	856

Характеристика	Показатели		
Пересечение с транспортной инфраструктуры	—	Транспортные светофоры, пешеходные переходы	Пешеходные светофоры, пешеходные переходы, парковки
Места скопления людей	—	Пешеходные переходы	Пешеходные переходы, кафе, НИУ БелГУ
Минимальная ширина движения	—	3,0	3,0
Максимальная ширина движения	—	3,75	6,0
Третий маршрут			
Тип движения	По воздуху (по прямой линии). Синий цвет линии	На личном автомобиле. Красный цвет линии	На электросамокате. Зеленый цвет линии
Расстояние (м)	1400	2800	1700
Пересечение с транспортной инфраструктуры	—	Транспортные светофоры, пешеходные переходы.	Пешеходные светофоры, пешеходные переходы, парковки
Места скопления людей	—	Пешеходные переходы, остановки общественного транспорта	Пешеходные переходы, кафе, Соборная площадь, парковки
Минимальная ширина движения	—	3,0	4,5
Максимальная ширина движения	—	3,75	6,0

Проведённый анализ позволил выявить закономерность: наиболее короткий путь по протяжённости соответствует прямолинейному движению, тогда как перемещение на автомобиле характеризуется наибольшей длиной маршрута из-за необходимости следования улично-дорожной сетью, включая объезды и остановки. При этом использование СИМ на всех рассматриваемых маршрутах демонстрирует оптимальное сочетание краткости пути и мобильности, что делает данный способ передвижения наиболее эффективным в условиях плотной городской застройки.

Установлено, что в утренние часы (с 7:30 до 9:30) и вечерние часы пик (с 17:00 до 19:00) на всех маршрутах наблюдается значительное снижение скорости автомобильного движения вследствие интенсивных транспортных заторов. Это приводит к существенному увеличению времени поездки на

личном автомобиле, снижая его конкурентоспособность как средства передвижения в городской среде.

Результаты моделирования и сравнительного анализа маршрутов визуализированы на рис. 31, рис. 32 и рис. 33, где представлены схемы движения по каждому из трёх маршрутов с учётом различных видов транспорта и временных затрат.

На каждой из схем зеленый цвет обозначает рейтинг пробок от 1 до 5 баллов, желтый цвет 5-8 баллов (средняя скорость движения автомобилей на данном участке – 20-30 км/ч), и красный цвет линии 8-10 баллов (средняя скорость движения 5-10 км/ч).

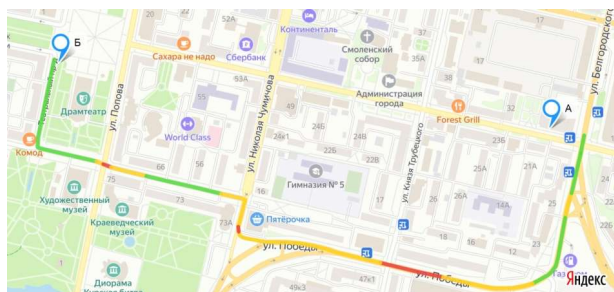


Рисунок 31 – Результат мониторинга участка сети по маршруту №1 с использованием Яндекс. Карт

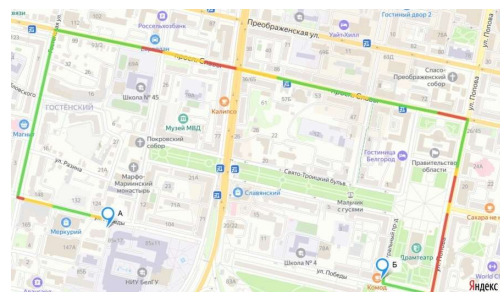


Рисунок 32 – Результат мониторинга участка сети по маршруту №2 с использованием Яндекс. Карт

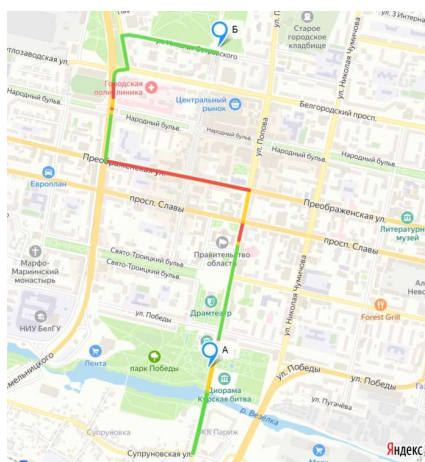


Рисунок 33 - Результат мониторинга участка сети по маршруту №1 с использованием Яндекс. Карт

В условиях современных мегаполисов автомобиль утрачивает свою роль эффективного средства передвижения. Постоянные транспортные заторы, значительные временные потери в пробках и сложности с парковкой стали повседневной реальностью городских жителей. В поиске альтернативных решений всё большую популярность набирают электросамокаты как компактное и манёвренное средство индивидуальной мобильности. Их использование позволяет обходить участки с плотным транспортным потоком, включая движение по пешеходным зонам в рамках действующих правил, что делает поездки более предсказуемыми и менее затратными по времени.

Электросамокат обеспечивает высокую степень автономности: на нём можно добраться до любой точки города, легко заехать в торговые центры, офисы или общественные здания, избегая необходимости поиска и оплаты парковочного места. Пользователь самостоятельно формирует оптимальный маршрут, выбирая между тротуарами, велодорожками, проезжей частью или дворовыми проездами. При этом развитие городской инфраструктуры, включая расширение сети веломаршрутов, способствует безопасному и удобному передвижению на СИМ.

Мониторинг, проведённый на основе трёх типовых маршрутов различного функционального назначения, подтвердил преимущество электросамокатов при преодолении коротких и средних расстояний в городской среде. По показателю эффективности маршрута — включая «расстояние» и «время» в пути — использование СИМ продемонстрировало значительное сокращение временных затрат по сравнению с передвижением на личном автомобиле. Полученные данные свидетельствуют о высокой рациональности применения электросамокатов в качестве элемента городской транспортной системы.

На электросамокате можно не только добираться до работы или места учёбы. На нём также можно с пользой для своего организма провести время, катаясь в городских парках, не загрязняя при этом атмосферы, для подтверждения удобства от применения альтернативы для передвижения по

городу на небольшие расстояния осуществим разработку моделей использования СИМ.

Сформированы три структурные модели пользования СИМ в городских условиях представленные на рис. 34, рис. 35 и рис. 36 соответственно [71, 72]:

1. Структура пользования СИМ «разовое использование»;
2. Структура пользования СИМ «рабочее использование»;
3. Структура пользования СИМ «досуговое использование».

По каждому виду выделены основные элементы взаимодействия и связь между объектами модели, где А – связь с устройством; В – связь с СИМ. Каждая модель имеет свои особенности функционирования.

Структура «разовое использование» состоит из 12 начальных объектов, из них элементы А1-А3 носят только единоразовый характер и выполняются только при первом использовании приложения, а при последующих они не требуются, следовательно, в процессе исполнения данной модели будет затрачено больше количество времени, это и является особенностями данной модели.

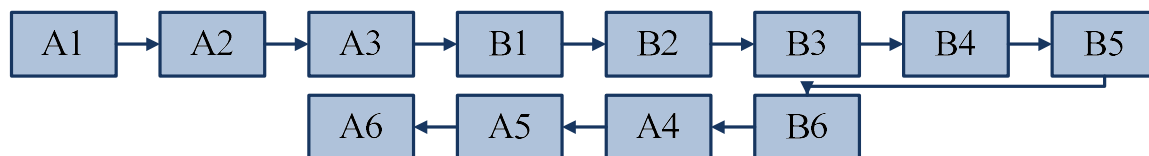


Рисунок 34 - Структура пользования СИМ «разовое использование»

где А1- установка и скачивание мобильного приложения сервиса проката; поездки; вязка банковской карты для обеспечения оплаты и залогового обеспечения; А3 – регистрация пользователя и ввод персональных данных, необходимых для идентификации и подключения к системе; В1 – поиск на интерактивной карте в приложении ближайшей станции или парковки с доступными СИМ; В2 – выбор исправного и заряженного устройства; В3 – сканирование QR-кода, размещённого на руле самоката, для его разблокировки через приложение; В4 – начало движения и использование СИМ; В5 – определение ближайшей станции или зоны для корректной парковки вблизи конечного пункта назначения; В6 – фиксация устройства на зарядной станции или в отведённой зоне парковки; А4 – выполнение фотосъёмки самоката для подтверждения его возврата и

сохранности, последующая загрузка фото в приложение; А5 – завершение поездки; А6 – оплата в приложении.

Структура пользования СИМ «рабочее использование» имеет 9 объектов, находящихся в определенных временных интервалах, а начало использования происходит уже в связи с СИМ. Особенностью данной модели является незавершенность процесса, т. к. эксплуатация происходит на постоянной основе и действия повторяются снова, начиная также со связи с устройством СИМ.

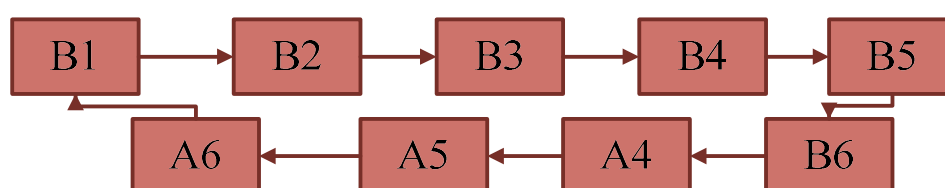


Рисунок 35 – Структура пользования СИМ «рабочее использование»

где В1 – поиск на интерактивной карте в приложении ближайшей станции или парковки с доступными СИМ; В2 – выбор исправного и заряженного устройства; В3 – сканирование QR-кода, размещённого на руле самоката, для его разблокировки через приложение; В4 – начало движения и использование СИМ; В5 – определение ближайшей станции или зоны для корректной парковки вблизи конечного пункта назначения; В6 – фиксация устройства на зарядной станции или в отведённой зоне парковки; А4 – выполнение фотосъёмки самоката для подтверждения его возврата и сохранности, последующая загрузка фото в приложение; А5 – завершение поездки ; А6 –оплата в приложении.

Структура пользования СИМ «досуговое использование» также состоит из 9 объектов находящихся в определенных временных интервалах, но данная схема разомкнута, следовательно, отличительной особенностью данной модели является завершенность процесса, следовательно, процесс не будет повторяться и иметь различные характеристики, как по времени, по расстоянию, так и по месту дислокации СИМ.

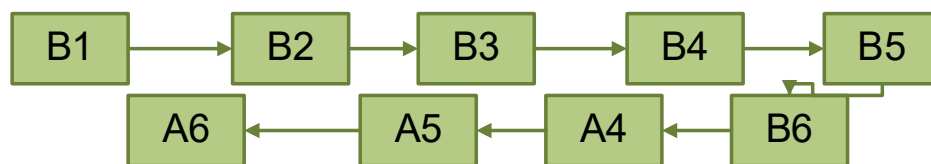


Рисунок 36 – Структура пользования СИМ «досуговое использование»

где B1 – поиск на интерактивной карте в приложении ближайшей станции или парковки с доступными СИМ; B2 – выбор исправного и заряженного устройства; B3 – сканирование QR-кода, размещённого на руле самоката, для его разблокировки через приложение; B4 – начало движения и использование СИМ; B5 – определение ближайшей станции или зоны для корректной парковки вблизи конечного пункта назначения; B6 – фиксация устройства на зарядной станции или в отведённой зоне парковки; A4 – выполнение фотосъёмки самоката для подтверждения его возврата и сохранности, последующая загрузка фото в приложение; A5 – завершение поездки ; A6 –оплата в приложении.

Каждый элемент имеет временные интервалы выполнения каждого действия, представленные на рис. 37.



Рисунок 37 – Временные интервалы объектов информационных моделей СИМ

На основе рассчитанной протяжённости каждого из выбранных маршрутов определено время движения на этапе B4 — «начало движения». При максимальной допустимой скорости электросамоката в городской черте Белгорода $v=25$ км/ч время преодоления расстояния $S=1$ км составляет $t=2,4$

минуты. Используя данное значение, выполнены расчёты временных затрат для каждого маршрута:

1. Маршрут №1 (протяжённость 1000 м): время движения — 2,4 мин;
2. Маршрут №2 (856 м): расчётное время — 2,05 мин;
3. Маршрут №3 (1700 м): продолжительность поездки — 4,08 мин.

Для оптимизации процесса использования средств индивидуальной мобильности (СИМ) предложено применение целевой функции, направленной на минимизацию общих временных затрат. В качестве критерия эффективности выбран суммарный временной показатель T , отражающий продолжительность всех операций, связанных с использованием СИМ. Целевая функция имеет вид:

$$T = \sum_{i=1}^m t_n \rightarrow \min \quad (14)$$

где T - общая продолжительность пользования средством передвижения, мин;
 t_n - время выполнения n -й операции (поиск, разблокировка, движение, парковка и др.), мин; m - количество операций в цикле пользования СИМ.

Минимизация функции T позволяет оценить эффективность маршрута с точки зрения временных затрат и обосновать выбор наиболее рационального способа передвижения в городской среде.

На основании разработанной модели в табл. 15 представлены формулы расчёта целевых функций для различных сценариев использования СИМ, включая временные параметры каждого этапа пользовательского цикла.

Таблица 15 – Целевые функции информационных моделей пользования.

Тип пользования	«разовое использование» (РИ)	«рабочее использование» (РИ ₁)	«досуговое использование» (ДИ)
Общая формула целевой функции	$T_{РИ} = \sum_{i=1}^{12} t_n \quad (15)$	$T_{РИ1} = \sum_{i=1}^9 t_n \quad (16)$	$T_{ДИ} = \sum_{i=1}^9 t_n \quad (17)$

Исходя, из полученных формул можно вывести вспомогательные в зависимости от каждой информационной модели и назначения составляющих объектов:

$$T_{\text{PI}} = \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{i=1}^{n_B} t_{nA} \cdot t_{nB} \sum_{i=1}^6 \sum_{i=1}^6 t_{nA} \cdot t_{nB}, \quad (18)$$

где t_{nA} - продолжительность операций, связанных с устройством, t_{nB} - продолжительность операций, связанных со связью конкретно с СИМ, n_A - количество операций на связь с устройством ($n_A = 6$); n_B - количество операций на связь с СИМ ($n_B = 6$)

$$T_{\text{PI1}} = \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{i=1}^{n_B} t_{nA} \cdot t_{nB} \sum_{i=1}^3 \sum_{i=1}^6 t_{nA} \cdot t_{nB}, \quad (19)$$

где t_{nA} - продолжительность операций, связанных с устройством, t_{nB} - продолжительность операций, связанных со связью конкретно с СИМ, n_A - количество операций на связь с устройством ($n_A = 3$); n_B - количество операций на связь с СИМ ($n_B = 6$)

$$T_{\text{ДИ}} = \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{i=1}^{n_B} t_{nA} \cdot t_{nB} \sum_{i=1}^3 \sum_{i=1}^6 t_{nA} \cdot t_{nB} \quad (20)$$

где t_{nA} - продолжительность операций, связанных с устройством, t_{nB} - продолжительность операций, связанных со связью конкретно с СИМ, n_A - количество операций на связь с устройством ($n_A = 3$); n_B - количество операций на связь с СИМ ($n_B = 6$).

Значения по каждому объекту принимаются минимальные, так как, в данном случае расчет сводится к определению минимальных показателей по каждой модели и маршруту.

При расчёте временных затрат по каждому этапу пользовательского цикла принимаются минимальные значения показателей, так как анализ направлен на определение наиболее оптимального сценария использования СИМ с точки зрения минимизации времени. Таким образом, расчёт сводится к поиску наименьших временных затрат для каждой комбинации маршрута и модели использования.

Общее время поездки T рассчитывается на основе ранее определённых временных параметров для каждого этапа (A1–A6, B1–B6) в соответствии с тремя разработанными информационными моделями:

1. T_{PI} — полный цикл (первое использование, регистрация);
2. T_{PI1} — не полный цикл (регулярное использование в деловых целях);

3. $T_{\text{ди}}$ — не полный цикл (использование в рекреационных целях).

Для маршрута №1:

$$1. \quad T_{\text{ри}} = A1 + A2 + A3 + B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + A4 + A5 + A6 = 3 + 2 + 5 + 5 + 3 + 0,5 + 2,4 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 25,9 \text{ мин};$$

$$2. \quad T_{\text{ри1}} = B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + A4 + A5 + A6 = 5 + 3 + 0,5 + 2,4 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 15,9 \text{ мин};$$

$$3. \quad T_{\text{ди}} = B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + A4 + A5 + A6 = 5 + 3 + 0,5 + 2,4 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 15,9 \text{ мин};$$

Для маршрута №2:

$$1. \quad T_{\text{ри}} = 3 + 2 + 5 + 5 + 3 + 0,5 + 2,05 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 25,55 \text{ мин};$$

$$2. \quad T_{\text{ри1}} = 5 + 3 + 0,5 + 2,05 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 15,55 \text{ мин};$$

$$3. \quad T_{\text{ди}} = 5 + 3 + 0,5 + 2,05 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 15,55 \text{ мин}.$$

Для маршрута №3:

$$1. \quad T_{\text{ри}} = 3 + 2 + 5 + 5 + 3 + 0,5 + 4,08 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 27,58 \text{ мин};$$

$$2. \quad T_{\text{ри1}} = 5 + 3 + 0,5 + 4,08 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 17,58 \text{ мин};$$

$$3. \quad T_{\text{ди}} = 5 + 3 + 0,5 + 4,08 + 1 + 1 + 2 + 0,5 + 0,5 = 17,58 \text{ мин}.$$

Несмотря на совпадение итоговых значений для моделей $T_{\text{ри1}}$ и $T_{\text{ди}}$, они различаются по цели использования и логике завершения цикла:

«Рабочее использование» предполагает регулярное, целенаправленное передвижение (например, «дом — работа»), при котором пользователь уже зарегистрирован и не проходит начальные этапы (A1–A3);

«Досуговое использование» отражает разовое или спонтанное использование, связанное с досугом, где процесс завершается корректной парковкой, но не требует строгой привязки к деловому графику.

На основании функционального назначения маршрутов им сопоставлены соответствующие модели:

Маршрут №1 и №2 — характерны для деловой активности → применяется $T_{\text{ри1}}$;

Маршрут №3 — связан с передвижением в рекреационной зоне → используется $T_{ди}$.

Таким образом, для дальнейшего анализа принимаются:

Маршрут №1: $T_{ри1} = 15,9$ мин;

Маршрут №2: $T_{ри1} = 15,55$ мин;

Маршрут №3: $T_{ди} = 17,58$ мин.

Установлено, что в модели $T_{ри}$ постоянные (const) составляющие включают 11 этапов и в сумме составляют 23,5 минуты, тогда как в моделях $T_{ри1}$ и $T_{ди}$ — 8 этапов с общей длительностью 13,5 минуты. Переменным параметром в каждой модели является время движения B_4 , зависящее от протяжённости маршрута и варьирующееся в диапазоне от 1 до 4,08 минут.

Ранее определено, что СИМ всё чаще становятся эффективным решением одной из давних транспортных проблем — так называемой «последней мили». Речь идёт о коротких перемещениях, которые сложно или нецелесообразно выполнять на общественном транспорте, например, от остановки автобуса, станции метро или парковки до конечного пункта назначения. СИМ позволяют преодолевать такие расстояния быстро и с минимальными временными затратами, особенно в условиях плотной городской застройки, где общественный транспорт не охватывает все маршруты или требует длительных пеших переходов. Кроме того, они могут использоваться для связи между остановками, обеспечивая непрерывность перемещения без необходимости в пересадках на более крупные транспортные средства. На сегодняшний день в России преобладающим средством передвижения остаётся личный автомобиль. Однако, его эффективность в городской среде существенно снижается из-за роста транспортных заторов, дефицита парковочных мест и высокой стоимости эксплуатации. В этих условиях актуальным становится анализ целесообразности использования автомобиля в повседневных поездках, особенно на короткие расстояния. Оценка его применимости в современном городском пространстве позволяет

выявить преимущества альтернативных, более компактных и гибких форм мобильности, включая СИМ, как элемента устойчивой транспортной системы.

Для сравнения показателей использования отличных друг от друга устройств приводится информационная модель использования личного автомобиля на рис. 38, рис. 39.

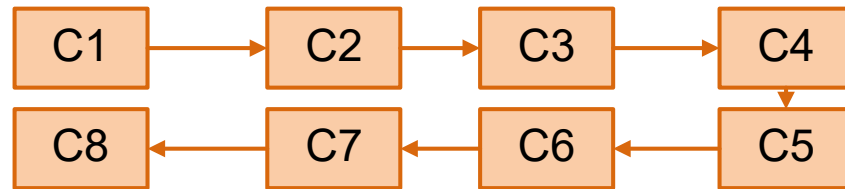


Рисунок 38 – Стандартная структура пользования личного автомобиля

где С1 - посадка в автомобиль, проверка регулировки сиденья, зеркал, положения руля; С2 – фиксация водителя с помощью ремня безопасности; С3 – проворачивание ключа в замке зажигания и начало работы тс, С4 – процесс составления маршрута, С5 - начало движения, С6 – задержки времени на пересечениях улиц со светофорным регулированием, С7- поиск места для парковки, С8 – завершение использования автомобиля.

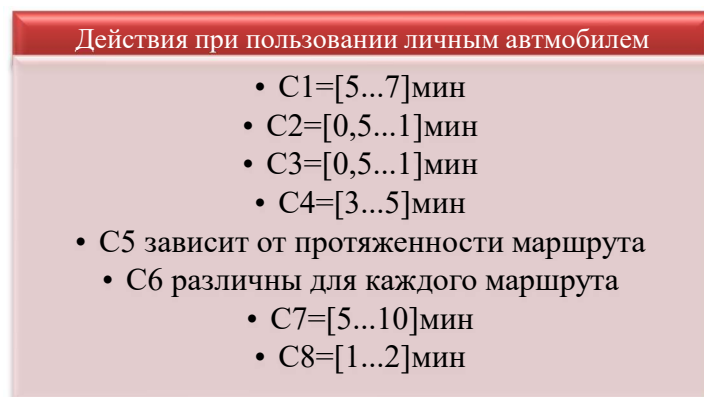


Рисунок 39 – Временные интервалы объектов модели пользования личным автомобилем.

Для модели Т_{ЛА}, описывающей использование личного автомобиля, постоянные (const) составляющие временные затраты, связанные с подготовкой и завершением поездки (включая запуск двигателя, выход из гаража/парковочного места, парковку у конечного пункта и т. п.), составляют в сумме 15 минут. При этом два этапа имеют переменные значения: время движения (С5) и задержки на пересечениях (С6), что делает общее время

поездки зависимым от протяжённости маршрута и интенсивности светофорных циклов.

При средней скорости движения в городских условиях $v=40$ км/ч время преодоления одного километра составляет $t=1,5$ минуты. На этом основании рассчитано время движения (C5) для каждого маршрута:

Маршрут №1 (1600 м): $t=1,5 \times 1,6=2,4$ мин

Маршрут №2 (2500 м): $t=1,5 \times 2,5=3,75$ мин

Маршрут №3 (2800 м): $t=1,5 \times 2,8=4,2$ мин

Кроме того, на основе натурных наблюдений установлено, что задержки на пересечениях с регулируемым движением (C6) варьируются в диапазоне [1; 9] минут в зависимости от времени суток, интенсивности потока и количества светофоров на маршруте.

Аналогично ранее рассмотренным моделям, проводится расчёт общего времени поездки для каждого из трёх маршрутов с учётом всех компонентов, что позволяет выполнить сравнительный анализ эффективности использования автомобиля и средств индивидуальной мобильности в городской среде.

Для маршрута №1: $T_{\text{ЛА1}} = C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C = 5 + 0,5 + 0,5 + 3 + 2,4 + 3 + 5 + 1 = 30,4$ мин

Для маршрута №2: $T_{\text{ЛА2}} = 5 + 0,5 + 0,5 + 3 + 3,75 + 6 + 5 + 1 = 24,75$ мин

Для маршрута №3: $T_{\text{ЛА3}} = 5 + 0,5 + 0,5 + 3 + 4,2 + 9 + 5 + 1 = 28,2$ мин

По полученным результатам видно, что на короткие расстояния использовать ЛА менее выгодно, чем СИМ, в связи с некоторыми особенностями применения автомобильного транспорта в городских условиях – задержки на регулируемых пересечениях, большого количества ДТП и т.д. Можно предположить, что личный автомобиль будет выгоднее СИМ на более длинные расстояния, для раскрытия данного утверждения необходимо разработать механизм зависимости различных средств передвижения от показателей эффективности.

Благодаря составлению трех маршрутов движения с различными целями и полученным результатам установлен определенный алгоритм пользования рисунком 40 для сравнения разнообразных показателей эффективности.

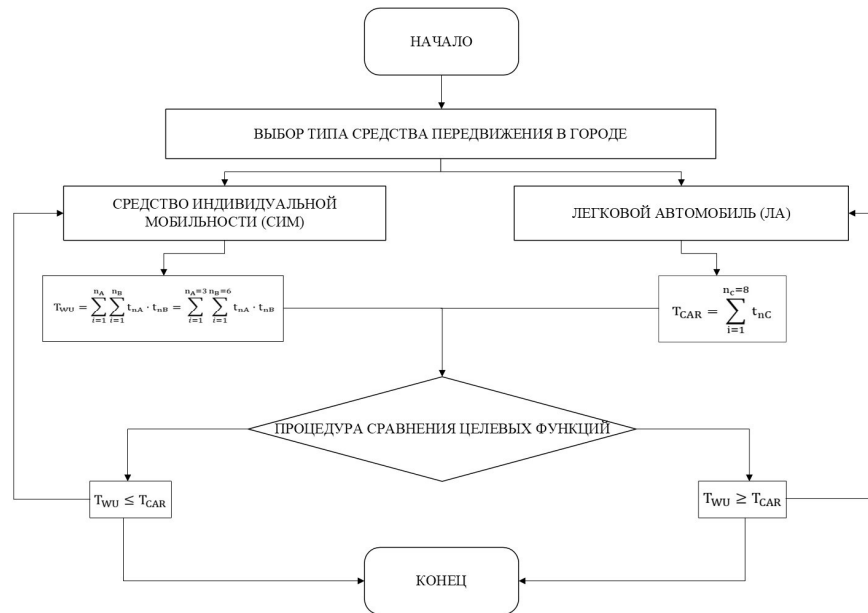


Рисунок 40 - Алгоритм определения целесообразности использования различных средств передвижения в городе

Разработанный алгоритм обеспечивает комплексную оценку особенностей эксплуатации СИМ в сравнении с использованием ЛА. Он позволяет моделировать различные сценарии передвижения, учитывая временные, организационные и инфраструктурные факторы, а также формировать многовариантные прогнозы развития транспортных потоков в городской среде. На основе анализа этих сценариев становится возможным обоснованный выбор наиболее эффективного и целесообразного способа передвижения применительно к конкретным условиям — типу маршрута, времени суток, уровню загруженности дорог и цели поездки.

Применение данного алгоритма позволило провести оценку результатов проведённого эксперимента, включая сравнение временных затрат, степени удобства и рациональности использования различных видов транспорта. Все полученные данные систематизированы и представлены в таблице 16, что обеспечивает наглядность анализа и поддерживает процесс принятия решений

при проектировании транспортных решений и развитии городской инфраструктуры.

Таблица 16 - Результаты эксперимента

Наименование маршрутов	Тип средства передвижения		Результат применения методики
	СИМ	ЛА	
Маршрут №1	15,9	30,4	Целесообразно СИМ
Маршрут №2	15,55	24,75	Целесообразно СИМ
Маршрут №3	17,58	28,2	Целесообразно СИМ

По результатам анализа всех трёх маршрутов подтверждена высокая эффективность использования СИМ на коротких и средних дистанциях — до 3 км. В сравнении с ЛА, СИМ демонстрируют существенное преимущество по критерию общего времени поездки, особенно в условиях городской застройки, где значительную долю затрат при использовании автомобиля составляют парковка, задержки на светофорах и ограниченная манёвренность.

Полученные данные свидетельствуют о том, что применение СИМ в указанном диапазоне расстояний позволяет не только сократить временные издержки, но и повысить общую транспортную доступность.

2.4 Выводы по главе 2

С применением алгоритма определения целесообразности использования различных средств передвижения в городе стала очевидна выгода от использования именно СИМ на короткие расстояния, для удобства и экономии времени, ведь сегодня в жизни современного человека именно время играет одну из главных ролей.

Анализ УДС на примере города Белгорода позволил разработать проектную схему интеграции СИМ в городскую транспортную систему. На её основе была рассчитана общая протяжённость потенциально доступных маршрутов для СИМ, составившая 289 578 км. Такой показатель учитывает не только проезжие части, но и тротуары, велодорожки, пешеходные зоны и

дворовые проезды, по которым допускается или может быть организовано движение на самокатах и аналогичных устройствах.

В результате выполненного эксперимента были получены информационные модели движения СИМ по сценариям пользования – «разовое использование» включающего в себя 12 объектов и описываемого целевой функцией вида $T_{\text{ри}} = \sum_{i=1}^{12} t_n$; «рабочее использование», включающее в себя 9 объектов и описываемое целевой функцией вида $T_{\text{ри}1} = \sum_{i=1}^9 t_n$; «досуговое использование», включающее в себя 9 объектов и описываемое целевой функцией вида $T_{\text{ди}} = \sum_{i=1}^9 t_n$ основанные на временном факторе. В рамках выполненного эксперимента были установлены временные диапазоны по каждой информационной модели: «разовое пользование» - T_1 [25,55; 27,58]; «рабочее использование» - T_2 [15,55; 17,58]; «досуговое использование» - T_2 [15,55; 17,58].

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОСТИ ОБЪЕКТОВ НА ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО- ДОРОЖНОЙ СЕТИ

3.1 Исследование аварийности с участием средств индивидуальной мобильности на объектах городской улично-дорожной сети

В открытых статистических источниках, включая официальные отчёты ГАИ и региональные базы данных по аварийности [32-35], содержится информация о ДТП с участием СИМ, в том числе с указанием локализации инцидентов на объектах УДС.

Систематизация и анализ этих данных позволили выявить совокупность типовых участков, характеризующихся повышенной частотой аварий с участием СИМ. Такие участки объединяет высокая концентрация конфликтных зон, смешанный характер движения и недостаточная инфраструктурная адаптация под особенности передвижения пользователей малогабаритных электротранспортных средств.

К таким объектам относятся: тротуары, пешеходные дорожки, пешеходные зоны, участки между перекрёстками (перегоны), выезды с прилегающих территорий, нерегулируемые и регулируемые пешеходные переходы, внутридворовые проезды, регулируемые и нерегулируемые перекрёстки (как равнозначных, так и неравнозначных дорог), автостоянки, а также иные участки городской инфраструктуры, не входящие в основную транспортную сеть.

Такое распределение указывает на широкий спектр локаций, где происходит взаимодействие пользователей СИМ с другими участниками ДД, включая зоны, изначально предназначенные преимущественно для пешеходов, что подчёркивает необходимость пересмотра подходов к организации безопасного движения в смешанной среде.

С целью разработки математической модели по аварийности основных объектов УДС транспортной системы города в работу определены отдельные наиболее аварийные объекты, такие как: тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона; пешеходные переходы (регулируемые и нерегулируемые); выезд с прилегающей территории; перекресток (нерегулируемый перекресток равнозначных дорог, регулируемый перекресток, нерегулируемый перекресток неравнозначных дорог), остальные же УДС отнесены к категории – иные. Таким образом в работу взяты 4 основных объекта и их разновидности, каждому из которых присвоено математическое обозначение следующего вида:

1. H_1 – доля ДТП на тротуаре, пешеходной дорожке и в пешеходной зоне;
2. H_2 – доля ДТП на выездах с прилегающей территории;
3. H_3 – доля ДТП на пешеходных переходах;
4. H_4 – доля ДТП на перекрестках;
5. H_5 – доля ДТП на иных ах УДС.

Следует отметить, что происшествия на пешеходных переходах и перекрестках имеют определенные разновидности, так доля ДТП на пешеходных переходах имеет следующий составной вид:

- 3.1 H_{31} – доля ДТП на регулируемых пешеходных переходах;
- 3.2 H_{32} – доля ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах;

Аналогичным образом подразделяются ДТП на перекрестках:

- 4.1 H_{41} – доля ДТП на регулируемых перекрестках;
- 4.2 H_{42} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках.

Помимо этого, сложную структуру также имеют ДТП на нерегулируемых перекрестках:

- 4.2.1 H_{421} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках неравнозначных улиц (дорог);
- 4.2.2 H_{422} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках равнозначных улиц (дорог).

Схематично, сложная структура исследуемых объектов УДС городской транспортной системы в системе долей, имеет следующий вид (рис. 41).

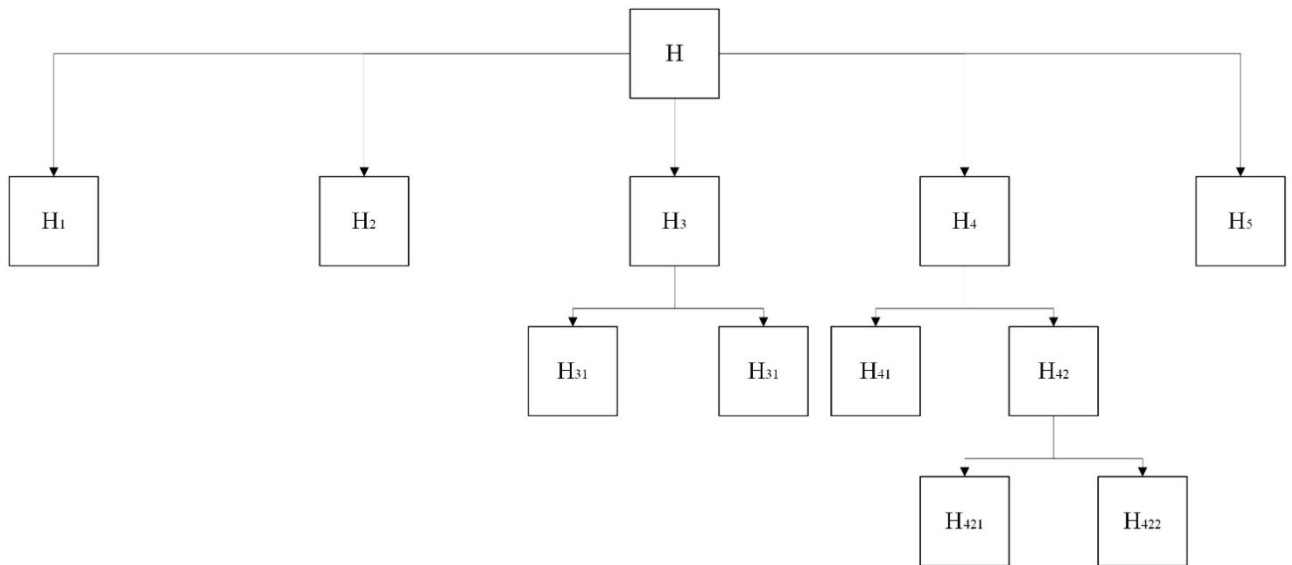


Рисунок 41 – Схема и обозначение исследуемых объектов УДС

где H_1 – доля ДТП на тротуаре, пешеходной дорожке и в пешеходной зоне; H_2 – доля ДТП на выездах с прилегающей территории; H_3 – доля ДТП на пешеходных переходах: H_{31} – доля ДТП на регулируемых пешеходных переходах и H_{32} – доля ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах; H_4 – доля ДТП на перекрестках: H_{41} – доля ДТП на регулируемых перекрестках H_{42} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках: H_{421} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках неравнозначных улиц (дорог) и H_{422} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках равнозначных улиц (дорог); H_5 – доля ДТП на иных объектах УДС.

Данные, имеющиеся в официальных источниках, представлены в виде процентного распределения, что позволяет перейти к показателям статистической вероятности возникновения ДТП на определенных (принятых в работу) объектах УДС. Имеющиеся данные, представлены за последние четыре года – 2021, 2022, 2023, 2024, в общем виде полная статистическая вероятность будет иметь вид:

$$P(H) = P(H_1) + P(H_2) + P(H_3) + P(H_4) + P(H_5) \quad (20)$$

где

$$P(H_3) = P(H_{31}) + P(H_{32}) \quad (21)$$

$$P(H_4) = P(H_{41}) + P(H_{42}) \quad (22)$$

$$P(H_{42}) = P(H_{421}) + P(H_{422}) \quad (23)$$

где $P(H)$ – полная статистическая вероятность; $P(H_1)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на тротуаре, пешеходной дорожке и в пешеходной зоне; $P(H_2)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на выездах с прилегающей территории; $P(H_3)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на пешеходных переходах; $P(H_{31})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на регулируемых пешеходных переходах; $P(H_{32})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах; $P(H_4)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на перекрестках; $P(H_{41})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на регулируемых перекрестках; $P(H_{42})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых перекрестках; $P(H_{421})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых перекрестках неравнозначных улиц (дорог); $P(H_{422})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых перекрестках равнозначных улиц (дорог); $P(H_5)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на иных объектах УДС городской транспортной системы.

3.2 Статистическая вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий на объектах городской улично-дорожной сети

Согласно данным, представленных в официальных источниках, отраженных в процентном распределении общего числа ДТП в зависимости от объекта УДС (рис. 42 – рис. 45), можно определить значения статистической вероятности. Данные по статистической вероятности за рассматриваемые периоды 2021–2024 года представлены в табл. 17.

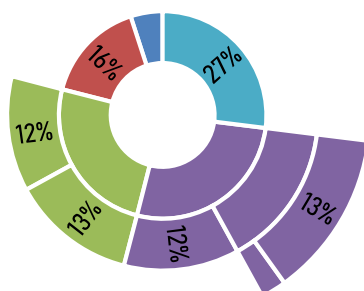


Рисунок 42 – Диаграмма «солнечные лучи» распределения количества ДТП на основных объектах УДС городской транспортной системы по результату 2021 года, %

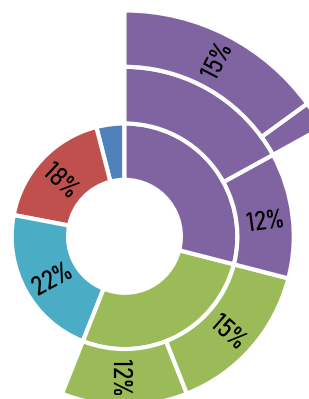


Рисунок 43 – Диаграмма «солнечные лучи» распределения количества ДТП на основных объектах УДС городской транспортной системы по результату 2022 года, %

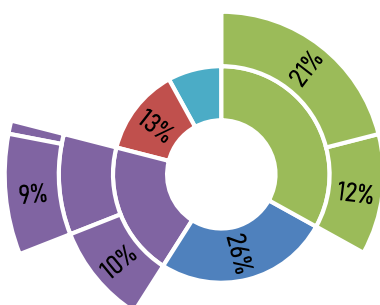


Рисунок 44 – Диаграмма «солнечные лучи» распределения количества ДТП на основных объектах УДС городской транспортной системы по результату 2023 года, %

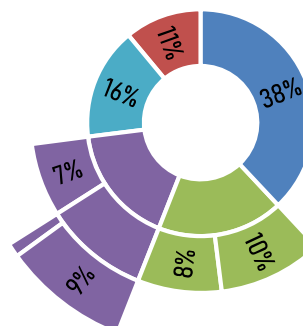


Рисунок 45 – Диаграмма «солнечные лучи» распределения количества ДТП на основных объектах УДС городской транспортной системы по результату 2024 года, %

Таблица 17 – Значения статистических вероятностей на исследуемых объектах городской УДС за период 2021–2024 гг.

№ п/п	Наименование объекта УДС	Обозначение статистической вероятности	Год/номер периода			
			2021	2022	2023	2024
			1	2	3	4
1	тротуар, пешеходная дорожка	$P(H_1)$	0,05	0,04	0,26	0,38
2	выезд с прилегающей территории	$P(H_2)$	0,16	0,18	0,13	0,11
3	пешеходный переход	$P(H_3)$	0,25	0,27	0,33	0,18
3.1	регулируемый пешеходный переход	$P(H_{31})$	0,12	0,12	0,21	0,08
3.2	нерегулируемый пешеходный переход	$P(H_{32})$	0,13	0,15	0,12	0,1
4	перекресток	$P(H_4)$	0,27	0,29	0,2	0,17
4.1	регулируемый перекресток	$P(H_{41})$	0,12	0,12	0,1	0,07
4.2	нерегулируемый перекресток	$P(H_{42})$	0,15	0,17	0,1	0,1
4.2.1	нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)	$P(H_{421})$	0,13	0,15	0,09	0,09
4.2.2	нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)	$P(H_{422})$	0,02	0,02	0,01	0,01
5	иные	$P(H_4)$	0,27	0,22	0,08	0,16
		$P(H)$	1	1	1	1

В соответствии со значениями, статистических вероятностей наступления рассматриваемого события – ДТП с участием СИМ выполнен анализ каждого рассматриваемого объекта УДС городской транспортной системы:

1. Тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона

В соответствии с ПДД [13]:

Тротуар – элемент дороги, предназначенный для движения пешеходов и примыкающий к проезжей части или к велосипедной дорожке либо отделенный от них газоном.

Пешеходная дорожка – обустроенная или приспособленная для движения пешеходов полоса земли либо поверхность искусственного сооружения, обозначенная знаком 4.5.1.

Пешеходная зона – территория, предназначенная для движения пешеходов, начало и конец которой обозначены соответственно знаками 5.33 и 5.34.

Статистическая вероятность наступления события за четыре периода изменилась существенно (табл. 18), если в первом и во втором периоде значение не превышало 0,05, то в третьем и четвертом периоде наблюдается резкий рост, что свидетельствует об увеличении числа ДТП с участием пешеходов.

Таблица 18 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона» - $P(H_1)$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_1)$	0,05	0,04	0,26	0,38

Регрессионный анализ статистической вероятности $P(H_1)$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 46, табл. 19).

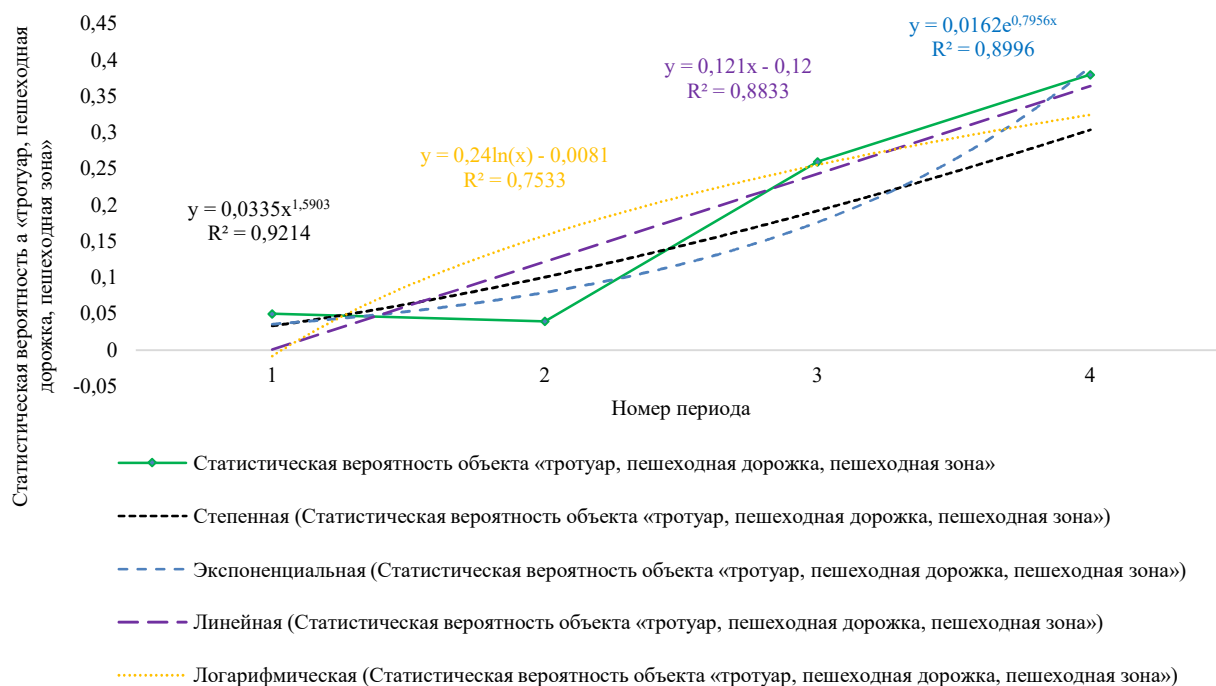


Рисунок 46 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона» - $P(H_1)$

Таблица 19 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона» - $P(H_1)$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,0335 \cdot x^{1,5903}$	0,92
Экспоненциальная	$y = 0,0162 \cdot e^{0,7956 \cdot x}$	0,9
Линейная	$y = 0,121 \cdot x - 0,12$	0,88
Логарифмическая	$y = 0,24 \ln(x) - 0,0081$	0,75

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются степенной функцией вида:

$$y = 0,0335 \cdot x^{1,5903} \quad (24)$$

где y – доля ДТП на объекте «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона»;
 x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5, 6 и 7 периода, соответствующих значениям 2025, 2026 и 2027 г. (рис. 47).



Рисунок 47 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_1)$ на объекте УДС транспортной системы города «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона»

По результату выполнения процедуры регрессионного анализа, позволившей получить уравнение описывающее изменение показателя статистической вероятности, описываемое степенной функцией и спрогнозировать изменение исследуемой величины на ближайшие 3 периода, соответствующие 2025-2027 гг. Установлено, что исследуемая величина будет набирать рост, что свидетельствует об увеличении числа ДТП на рассматриваемых объектах.

2. Выезд с прилегающей территории

В соответствии с [73] прилегающая территория - территория общего пользования, которая прилегает к зданию, строению, сооружению, земельному участку в случае, если такой земельный участок образован, и границы которой определены правилами благоустройства территории муниципального образования в соответствии с порядком, установленным законом субъекта Российской Федерации. Аналогичным образом на данном объекте по результату анализа рассматриваемого периода происходят ДТП с участием с СИМ. Несмотря на планомерное снижение числа происшествий и как

следствие значение статистической вероятности возникновения ДТП на рассматриваемом объекте, число остается довольно высоким (табл. 20).

Таблица 20 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «выезд с прилегающей территории» - $P(H_2)$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_2)$	0,16	0,18	0,13	0,11

Анализ статистической вероятности $P(H_2)$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 47, табл. 21).

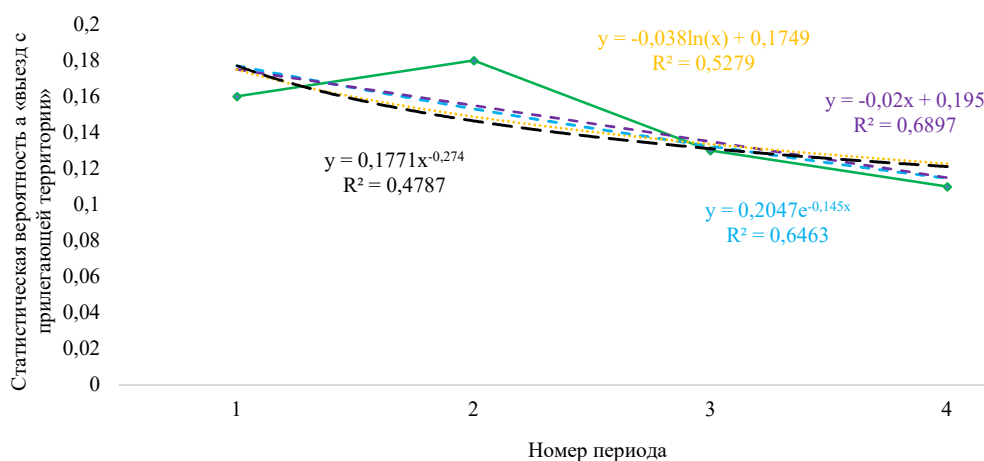


Рисунок 47 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «выезд с прилегающей территории» - $P(H_2)$

Таблица 21 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «выезд с прилегающей территории» - $P(H_2)$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,1771 \cdot x^{0,274}$	0,48
Экспоненциальная	$y = 0,2047 \cdot e^{-0,145 \cdot x}$	0,65
Линейная	$y = -0,02 \cdot x + 0,195$	0,69
Логарифмическая	$y = -0,038 \ln(x) + 0,1749$	0,53

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются линейной функцией вида:

$$y = -0,02 \cdot x + 0,195 \quad (25)$$

где y – доля ДТП на объекте «выезд с прилегающей территории»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5, 6 и 7 периода, соответствующих значениям 2025, 2026 и 2027 г. (рис. 48).

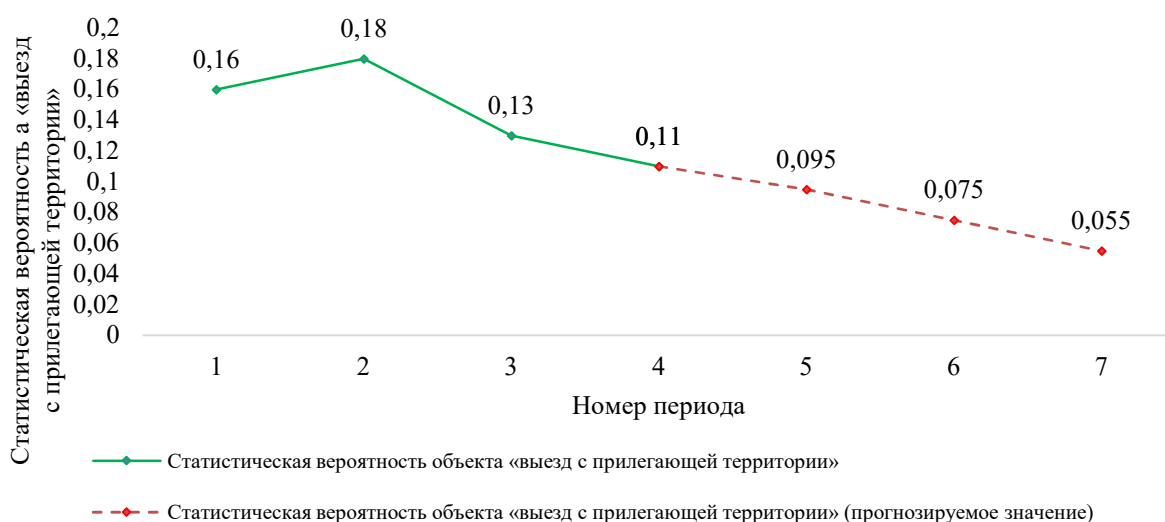


Рисунок 48 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_2)$ на объекте УДС транспортной системы города «выезд с прилегающей территории»

Выполненные работы позволили получить уравнение описывающее изменение показателя статистической вероятности, основанное на линейной функции и спрогнозировать изменение исследуемой величины на ближайшие 3 периода, соответствующие 2025–2027 гг. Установлено, что исследуемая величина будет снижаться.

3. Пешеходный переход

Согласно принятой модели полной статистической вероятности (рис. 41), пешеходные переходы в случае анализа объектов имеют определённые разновидности, что требует более детального анализа. В данном случае

необходимым мероприятием будет являться анализ показателей статистической вероятности $P(H_3)$ в общем виде и отдельно по каждой составляющей – регулируемый пешеходный переход $P(H_{31})$ и нерегулируемый пешеходный переход $P(H_{32})$. Рассмотрим более подробно изменение значений по общему показателю – пешеходный переход.

В соответствии с ПДД [13] пешеходный переход – участок проезжей части, трамвайных путей, обозначенный знаками 5.19.1, 5.19.2 и (или) разметкой 1.14.1–1.14.3 и выделенный для движения пешеходов через дорогу. Изменение статистической вероятности представлено в табл. 22/

Таблица 22 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «пешеходный переход» - $P(H_3)$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_3)$	0,25	0,27	0,33	0,18

Анализ статистической вероятности $P(H_3)$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 49, табл. 23).

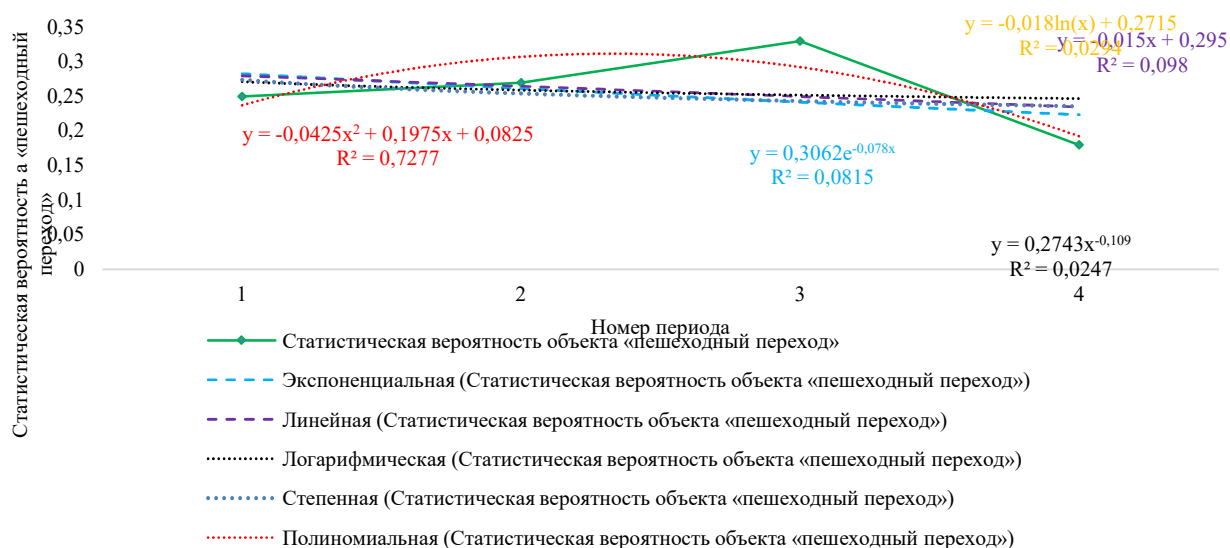


Рисунок 49 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «пешеходный переход» - $P(H_3)$

В случае анализа показателей данного объекта, отметим, что появляется новый вид функции – полиномиальный (табл. 23).

Таблица 23 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «пешеходный переход» - $P(H_3)$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,2743 \cdot x^{-0,109}$	0,03
Экспоненциальная	$y = 0,3062 \cdot e^{-0,078 \cdot x}$	0,08
Линейная	$y = -0,015 \cdot x + 0,295$	0,1
Логарифмическая	$y = -0,018 \ln(x) + 0,2715$	0,03
Полиномиальная	$y = -0,0425 \cdot x^2 + 0,1975 \cdot x + 0,0825$	0,73

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются полиномиальной функцией вида:

$$y = -0,0425 \cdot x^2 + 0,1975 \cdot x + 0,0825 \quad (26)$$

где y – доля ДТП на объекте «пешеходный переход»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5 периода, соответствующего значению 2025 года (рис. 50).

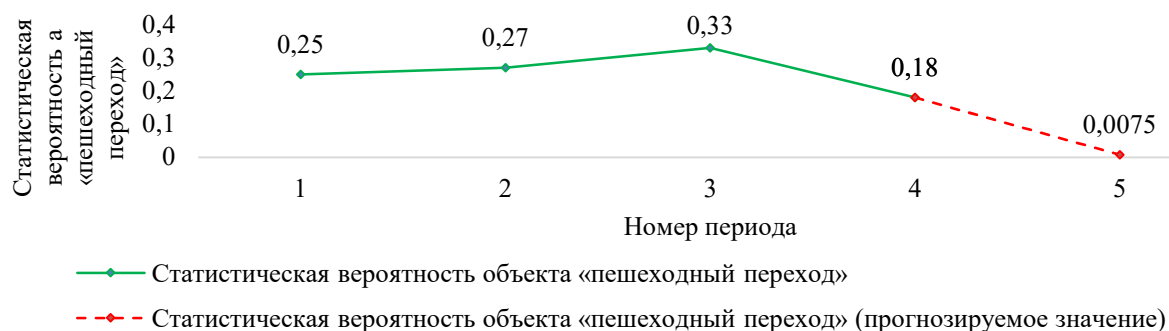


Рисунок 50 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_3)$ на объекте УДС транспортной системы города «пешеходный переход»

Отметим, в данном случае прогноз выполнен на один период, в связи с тем, что для последующих периодов значения уходят в отрицательную область значений.

В результате выполненных работ определено уравнение, основанное на полиномиальной функции, описывающее изменение статистической вероятности для исследуемого объекта «пешеходный переход», в результате прогнозирования установлено снижение исследуемой величины.

3.1 Регулируемый пешеходный переход

Данный вид статистической вероятности является разновидностью показателя $P(H_3)$, обозначаемый как $P(H_{31})$. Значения данного ряда наглядно представлены в таблице 27.

Таблица 24 – Изменение статистической вероятности на объекте УДС в городской транспортной системе «регулируемый пешеходный переход» -

$P(H_{31})$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_{31})$	0,12	0,12	0,21	0,08

Анализ статистической вероятности $P(H_{31})$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 51, табл. 25).

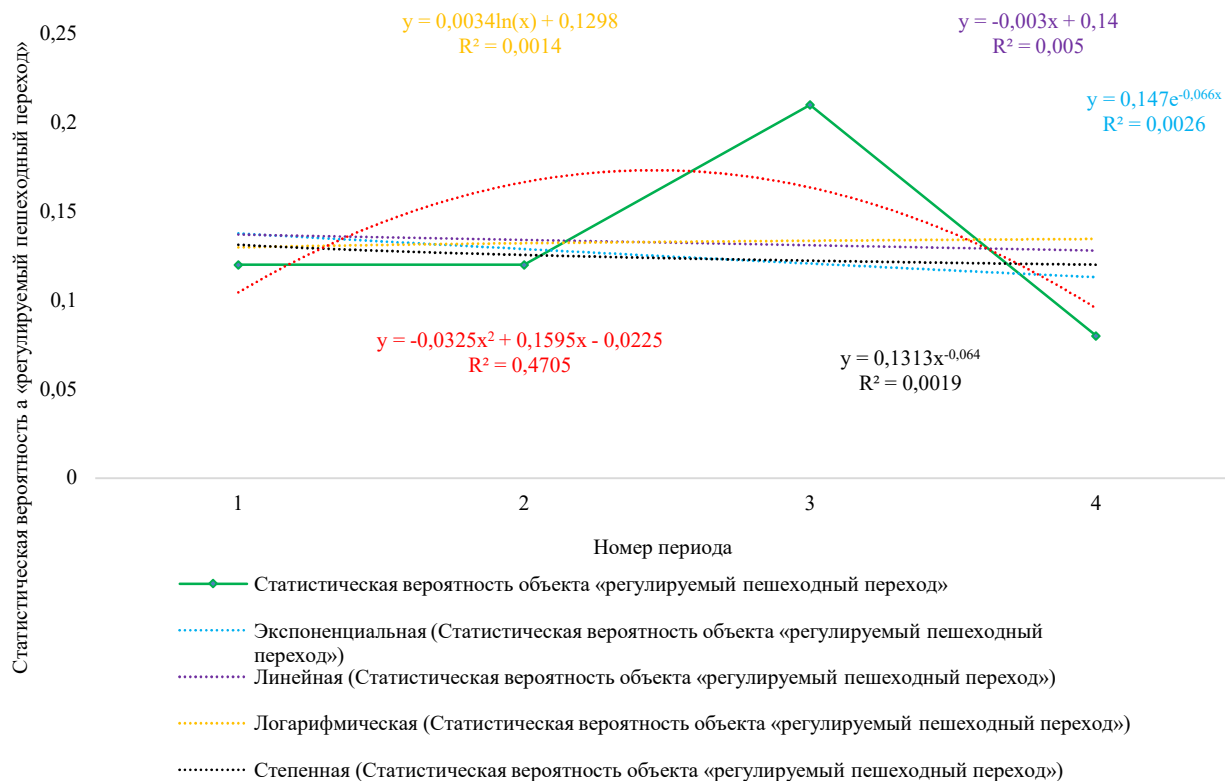


Рисунок 51 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «регулируемый пешеходный переход» - $P(H_{31})$

Таблица 25 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «регулируемый пешеходный переход» - $P(H_{31})$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,1313 \cdot x^{-0,064}$	0,002
Экспоненциальная	$y = 0,147 \cdot e^{-0,066 \cdot x}$	0,003
Линейная	$y = -0,003 \cdot x + 0,14$	0,005
Логарифмическая	$y = -0,034 \ln(x) + 0,1298$	0,001
Полиномиальная	$y = -0,0325 \cdot x^2 + 0,1595 \cdot x - 0,0225$	0,47

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются полиномиальной функцией вида:

$$y = -0,0325 \cdot x^2 + 0,1595 \cdot x - 0,0225 \quad (27)$$

где y – доля ДТП на объекте «регулируемый пешеходный переход»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Отметим, что полученное уравнение не позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП в связи с отрицательными значениями для прогнозируемых периодов (рис. 52).

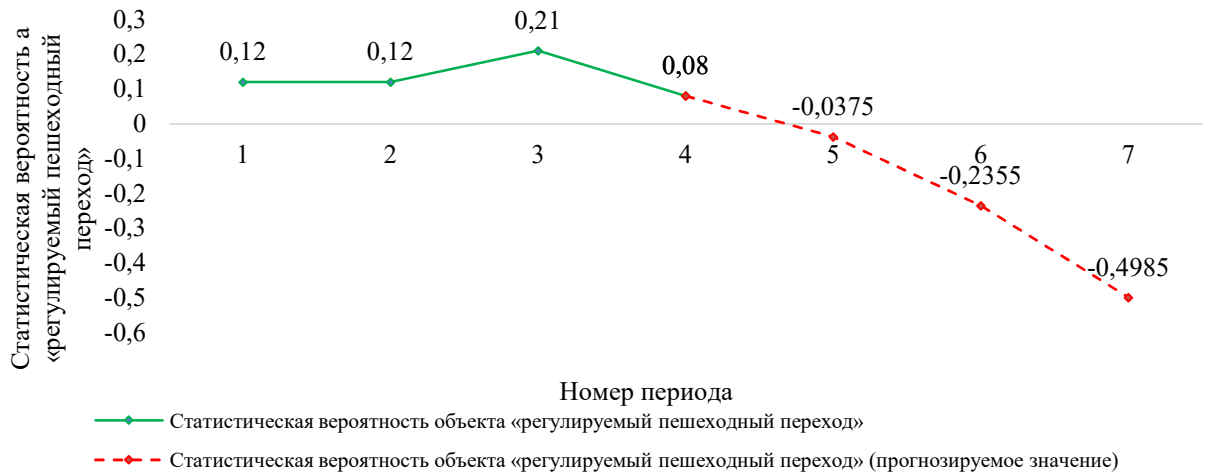


Рисунок 52 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_{31})$ на объекте УДС транспортной системы города «регулируемый пешеходный переход»

По результату выполненных процедур, установлено, что имеющиеся значения статистических вероятностей по исследуемому объекту не представляется возможным описать с помощью общеизвестных уравнений.

3.2 Нерегулируемый пешеходный переход

Данный вид статистической вероятности также является разновидностью показателя $P(H_3)$, обозначаемый как $P(H_{32})$. Значения данного объекта наглядно представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «нерегулируемый пешеходный переход» -

$P(H_{32})$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_{32})$	0,13	0,15	0,12	0,1

Анализ статистической вероятности $P(H_{32})$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 53, табл. 27).

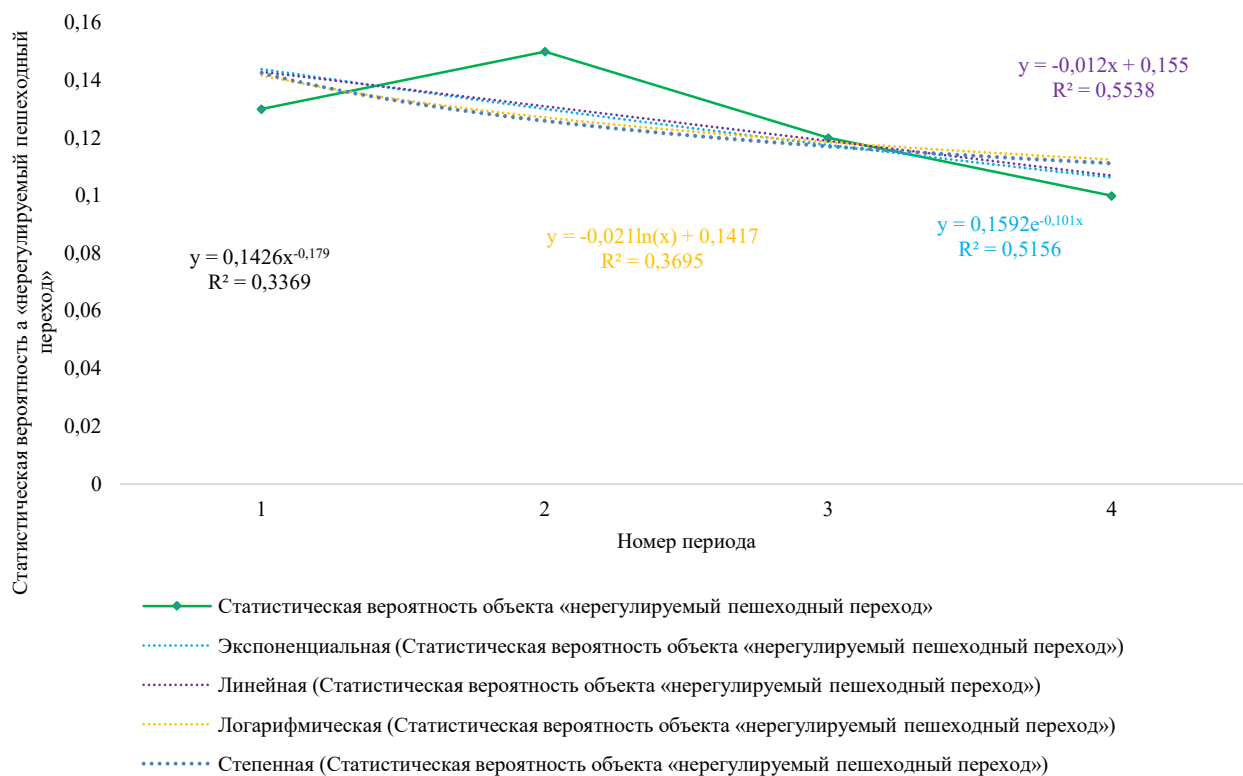


Рисунок 53 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «регулируемый пешеходный переход» - $P(H_{32})$

Таблица 27 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «регулируемый пешеходный переход» - $P(H_{31})$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,1426 \cdot x^{-0,179}$	0,34
Экспоненциальная	$y = 0,1592 \cdot e^{-0,101 \cdot x}$	0,52
Линейная	$y = -0,012 \cdot x + 0,155$	0,55
Логарифмическая	$y = -0,021 \ln(x) + 0,1417$	0,37

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются линейной функцией вида:

$$y = -0,012 \cdot x + 0,155 \quad (28)$$

где y – доля ДТП на объекте «нерегулируемый пешеходный переход»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогноз рассматриваемых значений на 5, 6 и 7 период, соответствующий 2025, 2026 и 2027 году (рис. 54).

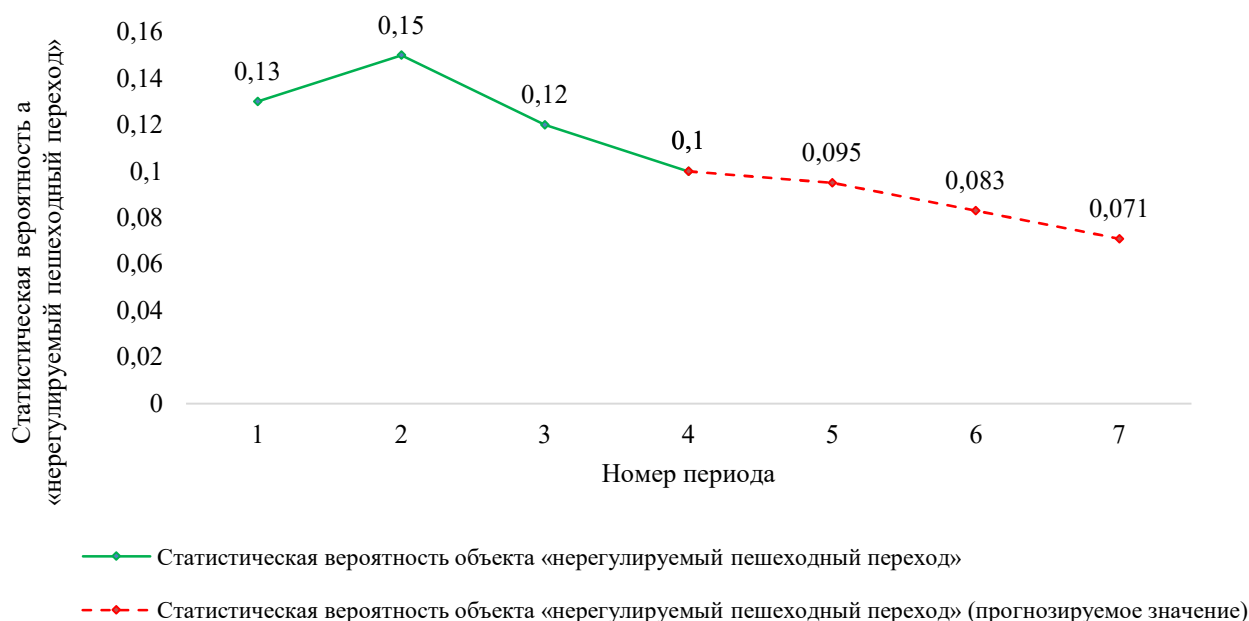


Рисунок 54 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_{32})$ на объекте УДС транспортной системы города «нерегулируемый пешеходный переход»

В результате выполненных работ определено уравнение, основанное на линейной функции, описывающее изменение статистической вероятности для исследуемого объекта «нерегулируемый пешеходный переход», в результате прогнозирования установлено снижение исследуемой величины.

4. Перекресток

Согласно принятой модели полной статистической вероятности (рис. 41), перекрестки в случае анализа объектов имеют определённые разновидности, что требует более детального анализа. В данном случае необходимым мероприятием будет являться анализ показателей статистической вероятности $P(H_4)$ в общем виде и отдельно по каждой

составляющей – регулируемые $P(H_{41})$ и нерегулируемые $P(H_{42})$, в свою очередь отдельно будут рассмотрены разновидности нерегулируемых перекрестков - нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог) $P(H_{421})$ и нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог) $P(H_{422})$

Рассмотрим более подробно изменение значений по общему показателю – перекресток.

В соответствии с ПДД [13] перекресток – место пересечения, примыкания или разветвления дорог на одном уровне, ограниченное воображаемыми линиями, соединяющими соответственно противоположные, наиболее удаленные от центра перекрестка начала закруглений проезжих частей. Не считаются перекрестками выезды с прилегающих территорий.

Изменение статистической вероятности представлено в табл. 28.

Таблица 28 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «перекресток» - $P(H_4)$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_4)$	0,27	0,29	0,2	0,17

Анализ статистической вероятности $P(H_4)$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 55, табл. 29).

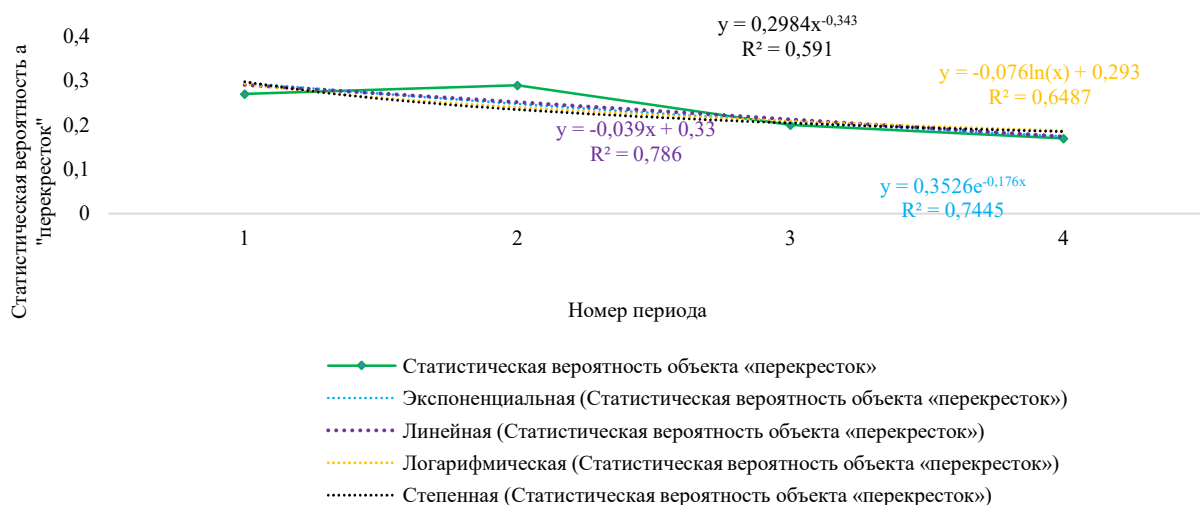


Рисунок 55 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «перекресток» - $P(H_4)$

Таблица 29 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «пешеходный переход» - $P(H_3)$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,2984 \cdot x^{-0,343}$	0,6
Экспоненциальная	$y = 0,352 \cdot e^{-0,176 \cdot x}$	0,75
Линейная	$y = -0,039 \cdot x + 0,33$	0,79
Логарифмическая	$y = -0,076 \ln(x) + 0,293$	0,65

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются линейной функцией вида:

$$y = -0,039 \cdot x + 0,33 \quad (28)$$

где y – доля ДТП на объекте «перекресток»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5, 6 и 7 периода, соответствующего значению 2025, 2026 и 2027 года (рис. 56).

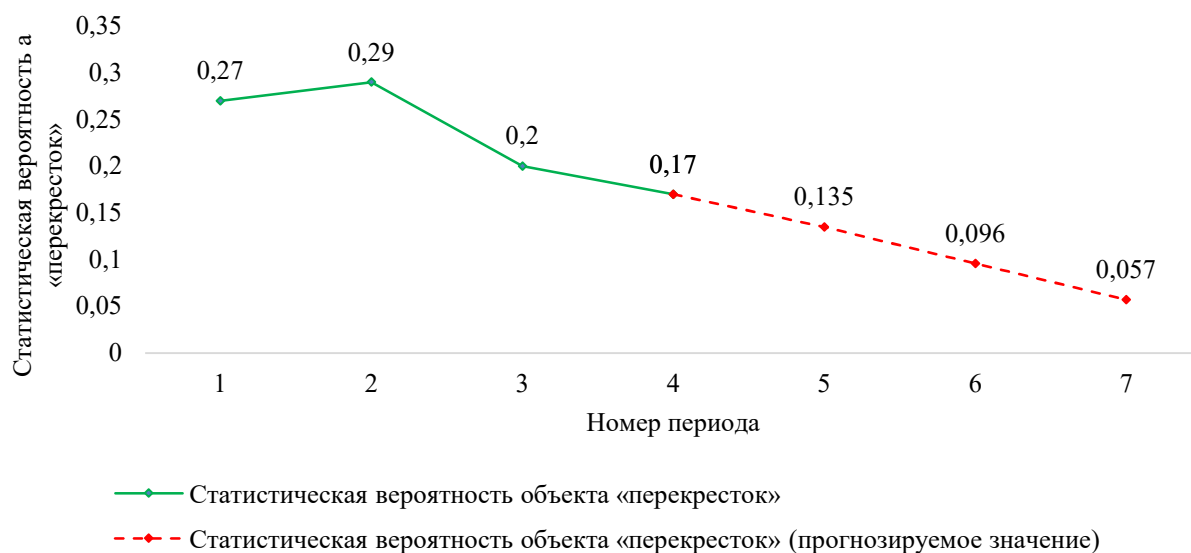


Рисунок 56 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_4)$ на объекте УДС транспортной системы города «перекресток»

В результате выполненных работ определено уравнение, основанное на линейной функции, описывающее изменение статистической вероятности для исследуемого объекта «перекресток», в результате прогнозирования установлено снижение исследуемой величины.

4.1 Регулируемый перекресток

Данный вид статистической вероятности является разновидностью показателя $P(H_4)$, обозначаемый как $P(H_{41})$. Значения данного объекта наглядно представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «регулируемый перекресток» - $P(H_{41})$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_{41})$	0,12	0,12	0,1	0,07

Анализ статистической вероятности $P(H_{31})$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 57, табл. 31).

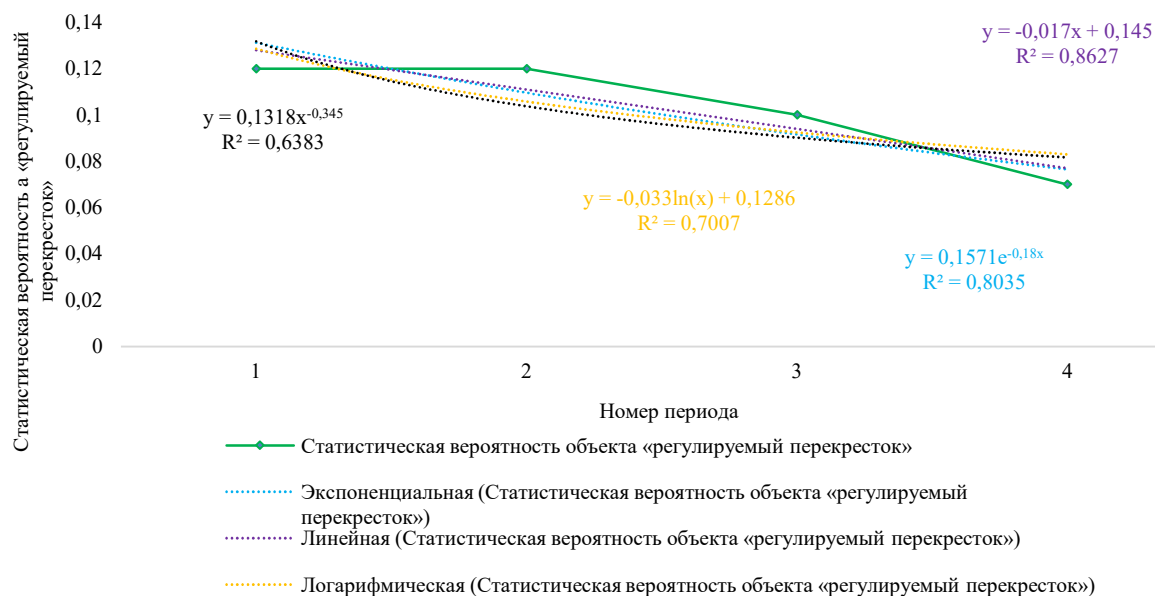


Рисунок 57 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «регулируемый перекресток» - $P(H_{41})$

Таблица 31 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «регулируемый перекресток» - $P(N_{41})$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,1318 \cdot x^{-0,345}$	0,64
Экспоненциальная	$y = 0,1571 \cdot e^{-0,18 \cdot x}$	0,8
Линейная	$y = -0,017 \cdot x + 0,145$	0,86
Логарифмическая	$y = -0,033 \ln(x) + 0,1286$	0,7

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются линейной функцией вида:

$$y = -0,017 \cdot x + 0,145 \quad (29)$$

где y – доля ДТП на объекте «регулируемый перекресток»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5, 6 и 7 периода, соответствующего значению 2025, 2026 и 2027 года (рис. 58).

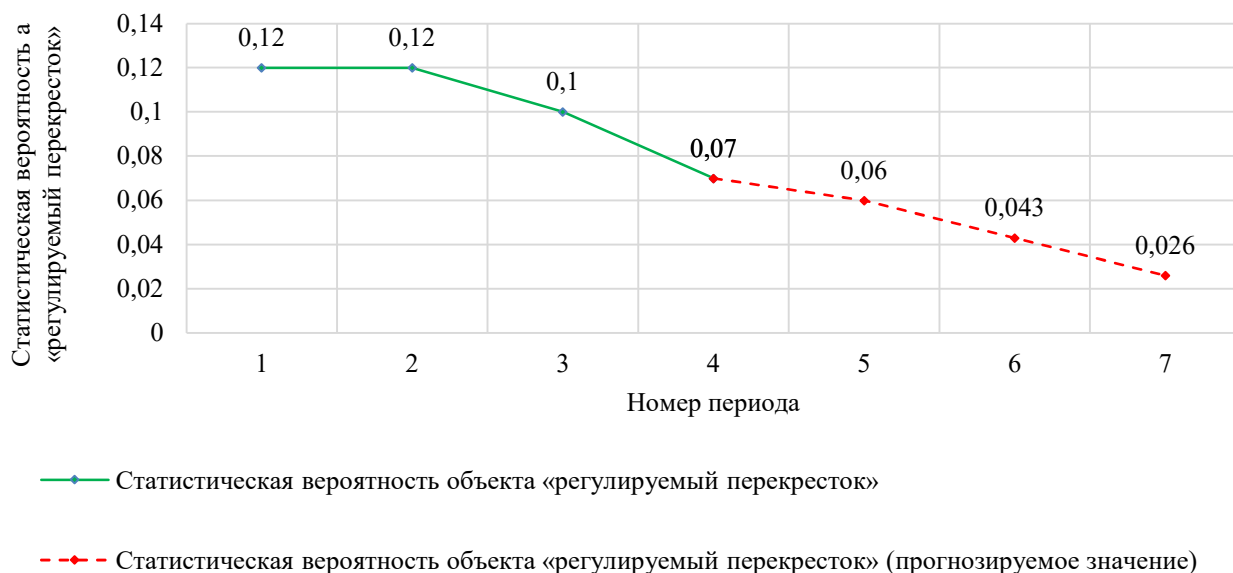


Рисунок 58 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(N_{41})$ на объекте УДС транспортной системы города «регулируемый перекресток»

В результате выполненных работ определено уравнение, основанное на линейной функции, описывающее изменение статистической вероятности для исследуемого объекта «регулируемый перекресток», в результате прогнозирования установлено снижение исследуемой величины.

4.2 Нерегулируемый перекресток

Данный вид статистической вероятности является разновидностью показателя $P(H_4)$, обозначаемый как $P(H_{42})$. Значения данного объекта наглядно представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «нерегулируемый перекресток» - $P(H_{42})$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_{42})$	0,15	0,17	0,1	0,1

Анализ статистической вероятности $P(H_{31})$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 59, табл. 33).

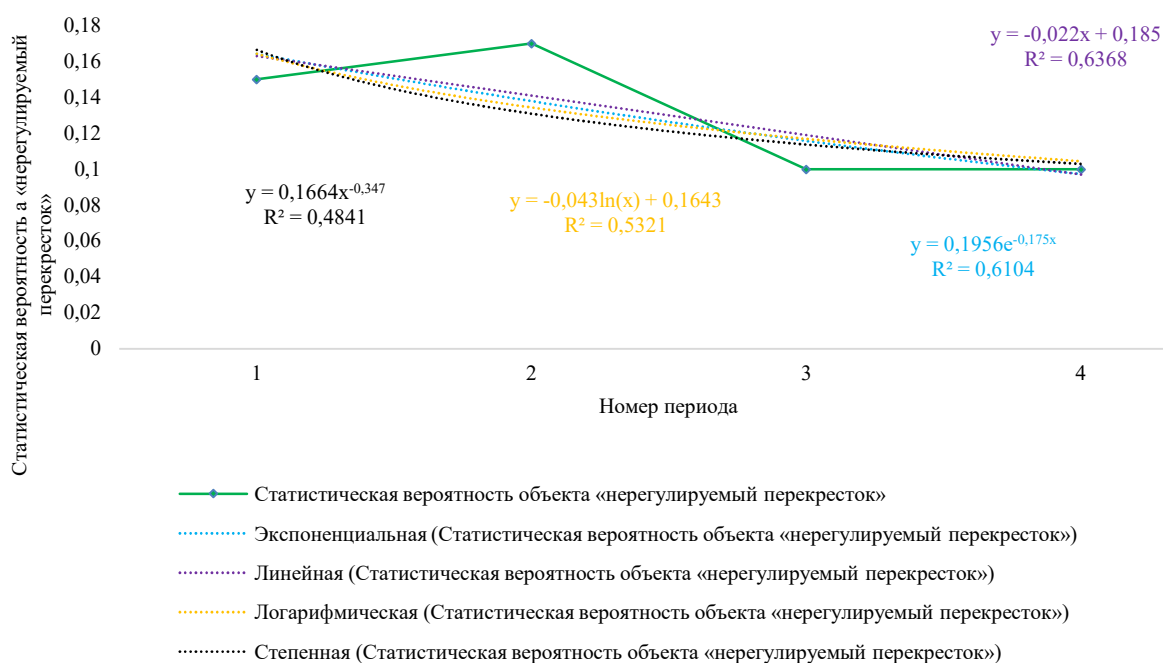


Рисунок 59 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток» - $P(H_{42})$

Таблица 33 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток» - $P(H_{42})$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,1664 \cdot x^{-0,347}$	0,48
Экспоненциальная	$y = 0,1956 \cdot e^{-0,175 \cdot x}$	0,61
Линейная	$y = -0,022 \cdot x + 0,185$	0,64
Логарифмическая	$y = -0,043 \ln(x) + 0,1643$	0,53

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются линейной функцией вида:

$$y = -0,022 \cdot x + 0,185 \quad (30)$$

где y – доля ДТП на «нерегулируемый перекресток»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5, 6 и 7 периода, соответствующего значению 2025, 2026 и 2027 года (рис. 60).



Рисунок 60 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_{42})$ на объекте УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток»

В результате выполненных работ определено уравнение, основанное на линейной функции, описывающее изменение статистической вероятности для исследуемого объекта «нерегулируемый перекресток», в результате прогнозирования установлено снижение исследуемой величины.

4.2.1 Нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)

Данный вид статистической вероятности является разновидностью показателя $P(H_{42})$, обозначаемый как $P(H_{421})$. Значения данного объекта наглядно представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)» - $P(H_{421})$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_{421})$	0,13	0,15	0,09	0,09

Анализ статистической вероятности $P(H_{421})$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 61, табл. 35).

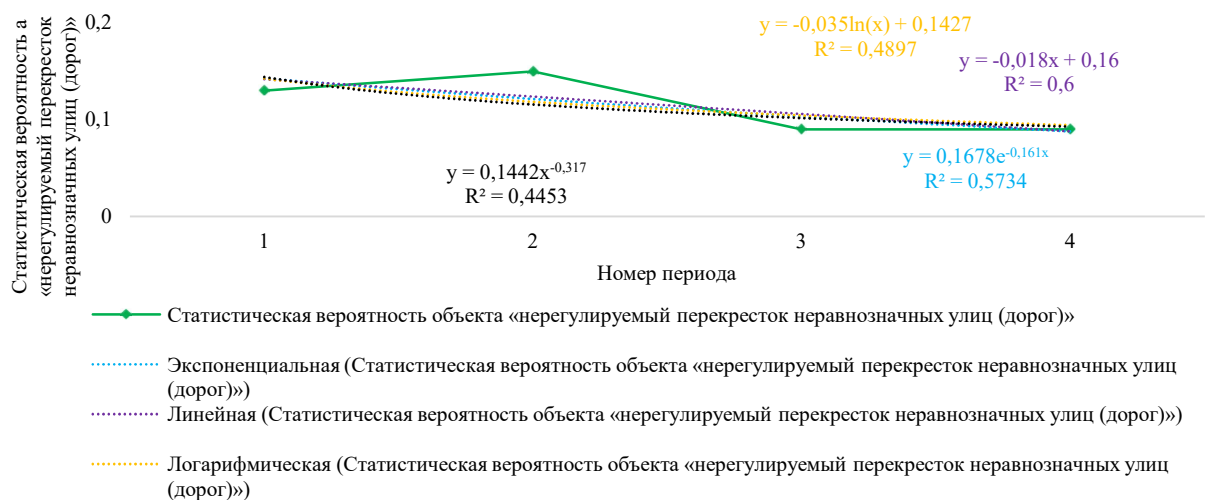


Рисунок 61 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)» - $P(H_{421})$

Таблица 35 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)» - P(N₄₂₁)

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R ²
Степенная	$y = 0,1442 \cdot x^{-0,317}$	0,45
Экспоненциальная	$y = 0,1678 \cdot e^{-0,161 \cdot x}$	0,57
Линейная	$y = -0,018 \cdot x + 0,16$	0,6
Логарифмическая	$y = -0,035 \ln(x) + 0,1427$	0,49

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются линейной функцией вида:

$$y = -0,018 \cdot x + 0,16 \quad (31)$$

где y – доля ДТП на объекте «нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5, 6 и 7 периода, соответствующего значению 2025, 2026 и 2027 года (рис. 62).



Рисунок 62 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности P(N₄₂₁) на объекте УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)»

В результате выполненных работ определено уравнение, основанное на линейной функции, описывающее изменение статистической вероятности для исследуемого объекта «нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)», в результате прогнозирования установлено снижение исследуемой величины.

4.2.2 Нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)

Данный вид статистической вероятности является разновидностью показателя $P(H_{42})$, обозначаемый как $P(H_{422})$. Значения данного объекта наглядно представлены в таблице 36.

Таблица 36 – Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)» - $P(H_{422})$

Номер периода	1	2	3	4
Значение $P(H_{422})$	0,02	0,02	0,01	0,01

Анализ статистической вероятности $P(H_{422})$ позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рис. 63, табл. 37).

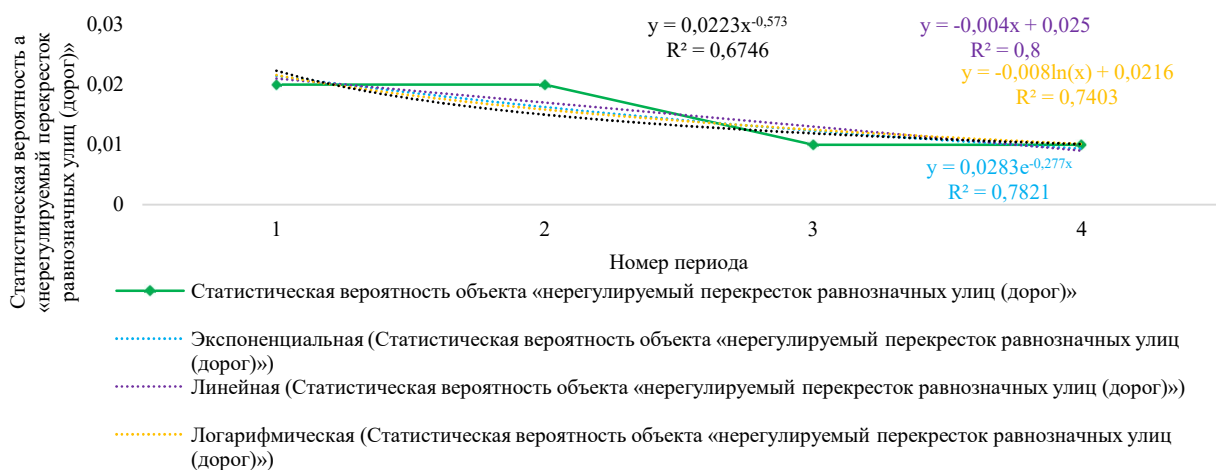


Рисунок 63 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)» - $P(H_{422})$

Таблица 37 – Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)» - $P(N_{422})$

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y = 0,0223 \cdot x^{-0,573}$	0,68
Экспоненциальная	$y = 0,0283 \cdot e^{-0,277 \cdot x}$	0,78
Линейная	$y = -0,004 \cdot x + 0,025$	0,8
Логарифмическая	$y = -0,008 \ln(x) + 0,0216$	0,74

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются линейной функцией вида:

$$y = -0,004 \cdot x + 0,025 \quad (32)$$

где y – доля ДТП на объекте «нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5 и 6, соответствующего значению 2025 и 2026 года, для 2027 года прогнозирование становится отрицательным (рис. 64).



Рисунок 64 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(N_{422})$ на объекте УДС транспортной системы города «нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)»

В результате выполненных работ определено уравнение, основанное на линейной функции, описывающее изменение статистической вероятности для исследуемого объекта «нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)», в результате прогнозирования установлено снижение исследуемой величины.

В общем виде математическая модель оценки аварийности объектов городской УДС с учетом нового вида транспорта – СИМ, будет иметь вид:

$$P(H) = \begin{cases} P(H_1) \\ P(H_2) \\ P(H_3) \\ P(H_4) \\ P(H_5) \end{cases} = \begin{cases} y = 0,0335 \cdot x^{1,5903} \\ y = -0,02 \cdot x + 0,195 \\ y = -0,0425 \cdot x^2 + 0,1975 \cdot x + 0,0825 \\ y = -0,039 \cdot x + 0,33 \\ y = 0,2691 \cdot x^{-0,608} \end{cases} \quad (33)$$

Полученные уравнения функций позволяют оценить аварийность рассматриваемых объектов на городской УДС, что позволяет спрогнозировать вероятность наступления ДТП (табл. 38) [74-86].

Таблица 38 – Результаты математического расчета

№ п/п	Наименование объекта УДС	Полученное уравнение функции	Величина достоверности, R^2
1	тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона	$y = 0,0335 \cdot x^{1,5903}$	0,92
2	выезд с прилегающей территории	$y = -0,02 \cdot x + 0,195$	0,69
3	пешеходный переход	$y = -0,0425 \cdot x^2 + 0,1975 \cdot x + 0,0825$	0,73
3.1	регулируемый пешеходный переход	$y = -0,0325 \cdot x^2 + 0,1595 \cdot x - 0,0225$	0,47
3.2	нерегулируемый пешеходный переход	$y = -0,012 \cdot x + 0,155$	0,55
4	перекресток	$y = -0,039 \cdot x + 0,33$	0,79
4.1	регулируемый перекресток	$y = -0,017 \cdot x + 0,145$	0,86
4.2	нерегулируемый перекресток	$y = -0,022 \cdot x + 0,185$	0,64
4.2.1	нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)	$y = -0,018 \cdot x + 0,16$	0,6
4.2.2	нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)	$y = 0,0283 \cdot e^{-0,277 \cdot x}$	0,78
5	иные	$y = 0,2691 \cdot x^{-0,608}$	0,65

Наиболее высокий уровень аварийности прогнозируется для тротуаров, пешеходных дорожек и зон — от 0,43 до 0,74, с чёткой тенденцией к росту. Это может указывать на увеличение пешеходной нагрузки, износ инфраструктуры или недостаток мер безопасности. Напротив, для выездов с прилегающих территорий наблюдается снижение аварийности: с 0,095 до 0,055, что может быть результатом улучшения организации движения или внедрения ограничений.

Нерегулируемые пешеходные переходы также показывают снижение аварийности — с 0,095 до 0,071, что положительно, но остаётся на относительно высоком уровне. Перекрёстки в целом демонстрируют тенденцию к снижению аварийности (с 0,135 до 0,057), особенно регулируемые (с 0,06 до 0,026) и нерегулируемые (с 0,075 до 0,031). Это может свидетельствовать об эффективности светофоров, дорожных знаков и патрулирования. Особенно низкая аварийность прогнозируется для нерегулируемых перекрёстков равнозначных улиц — 0,005 и 0,001, что говорит об их редком использовании или хорошей видимости.

Результаты выполненных математических расчетов стали основой для разработки информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя безопасности дорожного движения основных элементов городской УДС.

3.3 Выводы по главе 3

В ходе оценки аварийности объектов городской УДС с учётом СИМ — была разработана иерархическая (древовидная) структура, отражающая вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на различных типах транспортных объектов. В качестве ключевых участков, подверженных риску, выделены: тротуары, пешеходные дорожки и пешеходные зоны, пешеходные переходы (регулируемые и нерегулируемые),

выезды с прилегающих территорий, перекрёстки различного типа (нерегулируемые равнозначные, нерегулируемые неравнозначные, регулируемые), прочие участки УДС, характеризующиеся смешанным движением.

На основе статистических данных и анализа пространственной локализации ДТП выполнены математические расчёты, позволившие вывести уравнения для оценки вероятности наступления аварийного события на каждом из выделенных типов объектов. Качество построенных моделей подтверждается коэффициентом детерминации R^2 , варьирующимся в диапазоне от 0,64 до 0,92, что свидетельствует о высокой степени адекватности и прогностической достоверности.

В результате разработана математическая модель оценки аварийности объектов городской УДС с учётом специфики движения СИМ, которая может быть использована для прогнозирования рисков, планирования инфраструктурных мероприятий и повышения безопасности в условиях растущего спроса на СИМ.

ГЛАВА 4 СИСТЕМА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ СИМ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1 Принципы устойчивой городской транспортной системы

Городская транспортная система включает в себя ряд структурных элементов таких как транспорт, так и инфраструктуру для его эффективного функционирования [87-94]. Одним из основных направлений на сегодняшний день является поддержание устойчивости такого рода систем. По инициативе Министерства транспорта Российской Федерации в России реализуется Эстафета Общеввропейской программы Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по транспорту, окружающей среде и охране здоровья (Эстафета ОПТОСОЗ). Эта инициатива объединяет города России и зарубежных стран, заинтересованные в развитии устойчивой и безопасной городской мобильности.

Создано международное Партнёрство ОПТОСОЗ, направленное на интеграцию транспортной политики с вопросами охраны здоровья населения и экологической устойчивости в процессы городского и территориального планирования. Основой для реализации этих целей служит нормативный документ ЕЭК ООН — «Руководство по устойчивой городской мобильности и территориальному планированию», которое предлагает комплексный подход к формированию транспортных систем, способствующих улучшению качества жизни в городах, снижению выбросов, развитию пешеходной и велосипедной инфраструктуры, а также повышению безопасности всех участников движения. Содействие активной мобильности» определены основные принципы устойчивой городской транспортной системы, в которой можно выделить основные блоки (красный цвет линии), направленные на повышение

эффективности организации дорожного движения с учётом нового вида транспорта – СИМ (рис. 65).

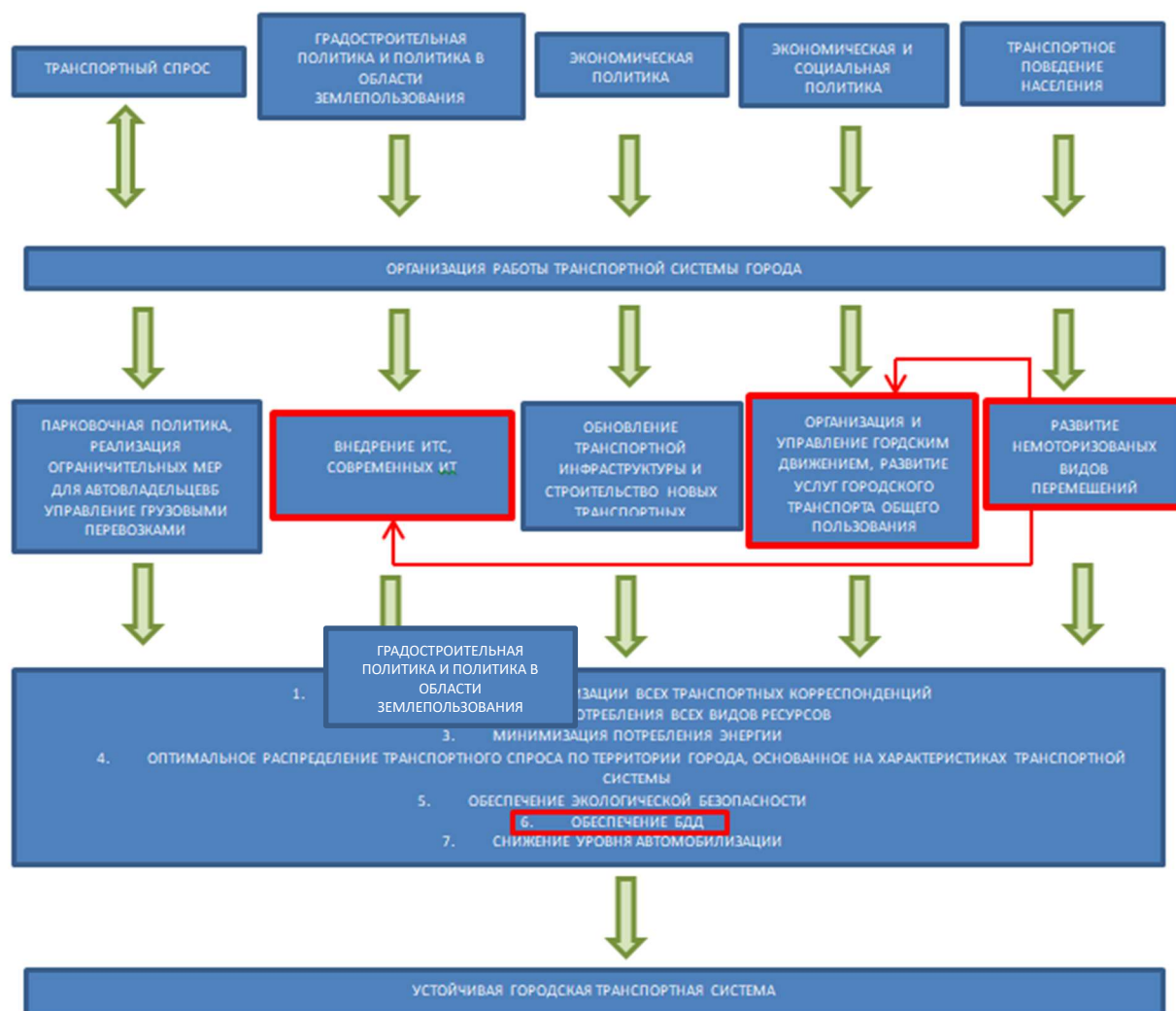


Рисунок 67 – Принципы устойчивой городской транспортной системы

Таким образом, для реализации одного из основных направлений – организации работы транспортной системы города по средствам развития немоторизованных видов транспорта, к которым можно отнести СИМ необходимо организовать управление городским движением по средствам применения современных ИТС на основе обеспечения БДД.

Схема представляет собой модель причинно-следственных связей в процессе формирования устойчивой городской транспортной системы (УГТС). Она состоит из нескольких уровней, отражающих внешние условия,

управленческие меры, стратегические направления деятельности и целевые показатели эффективности.

1. Первый уровень — Факторы внешней среды

На первом уровне расположены влияющие факторы, определяющие контекст функционирования транспортной системы:

- Транспортный спрос — объём и структура перемещений населения и грузов;
- Градостроительная политика и политика в области землепользования — влияние планировки территории, плотности застройки, размещения объектов инфраструктуры;
- Экономическая политика — государственные меры по стимулированию или ограничению транспортных расходов, налоговая политика;
- Экономическая и социальная политика — уровень доходов населения, доступность транспортных услуг, социальные программы;
- Транспортное поведение населения — предпочтения в выборе видов транспорта, культура дорожного движения.

Данные факторы являются экзогенными переменными, оказывающими прямое влияние на стратегию управления транспортной системой города.

2. Второй уровень — Организация работы транспортной системы

Центральный блок «Организация работы транспортной системы города» выступает в качестве интегрирующего механизма, который агрегирует информацию о внешних факторах и преобразует её в конкретные управленческие решения.

От этого блока исходят управляющие воздействия в виде пяти ключевых направлений:

- Парковочная политика и ограничительные меры для автовладельцев — направлены на управление спросом на автомобильные перевозки;

- Внедрение ИТС (интеллектуальных транспортных систем) и современных ИТ — цифровизация управления транспортом, автоматизация, информационные платформы;
- Обновление транспортной инфраструктуры и строительство новых транспортных объектов — физическое развитие сети дорог, пересадочных узлов, велодорожек и т.п.;
- Организация и управление городским движением, развитие услуг городского транспорта общего пользования (ГОТ)— оптимизация маршрутов, частоты движения, повышение качества сервиса;
- Развитие немоторизованных видов перемещений — создание условий для пешеходов и велосипедистов (велодорожки, пешеходные зоны, безопасность).

3. Третий уровень — Целевые эффекты и критерии эффективности

Нижний уровень модели включает целевые показатели, достижение которых ожидается в результате реализации предложенных мер. Эти ориентиры выступают в качестве индикаторов устойчивого развития городской транспортной системы и отражают ключевые аспекты её эффективности:

- Сокращение времени передвижения по всем видам транспортных корреспонденций;
- Снижение суммарного потребления ресурсов, включая топливо, электроэнергию и конструкционные материалы;
- Повышение энергоэффективности за счёт минимизации энергозатрат на единицу пассажиро- или грузоперевозки;
- Рациональное распределение транспортного спроса по территории города с учётом функциональных зон и пропускной способности инфраструктуры;
- Обеспечение экологической безопасности за счёт снижения выбросов и негативного воздействия на окружающую среду;

- Повышение уровня безопасности дорожного движения (БДД), выделенное как приоритетное направление (визуально обозначено красным цветом в схеме), подчёркивающее его стратегическое значение в системе транспортного планирования [95-99];

- Снижение степени автомобилизации, направленное на уменьшение зависимости от личного автомобильного транспорта и стимулирование использования альтернативных, более устойчивых видов передвижения.

Данные целевые эффекты формируют комплексный критериальный базис для оценки успешности транспортных реформ и интеграции новых решений, включая развитие инфраструктуры для средств индивидуальной мобильности.

4. Конечный результат

На нижнем уровне схемы указан конечный результат — формирование устойчивой городской транспортной системы, которая обеспечивает баланс между экономическими, экологическими и социальными интересами.

Все внешние факторы (верхний уровень) влияют на организацию работы транспортной системы. От неё зависят реализуемые меры (средний уровень). Меры, в свою очередь, способствуют достижению целевых эффектов (нижний уровень). Каждый из элементов среднего уровня связан со всеми целями, что свидетельствует о многокритериальности и системности подхода. Особое внимание уделяется БДД и развитию немоторизованных видов передвижения, что соответствует современным тенденциям в городском планировании и устойчивому развитию.

Схема представляет собой системную модель управления городской транспортной системой, основанную на принципах интегрированного подхода, учитывающего экономические, экологические, социальные и технологические аспекты. Она может быть использована в научных исследованиях, проектировании транспортной политики, а также в разработке стратегических планов развития городов.

4.2 Информационно-цифровая (интеллектуальная) система повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах

В рамках выполненного исследования, следуя данному принципу устойчивой городской транспортной системы разработана информационно-цифровая (интеллектуальная) система повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя БДД основных элементов УДС [100]. Принцип работы системы основан на математической модели оценки аварийности элементов УДС и города с учетом нового вида транспорта – СИМ и своевременного оповещения водителя СИМ и возможном возникновении опасности, и принудительном снижении скорости на особо аварийных элементах УДС (рис. 68).

Принцип работы системы основан на работе модулей и исполнительных элементов городской транспортной системы, таких как детекторы транспорта, камеры фото и видеофиксации, а также индивидуальных модулях, которыми оборудовано СИМ. В результате работы системы мониторинга и обнаружения возможно установить наличие СИМ и траекторию его движения, а также элемент УДС, по которому движения транспортное средство. Работа аналитического модуля, основанная на математической модели оценки аварийности элементов УДС и города с учетом нового вида транспорта – СИМ осуществляется расчет вероятности возникновения события – ДТП с учетом градации (табл. 42) и происходит оповещение водителя СИМ по средствам вибрационного воздействия и последующего снижения скорости или полной остановки [100, 101].

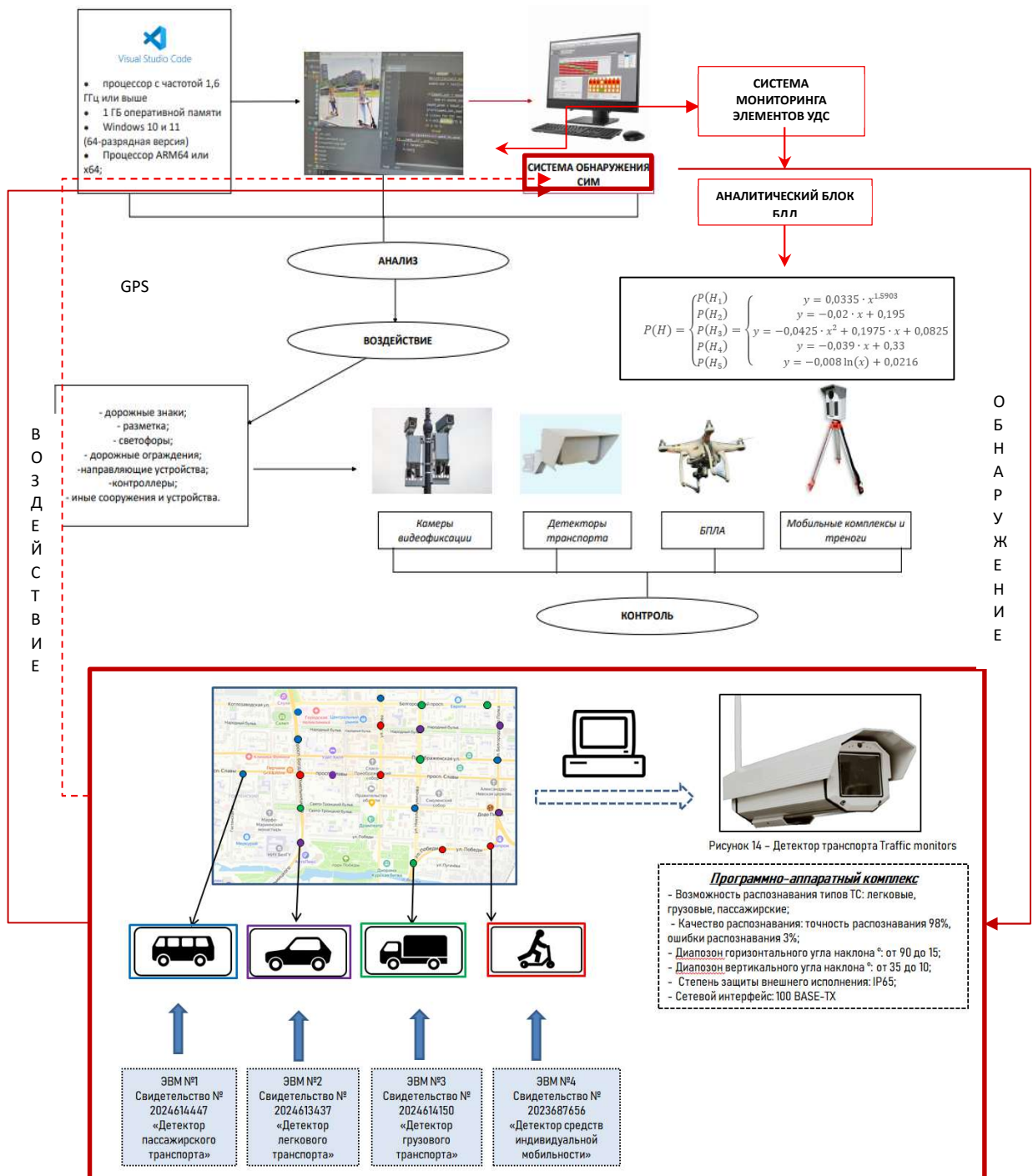


Рисунок 68 – Информационно-цифровая (интеллектуальная) система повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя БДД основных элементов городской УДС

Таблица 39 – Уровни градации вероятности возникновения события (ДТП) на элементах УДС

Уровень градации	1	2	3	4
Значение вероятности возникновения события	0-0,25	0,251-0,5	0,51-0,7	0,71-0,99
Действие	вибрационное воздействие	принудительное снижение скорости до 12 км/ч	принудительное снижение скорости до 7 км/ч	полная остановка

В результате выполненных экономических расчетов установлено, что внедрение разработанной информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя БДД основных элементов УДС в масштабах г. Белгорода потребует порядка 10,5 млн рублей для оборудования основных элементов УДС исполнительными устройствами позволяющими осуществлять функцию «обнаружения» и выстраивания гибкого модуля связи по средствам отдельно выделенного канала GPS для реализации функции «воздействия». Относительно не высокие затраты в масштабах городской транспортной системы обоснованы реализацией программы «Развитие ИТС» в рамках субсидии Федерального дорожного агентства Росавтодор при Министерстве транспорта Российской Федерации.

Экономический эффект от внедрения системы заключается в снижении социальной напряженности за счет минимизации тяжести последствий от ДТП с участием СИМ и поддержания устойчивости городской транспортной системы, основанной на принципе безопасности дорожного движения.

4.3 Интегральный экономический эффект от внедрения информационно-цифровой (интеллектуальной) системы

Интегральный экономический эффект (ИЭЭ) заключается в повышении мобильности населения и экономии материальных и финансовых ресурсов [102-110].

Рассчитаем ИЭЭ для одного пользователя, перешедшего с личного автомобиля на электросамокат (как типичный СИМ) в городских условиях.

Таблица 40 – Данные для расчёта (реалистичные оценки для города РФ, г. Москва)

Параметр	Обозначение	Значение	Единицы
Стоимость электросамоката	$P_{\text{сим}}$	40 000	руб.
Срок службы СИМ	L	3	года
Годовые затраты на ТО и зарядку	$C_{\text{сим}}$	2 000	руб./год
Годовые затраты на автомобиль	$C_{\text{авто}}$	120 000	руб./год
Экономия времени в день	Δt	0.5	часа/день
Рабочих дней в году	—	250	дней
Стоимость часа времени	ω	500	руб./час
Снижение выбросов CO ₂	ΔE	150 кг	в год (на пользователя)
Цена за 1 т CO ₂ (теневая)	ρ_{CO_2}	500	руб./тонна
Норма дисконта	r	8%	(0.08)
Горизонт анализа	T	3	года

2. ИЭЭ:

$$\text{ИЭЭ} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (34)$$

где B_t — выгоды в году t ; C_t — затраты в году t ; $r = 0,08$; $T = 3$.

3. Расчёт годовых выгод B_t :

3.1. Экономия на транспортных расходах

$$B_t^{\text{фин}} = C_{\text{авто}} - C_{\text{СИМ}} = 120000 - 2000 = 118000 \text{ руб./год}$$

3.2. Экономия времени

$$B_t^{\text{фин}} = \Delta t \cdot \text{дни} \cdot \omega = 0,5 \cdot 250 \cdot 500 = 62500 \text{ руб./год}$$

3.3. Экологическая выгода (снижение выбросов)

$$B_t^{\text{экология}} = \Delta E \cdot p_{\text{CO}_2} = 0,150 \cdot 500 = 75 \text{ руб./год}$$

Экологический эффект мал в денежном выражении при текущей цене CO_2 , но имеет значение при масштабировании.

3.4. Итого годовые выгоды (для $t=1,2,3$)

$$B_t = 118000 + 62500 + 75 = 180575 \text{ руб./год}$$

4. Расчёт годовых затрат C_t

Таблица 41 – Расчет годовых затрат

Год	Затраты
$t = 0$	$C_0 = 40000$ (покупка СИМ)
$t = 1,2,3$	$C_t = 2000$ (ТО и зарядка)

5. Дисконтирование денежных потоков

$$\text{ИЭЭ} = \frac{B_0 - C_0}{(1+r)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+r)^3}$$

Так как в $t = 0$, $B_0 = 0$, $C_0 = 40000$

$$\begin{aligned} \text{ИЭЭ} &= \frac{-40000}{1} + \frac{180575 - 2000}{1,08} + \frac{180575 - 2000}{1,08^2} + \frac{180575 - 2000}{1,08^3} \\ &= -40000 + \frac{178575}{1,08} + \frac{178575}{1,1664} + \frac{178575}{1,2597} \end{aligned}$$

Рассчитаем:

$$\frac{178575}{1,08} = 165347$$

$$\frac{178575}{1,1664} = 153100$$

$$\frac{178575}{1,2597} = 141760$$

Сумма приведённых выгод:

$$165347 + 153100 + 141760 = 460207$$

$$\text{ИЭЭ} = -40000 + 460207 = 420207 \text{ руб.}$$

6. Интерпретация результата

$$\text{ИЭЭ} \approx 420200 \text{ руб.}$$

Это означает, что за 3 года использования электросамоката вместо автомобиля один пользователь получает интегральный экономический эффект в размере около 420 тысяч рублей, включая:

Экономия на транспорте: ~354 тыс. руб. (3 года × 118 тыс.)

Экономия времени: ~187.5 тыс. руб.

Экологический эффект: ~225 руб.

Минус затраты на СИМ и обслуживание

Основной вклад — экономия времени (около 60% эффекта), что отражает высокую стоимость времени в городе.

7. Обобщение на масштаб города

Если $N = 10000$ человек перейдут на СИМ:

$$\text{ИЭЭ}_{\text{город}} = 10000 \cdot 420207 = 4,2 \text{ млн. руб.}$$

(за 3 года, с дисконтированием)

Таким образом ИЭЭ от использования СИМ можно точно выразить математически:

$$\text{ИЭЭ} = -P_{\text{СИМ}} + \sum_{t=1}^L \frac{(C_{\text{авто}} - C_{\text{СИМ}}) + \Delta t \cdot D \cdot \omega + \Delta E \cdot p_{\text{CO}_2}}{(1+r)^t} \quad (35)$$

где: D — число поездок/дней в году, ΔE — снижение выбросов (в тоннах)

При учёте временных, финансовых и экологических выгод, использование СИМ даёт значительный положительный интегральный экономический эффект, особенно в крупных городах с высокой стоимостью времени и транспортными заторами.

В результате выполненных экономических расчетов установлено, что внедрение разработанной информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя БДД основных элементов УДС в масштабах г. Белгорода потребует порядка 10,5 млн рублей для оборудования основных элементов УДС исполнительными устройствами позволяющими осуществлять функцию «обнаружения» и выстраивания гибкого модуля связи по средствам отдельно выделенного канала GPS для реализации функции «воздействия». Относительно не высокие затраты в масштабах городской транспортной системы обоснованы реализацией программы «Развитие ИТС» в рамках субсидии Федерального дорожного агентства Росавтодор при Министерстве транспорта Российской Федерации.

Экономический эффект от внедрения системы заключается в снижении социальной напряженности за счет минимизации тяжести последствий от ДТП с участием СИМ и поддержания устойчивости городской транспортной системы, основанной на принципе безопасности дорожного движения.

4.4 Выводы по главе 4

В результате выполненных математических расчетов была разработана информационно-цифровая (интеллектуальная) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя безопасности дорожного движения основных объектов улично-дорожной сети.

В результате выполненных экономических расчетов установлено, что внедрение разработанной информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя БДД основных объектов УДС в масштабах г. Белгорода потребует порядка 10,5 млн рублей

Интегральный экономический эффект был получен за счет совокупной экономической выгоды, возникающей на уровне отдельного пользователя, городской транспортной системы и общества в целом в результате перехода на малогабаритные, энергоэффективные и экологичные виды транспорта (электросамокаты, велосипеды, гироскутеры и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании были получены новые технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития транспортной отрасли страны (разработана математическая модель оценки аварийности элементов УДС города с учетом нового вида транспорта – СИМ; разработана информационно-цифровая (интеллектуальная) система повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя безопасности дорожного движения основных элементов городской улично-дорожной сети) что в целом позволяет повысить безопасность городского дорожного движения за счет снижения социальной напряженности, выраженной в тяжести последствий от ДТП и поддержать устойчивость городской транспортной системы.

Основные научно-практические результаты состоят в следующем:

1. Анализ количества ДТП с участием СИМ позволил определить, что увеличивающийся характер количества происшествий возможно описать с помощью временного ряда и последующим математическим анализом, основанным на мультипликативной модели, состоящей из трех компонент – сезонной, трендовой и случайной. Расчет всех компонент позволил установить вид модели $Q = S_t \cdot e_t \cdot (0,08 - 0,25 \cdot t)$, что позволило произвести расчет количества ДТП с участием СИМ и математически установить, что в случае непринятия научно-обоснованных мероприятий, количество происшествий будет увеличиваться.

2. Анализ городской улично-дорожной сети на примере г. Белгорода позволил разработать план-схему движения СИМ, на основании чего была определена протяженность путей сообщения 289578 км и установить, что СИМ обладают высокими возможностями для движения в городской транспортной системе, ввиду большего количества маршрутов для движения в сравнении с общественным и личным автомобильным транспортом.

3. В результате выполненного эксперимента были получены информационные модели движения СИМ по сценариям пользования – «разовое использование» включающего в себя 12 элементов и описываемого целевой функцией вида $T_{\text{ри}} = \sum_{i=1}^{12} t_n$; «рабочее использование», включающее в себя 9 элементов и описываемое целевой функцией вида $T_{\text{ри}1} = \sum_{i=1}^9 t_n$; «досуговое использование», включающее в себя 9 элементов и описываемое целевой функцией вида $T_{\text{ди}} = \sum_{i=1}^9 t_n$ основанные на временном факторе. В рамках выполненного эксперимента были установлены временные диапазоны по каждой информационной модели: «разовое пользование» - $T_1 [5,55; 7,58]$; «рабочее использование» - $T_2 [2,05; 4,08]$; «досуговое использование» - $T_3 [2,05; 4,08]$.

4. В результате оценки аварийности элементов УДС города с учетом нового вида транспорта – СИМ была разработана древовидная структура вероятности возникновения события – ДТП на таких элементах УДС города как – тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона; пешеходные переходы (регулируемые и нерегулируемые); выезд с прилегающей территории; перекресток (нерегулируемый перекресток равнозначных дорог, регулируемый перекресток, нерегулируемый перекресток неравнозначных дорог) и иные. Выполненный математический расчет, позволил получить уравнения расчета вероятности наступления события на исследуемых элементах УДС города оцениваемые величиной достоверности R^2 от 0,65 до 0,92 и разработать математическую модель оценки аварийности элементов УДС города с учетом нового вида транспорта – СИМ.

5. В результате выполненных математических расчетов была получена математическая модель оценки аварийности элементов УДС города с учетом нового вида транспорта – СИМ, что стало основой для разработки информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя безопасности дорожного движения основных элементов городской улично-дорожной сети.

6. В результате выполненных экономических расчетов и определения интегрального экономического эффекта установлено, что внедрение разработанной информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах, на основе показателя БДД основных элементов УДС в масштабах г. Белгорода потребует порядка 10,5 млн рублей.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволяют сформулировать перспективы дальнейшей разработки темы, которая заключается в применении полученных информационных и математических моделей и информационно-цифровой (интеллектуальной) системы повышения эффективности организации дорожного движения для СИМ в городских транспортных системах в крупных и крупнейших городах с целью поддержания устойчивости городской транспортной системы, основанной на принципе безопасности дорожного движения.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АЗС	автозаправочная станция
БДД	безопасность дорожного движения
ВУ	водительское удостоверение
ГОСТ	государственный стандарт
ГАИ	государственная автомобильная инспекция
ДД	дорожное движение
ДТП	дорожно-транспортное происшествие
ЕС	Евросоюз
ИТС	интеллектуальная транспортная система
ИЭЭ	интегральный экономический эффект
ЛА	личный автомобиль
МВД	министерство внутренних дел
НПБ	нормативно правовая база
НП	населенный пункт
НЦ БДД	научный центр безопасности дорожного движения
ПДД	правила дорожного движения
ПЧ	проезжая часть
ПП	пешеходные переходы
РФ	Российская Федерация
СИМ	средство индивидуальной мобильности
СМИ	средства массовой информации
США	Соединенные Штаты Америки
ТП	транспортный поток
ТС	транспортное средство
ТО	техническое обслуживание
УДС	улично-дорожная сеть
ЦФО	Центральный Федеральный округ
ЮФО	Южный Федеральный округ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, А. В. Электрический транспорт: велосипеды, скутеры, гироскутеры / А. В. Антонов. – М.: Транспорт, 2020. – 240 с.
2. Белоусов, А. Н. Инновационные технологии в городской мобильности / А. Н. Белоусов // Транспорт Урала. — 2021. — № 3 (88). — С. 45–52.
3. Aman, J.J.C.; Zakhem, M.; Smith-Colin, J. Towards Equity in Micromobility: Spatial Analysis of Access to Bikes and Scooters amongst Disadvantaged Populations. Sustainability 2021, 13, 11856. <https://doi.org/10.3390/su132111856>
4. Caspi, O. Spatial associations of dockless shared e-scooter usage / O. Caspi, M. J. Smart, R. B. Noland // Transportation Research Part D: Transport and Environment. — 2020. — Vol. 86. — P. 102396. — DOI: 10.1016/j.trd.2020.102396.
5. Smith, C. Exploring the Equity Dimensions of US Bicycle Sharing Systems / C. Smith, J.-S. Oh, C. Lei. — Kalamazoo: Western Michigan University, 2015. — 35 p.
6. Abouelela, M. Understanding the landscape of shared-e-scooters in North America; Spatiotemporal analysis and policy insights / M. Abouelela, E. Chaniotakis, C. Antoniou // Transportation Research Part A: Policy and Practice. — 2023. — Vol. 169. — P. 103602. — DOI: 10.1016/j.tra.2023.103602.
7. Aman, J. J. C. Towards Equity in Micromobility: Spatial Analysis of Access to Bikes and Scooters amongst Disadvantaged Populations / J. J. C. Aman, M. Zakhem, J. Smith-Colin // Sustainability. — 2021. — Vol. 13, № 21. — P.
8. European Commission. Sustainable and Smart Mobility Strategy. — Brussels, 2021. — 35 p. — URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/mobilitystrategy_en (дата обращения: 05.04.2025).

9. Liew, Y. K. New peril on our roads: a retrospective study of electric scooter-related injuries / Y. K. Liew, C. P. J. Wee, J. H. Pek // Singapore Medical Journal. — 2020. — Vol. 61, № 2. — P. 92–95. — DOI: 10.11622/smedj.2019083.
10. Aman, J. J. C. Towards Equity in Micromobility: Spatial Analysis of Access to Bikes and Scooters amongst Disadvantaged Populations / J. J. C. Aman, M. Zakhem, J. Smith-Colin // Sustainability. — 2021. — Vol. 13. — P. 11856. — DOI: 10.3390/su132111856.
11. Hardt, C. Assessing the Integration of E-Scooters into Urban Mobility: A Case Study of Berlin / C. Hardt, M. Kagerbauer, M. Weber // Transportation Research Procedia. — 2019. — Vol. 37. — P. 155–162. — DOI: 10.1016/j.trpro.2019.01.021.
12. Zakhem, M. Equity in Shared Micromobility: A Review of Access and Usage Patterns / M. Zakhem, J. J. C. Aman, J. Smith-Colin // Journal of Transport Equity. — 2022. — Vol. 5, № 1. — P. 45–58. — DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2022.103210.
13. Постановление Правительства РФ от 23 октября 1993 г. № 1090 (ред. от 16 июля 2025 г.) «О правилах дорожного движения» : вместе с Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения // Собрание законодательства РФ. — 1993. — № 47. — Ст. 4580. — Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202310250026>, свободный. — Загл. с экрана. — Дата обращения: 16.01.2024.
14. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ (ред. от 31 июля 2025 г.) // Собрание законодательства РФ. — 2001. — № 52. — Ч. 1. — Ст. 4990. — Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001200112310027>, свободный. — Загл. с экрана. — Дата обращения: 06.05.2024
15. Зайцев, М. П. Электрические самокаты: безопасность и правовое регулирование / М. П. Зайцев. — СПб. : Политехника, 2019. — 180 с.

16. Гордеев, Д. А. Анализ рынка самокатов и гироскутеров в городах-миллионниках / Д. А. Гордеев // Логистика и управление цепями поставок. — № 5 (106). — С. 78–87.
17. Ковалёв, И. Б. Устойчивая городская мобильность: роль средств индивидуальной мобильности / И. Б. Ковалёв // Экология города. — 2020. — № 4. — С. 33–40.
18. Михайлов, А. А. Экологические аспекты использования электросамокатов / А. А. Михайлов // Экологические науки. — 2022. — № 2. — С. 55–61.
19. Новиков, В. Д. Транспорт будущего: от автомобиля к микромобильности / В. Д. Новиков. — М. : Наука, 2021. — 310 с.
20. Орлов, П. С. Поведение пользователей в условиях роста микромобильности / П. С. Орлов, Л. А. Соколова // Социальные технологии. — 2023. — № 1. — С. 90–98.
21. Петров, А. В. Экономика совместного использования электросамокатов / А. В. Петров // Экономика транспорта. — № 7. — С. 101–110.
22. Сидоров, К. Н. Безопасность пешеходов при использовании СИМ / К. Н. Сидоров // Безопасность жизнедеятельности. — 2021. — № 6. — С. 44–49.
23. Юнг, А.А. Оценка аварийности с участием средств индивидуальной мобильности с учетом сезонности / А.Г. Шевцова А.А. Юнг // В сборнике: Научные технологии и инновации (XXIV научные чтения). Сборник докладов Международной научно-практической конференции. – Белгород: - 2021 - С. 238-241.
24. Васильев, В. С. Перспективы развития микромобильности в России / В. С. Васильев, Е. А. Козлова // Вестник МАДИ. — 2022. — № 1 (68). — С. 112–120.
25. Юнг, А.А. К вопросу о безопасности движения средств индивидуальной мобильности / А.А. Юнг // В сборнике: Международная

научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Материалы конференции. – Белгород: - 2021 - С. 2411-2417.

26. Юнг, А.А. Средства индивидуальной мобильности. основные проблемы и пути решения / А.А. Юнг // В сборнике: Образование. Наука. Производство. XIII Международный молодежный форум. – Белгород: - 2021 - С. 1291-1294.

27. Юнг, А.А. Результат оценки характеристик транспортного потока с учетом движения средств индивидуальной мобильности с помощью моделирования участка дорожного движения / А.А. Юнг, А.Г. Шевцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022 – Т.19 № 5 (87). – С. 716-726.

28. Тарасов, Е. М. Разработка стандартов для электросамокатов в РФ / Е. М. Тарасов // Стандартизация. — № 11. — С. 22–28.

29. Ушаков, Д. В. Инженерные решения для интеграции микромобильности / Д. В. Ушаков // Автомобильная промышленность. — 2023. — № 3. — С. 30–36.

30. Фёдоров, А. Л. Влияние электросамокатов на транспортные потоки / А. Л. Фёдоров // Городское планирование. — № 4. — С. 66–73.

31. Чернов, С. А. Микромобильность как элемент умного города / С. А. Чернов // Информационные технологии в проектировании и управлении. — 2021. — № 2. — С. 88–95.

32. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2021 год. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», - 2022, - 126 с.

33. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», - 2023, - 150 с.

34. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», - 2024, - 154 с.

35. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2024 году. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», - 2025, - 148 с.

36. Юннинен, А. В. Предложение по совершенствованию подхода в вопросе оценки безопасности дорожного движения / А. В. Юннинен, С. С. Евтюков // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-3(86). – С. 28-33. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-28-33.

37. Пирогов, Я. Е. Концепция информационно-аналитической платформы в дорожно-транспортной системе мегаполиса / Я. Е. Пирогов, С. С. Евтюков, А. В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 5(94). – С. 123-129. – DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-123-129.

38. Современные методы сбора и обработки данных о дорожно-транспортных происшествиях / К. А. Бычкова, А. В. Подкопаев, А. Г. Шевцова, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1-4(88). – С. 74-80. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-74-80.

39. Юнг, А.А. Конфликтные зоны в условиях движения средств индивидуальной мобильности на улично-дорожной сети / А.А. Юнг, А.Г. Шевцова // В сборнике: Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2023. Материалы IX Международной научно-практической конференции (заочно-дистанционная) в рамках 9-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие». Горловка: - 2023 - С. 333-337.

40. Приказ Минтранса РФ № 234-ОД. Об утверждении правил использования СИМ на территории РФ. — М., 2021. — 12 с.

41. ГОСТ Р 58595–2019. Средства индивидуальной мобильности. Общие технические требования. — М. : Стандартинформ, 2019. — 24 с.

42. Кузнецова, Т. В. Социальные аспекты использования гироскутеров / Т. В. Кузнецова // Социальные науки и общество. — № 3. — С. 77–82.

43. Баранов, М. А. Транспортная безопасность в условиях роста микромобильности / М. А. Баранов // Транспортная безопасность и технологии. — 2023. — № 1. — С. 21–27.
44. Гришин, О. В. Электровелосипеды как альтернатива личному автомобилю / О. В. Гришин // Велосипедный транспорт. — 2020. — № 2. — С. 15–22.
45. Морозов, И. С. Правовое регулирование использования СИМ в Европе / И. С. Морозов // Право и государство. — № 9. — С. 60–66.
46. Романов, П. А. Городская мобильность: от транспорта к микромобильности / П. А. Романов. — Казань: КГАСУ, 2021. — 208 с.
47. Госавтоинспекция [Электронный ресурс]: Показатели состояния безопасности дорожного движения URL: <http://стат.гибдд.рф/> (дата обращения: 10.06.2024)
48. Зоркальцев, В. И. Мультипликативная модель выделения составляющих временных рядов / В. И. Зоркальцев, М. Н. Полковская // Сибирский журнал вычислительной математики. — 2022. — Т. 25, № 2. — С. 111–127.
49. Шейко, В. В. Методы проведения повторного исследования маркировочных обозначений автотранспортных средств / В. В. Шейко // Актуальные исследования. — 2023. — № 19-1(149). — С. 16–19.
50. Определение параметров управления на основании характеристик калиброванного автомобиля / А. Г. Локтионова, С. А. Гузенко, А. Г. Шевцова, А. Н. Новиков // Грузовик. — 2024. — № 4. — С. 48–54. — DOI 10.36652/1684-1298-2024-4-48-54.
51. Козлов, Д. В. Электромобили и персональные транспортные средства : учеб. пособие / Д. В. Козлов. — Новосибирск : СиБАДИ, 2020. — 156 с.
52. Лебедев, С. И. Электросамокаты: конструкция и эксплуатация / С. И. Лебедев. — М. : Машиностроение, — 174 с.

53. Нестеров, А. Б. Экологические последствия распространения СИМ / А. Б. Нестеров // Экология и промышленность России. — № 8. — С. 34–39.
54. Юнг, А.А. Анализ рынка распространенных моделей средств индивидуальной мобильности / А.А. Юнг, А.Г. Шевцова, Е.А. Новописный // В сборнике: Организация и безопасность дорожного движения. материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Тюмень: - 2021 - С. 84-88.
55. Соколов, Д. А. Экономическая эффективность микромобильности / Д. А. Соколов // Экономика инфраструктурных отраслей. — № 4. — С. 45–52.
56. Чирков, А. В. Микромобильность в системе общественного транспорта / А. В. Чирков // Транспортные системы. — 2021. — № 6. — С. 50–57.
57. Юнг, А.А. Обзор основных индивидуальных средств передвижения в городской среде / А.А. Юнг, А.Г. Шевцова, Н.В. Голубенко // В сборнике: Наука и образование: Актуальные вопросы теории и практики. Материалы Международной научно-методической конференции. Оренбургский институт путей сообщения. – Оренбург: - 2021 - С. 195-200.
58. Широков, Б. А. Проектирование велополос с учётом СИМ / Б. А. Широков // Дороги и мосты. — № 4. — С. 88–94.
59. Яковлев, С. Н. Умные технологии в управлении микромобильностью / С. Н. Яковлев // Интеллектуальные транспортные системы. — № 2. — С. 29–35.
60. Григорьев, А. А. Электросамокаты: тренды и перспективы / А. А. Григорьев // Технологии транспорта. — 2021. — № 7. — С. 12–18. Е. В. Культура использования СИМ в российских городах / Е. В. Демидова // Культура и образование. — 2022. — № 5. — С. 101–107.
61. Калинин, В. П. Энергетические характеристики электросамокатов / В. П. Калинин // Энергетика и транспорт. — 2020. — № 3. — С. 44–49.

62. Цветков, В. А. Цифровые платформы для аренды СИМ / В. А. Цветков // Информационные системы. — 2021. — № 5. — С. 66–72.
63. Тихонов, В. Г. Инфраструктура зарядных станций для СИМ / В. Г. Тихонов // Электрические станции. — 2023. — № 5. — С. 33–38.
64. Фролов, А. В. Микромобильность и здоровье населения / А. В. Фролов // Здравоохранение России. — № 9. — С. 41–46.
65. Пугачев, И. Н. Разработка планов устойчивой городской мобильности и цифровая трансформация в области организации дорожного движения, путь к дальнейшему развитию городов и страны в целом / И. Н. Пугачев, Д. В. Капский // Мир транспорта и технологических машин. — 2023. — № 3-2(82). — С. 92-99. — DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-92-99.
66. Лapidус, Л. В. Драйверы лояльности и потребительской удовлетворенности шеринговыми сервисами городской мобильности: каршеринг, райдшеринг, байкшеринг, кикшеринг / Л. В. Лapidус, А. О. Гостилович, И. С. Трофимов // Экономика и управление. — 2024. — Т. 30, № 3. — С. 321-335. — DOI 10.35854/1998-1627-2024-3-321-335.
67. Мягкова, С. Н. Государственное регулирование сферы кикшеринга на примере города Москвы / С. Н. Мягкова, Е. А. Шишова // Экономика и предпринимательство. — 2023. — № 1(150). — С. 404-407. — DOI 10.34925/EIP.2023.150.1.082.
68. Пospelова, Л. Н. Современное состояние и прогнозы развития транспортного комплекса России / Л. Н. Пospelова, Л. А. Рыжова // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2024. — № 5. — С. 52-56. — DOI 10.36535/0236-1914-2024-05-8.
69. Купавцев, В. А. О системности рассмотрения городского транспорта и городской мобильности / В. А. Купавцев, В. В. Донченко // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования : Материалы XIX Международной научно-практической конференции, Орёл, 24 апреля 2025

года. – Орёл: Орловский юридический институт МВД РФ им. В.В. Лукьянова, 2025. – С. 194-200.

70. Новиков, А. Н. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города / А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – Белгород-Орел : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 239 с. – ISBN 978-5-361-01180-3.

71. Юнг, А.А. Информационная модель движения средств индивидуальной мобильности в городской среде / А.А. Юнг // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. Сборник докладов Национальной конференции с международным участием. – Белгород: - 2022 - С. 434-438.

72. Юнг, А.А. Моделирование процесса движения средств индивидуальной мобильности в городской среде / А.А. Юнг, А.Г. Шевцова // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2022. - № 1 (31).

73. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 26 декабря 2024 г.) с изменениями и дополнениями, вступающими в силу с 1 марта 2025 г. // Собрание законодательства РФ. — 2005. — № 1 (ч. 1). — Ст. 16. — Режим доступа: <https://publication.pravo.gov.ru/document/42015029000190F> , свободный. — Загл. с экрана. — Дата обращения: 10.03.2024.

74. Новиков, А. Н. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, А. Г. Шевцова. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 108 с.

75. Донченко, Д. С. Прогнозирование степени тяжести последствий ДТП с использованием методов машинного обучения / Д. С. Донченко, Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2019. – № 4(31). – С. 176-180.

76. Кущенко, Л. Е. Прогнозирование ДТП как один из способов снижения смертности / Л. Е. Кущенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 2(81). – С. 67-73. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-67-73.

77. Юнг, А. А. Разработка математической модели прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности / А. А. Юнг // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 1(101). – С. 112-122. – DOI 10.26518/2071-7296-2025-22-1-112-122.

78. Influence of day period on the risk of pedestrian crashes / E. Pechatnova, I. Novikov, I. Kiryushin, E. V. Shatalov // Воронежский научно-технический Вестник. – 2023. – Vol. 3, No. 3(45). – P. 61-67. – DOI 10.34220/2311-8873-2023-61-67.

79. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках улично-дорожной сети города / А. Н. Новиков, Л. Е. Кущенко, С. В. Кущенко, И. А. Новиков // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 2(85). – С. 222-231. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-222-231.

80. Разработка подхода к анализу показателей аварийности региона / С. А. Евтюков, Ф. Н. Зейналов, Д. В. Митрошин [и др.] // Мир транспорта. – 2024. – Т. 22, № 1(110). – С. 74-85. – DOI 10.30932/1992-3252-2024-22-1-10.

81. Абрамов, А.В. Моделирование и прогнозирование аварийности на городских дорогах / А.В. Абрамов, С.А. Козлов // Автомобильные дороги. — 2021. — № 5. — С. 34–38.

82. Батищев, А.И. Методы статистического анализа и прогнозирования ДТП на автомобильных дорогах / А.И. Батищев // Вестник МАДИ. — 2020. — № 2 (61). — С. 12–21.

83. Васильев, А.С. Прогнозирование безопасности дорожного движения на основе анализа транспортных потоков / А.С. Васильев, Е.В.

Громова // Транспорт: наука, техника, управление. — 2022. — № 8. — С. 45–53.

84. Гринберг, Р.С. Оценка рисков и прогнозирование аварийности в транспортных системах / Р.С. Гринберг // Проблемы безопасности дорожного движения. — 2021. — № 3. — С. 56–63.

85. Замков, Д.С. Применение методов машинного обучения для прогнозирования ДТП в городских агломерациях / Д.С. Замков, И.П. Николаев // Информационные технологии в проектировании и управлении. — 2023. — № 1. — С. 77–85.

86. Петров, И.Н. Анализ факторов, влияющих на ДТП, и их использование в прогнозировании / И.Н. Петров // Экономика и транспорт. — 2021. — № 4. — С. 30–37.

87. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / A. Shviatsova, V. Shuts // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. — 2020. — №. 4. — Р. 349-352.

88. Якимов, М. Р. Оценка транспортной обеспеченности на основе прогнозных моделей / М. Р. Якимов // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15, № 6(73). — С. 6-19.

89. Наурас, С. Современные тенденции развития городской транспортной системы в Российской Федерации / С. Наурас // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. Вступление. Путь в науку. — 2019. — № 1(25). — С. 88-96.

90. Анализ и оптимизация городской транспортной системы / А. П. Беев, Ю. А. Меркулов, С. В. Перфильев, Н. И. Федотов // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. — 2015. — № 7(77). — С. 59-61.

91. Левицкая, Л. П. Стратегия развития городской транспортной системы / Л. П. Левицкая, М. А. Кретов // Экономика железных дорог. — 2016. — № 9. — С. 68-74.

92. Пути решения современных транспортных проблем крупных городов / М. В. Немчинов, А. С. Холин, В. Е. Федоров [и др.] // Транспортное строительство. – 2009. – № 1. – С. 6-9.

93. Донченко, В. В. Устойчивые городские транспортные системы : изменение парадигмы планирования и развития городского транспорта / В. В. Донченко. – Москва : Агентство Радар, 2023. – 402 с.

94. Донченко, В. В. Проблемы обеспечения устойчивости функционирования городских транспортных систем / В. В. Донченко. – Москва : ИКФ "Каталог", 2005. – 184 с.

95. Костин, А. В. Концепция создания автоматизированной системы для управления безопасностью дорожного движения на автодорогах региона / А. В. Костин, А. В. Маркин // Вестник НЦБЖД. – 2021. – № 4(50). – С. 93-102.

96. Куракина, Е. В. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе "Участник дорожного движения - Транспортное средство - Дорога - Внешняя среда" / Е. В. Куракина, А. А. Складова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 4(74). – С. 488-499. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499.

97. Ильина, И. Е. Индексы для оценки уровня безопасности дорожного движения в регионах / И. Е. Ильина, Е. Е. Витвицкий // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 1(101). – С. 68-77. – DOI 10.26518/2071-7296-2025-22-1-68-77.

98. Толстой, О. В. Метод повышения уровня безопасности местных автомобильных дорог / О. В. Толстой, А. Г. Шевцова // Научный портал МВД России. – 2024. – № 1(65). – С. 60-68.

99. Шевцова, А. Г. Валидность закона Смида в условиях реализации программы Vision Zero / А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 4(75). – С. 49-57. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-49-57.

100. Якимов А.Ю. Подходы к правовому регулированию использования отдельных разновидностей средств индивидуальной мобильности // Современная наука. 2021. N 5. С. 53 - 61.

101. План мероприятий ("дорожная карта"), направленных на дополнительное нормативно-правовое регулирование развития средств индивидуальной мобильности и обеспечение безопасности дорожного движения при их использовании (утв. Правительством РФ 11.10.2023 N 11752-П50-МХ) // СПС "КонсультантПлюс" (дата обращения: 01.02.2025).

102. Александров, А.А. Экономическая эффективность применения электрических самокатов в городском транспорте / А.А. Александров, Д.В. Козлов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2022. — № 4. — С. 12–19.

103. Бондаренко, А.В. Экономические аспекты интеграции средств индивидуальной мобильности в транспортные системы городов / А.В. Бондаренко // Вестник гражданских инженеров. — 2021. — № 6 (89). — С. 145–152.

104. Васильев, А.С. Устойчивая городская мобильность: экономические и экологические аспекты / А.С. Васильев, Е.Ю. Громова // Экономика города. — 2023. — № 2. — С. 78–89.

105. Гринберг, Р.С. Транспортная политика и экономика новых форм мобильности / Р.С. Гринберг // Проблемы прогнозирования. — 2021. — Т. 30, № 5. — С. 112–125.

106. Ковалёв, В.И. Оценка социально-экономического эффекта от внедрения микромобильности в городской среде / В.И. Ковалёв, Л.А. Миронова // Наука и транспорт. — 2022. — № 3. — С. 34–42.

107. Ненахов, А.А. Средства индивидуальной мобильности: вызовы и возможности для городской экономики / А.А. Ненахов // Городская среда. — 2023. — № 1. — С. 67–74.

108. Петров, И.Н. Экономика городской микромобильности: моделирование затрат и выгод / И.Н. Петров // Экономика транспорта. — 2022. — № 4. — С. 45–58.

109. Сидоров, К.Е. Электрические самокаты и велосипеды: экономический и экологический анализ / К.Е. Сидоров, Т.А. Лебедева // Экология и урбанистика. — 2021. — № 3. — С. 102–111.

110. Фролов, Д.А. Интегральная оценка эффективности транспортных инноваций / Д.А. Фролов // Вестник МАДИ. — 2023. — № 1 (72). — С. 23–31.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

(справочное)

Акты внедрения



БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ

МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
И ТРАНСПОРТА
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Белгород

АКТ

№ 8/14

15 апреля 2025 г.

внедрения результатов диссертационного исследования
«Повышение безопасности дорожного движения на городской улично-дорожной сети
с учетом средств индивидуальной мобильности»
Юнг Анастасии Алексеевны

Министерство автомобильных дорог и транспорта Белгородской области настоящим актом подтверждает, что результаты диссертационного исследования, полученные в ходе работ по теоретическому обоснованию использования средств индивидуальной мобильности в городских транспортных системах, а именно при натурном исследовании центральной территории г. Белгорода позволили определить протяженность путей сообщения для движения пассажирского транспорта, личного автомобильного транспорта и средств индивидуальной мобильности

Юнг Анастасией Алексеевной в результате исследований было установлено, что дороги общего пользования, по которым курсирует общественный транспорт г. Белгород, составляют 378 км. Общая протяженность всех дорог общего пользования, которые используются личным автомобильным транспортом, составляет 1350 км. Средства индивидуальной мобильности в большинстве случаев передвигаются по тротуарным, пешеходным и велосипедным дорожкам. Исходя из законодательных требований к движению средств индивидуальной мобильности была установлена протяженность путей сообщения - 289578 км. Таким образом установлено, что средства индивидуальной мобильности обладают высокими возможностями для движения в городской транспортной системе, ввиду большего количества маршрутов для движения в сравнении с общественным и личным автомобильным транспортом.

Полученные результаты были использованы при разработке проекта мероприятий по организации дорожного движения на городской улично-дорожной сети с учетом нового вида транспорта – средств индивидуальной мобильности.

Первый заместитель министра
автомобильных дорог и
транспорта Белгородской области

А. А. Погос

Продолжение приложения 1



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Костюкова ул., д.46, Белгород, 308012, тел.(4722)54-20-87, факс (4722)55-71-39.
 E-mail: rector@intbel.ru, <https://www.bstu.ru>

« 19 » 05 2025 г. № 8/н
 На № _____ от _____

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования «Повышение безопасности дорожного движения на городской улично-дорожной сети с учетом средств индивидуальной мобильности»
Юнг Анастасия Алексеевны

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» настоящим актом подтверждает что результаты диссертационного исследования Юнг Анастасии Алексеевны внедрены и используются в учебном процессе при изучении дисциплин – «Развитие и современное состояние мировой автомобилизации» и «Компьютерное моделирование транспортных систем» - направление 23.03.01 Технология транспортных процессов (образовательная программа Организация и безопасность движения); «Аналитические и численные методы решения организационно-управленческих задач» - направление 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (образовательная программа Сервис транспортных и транспортно-технологических машин).

Проректор по цифровой трансформации и образовательной деятельности



В.М. Поляков



ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ

**ДЕПАРТАМЕНТ ТРАНСПОРТА И РАЗВИТИЯ
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА МОСКВЫ**

Юридический адрес: Садовая-Самотечная улица, д. 1, ГСП-4, Москва, 127994
Фактический адрес: 1-й Красногвардейский пр., д. 21, стр. 1, ГСП-3, Москва, 125993
Телефон: 8(495) 539-54-54 (для организаций и граждан), <http://www.mos.ru/dt/>
ОКПО 20740408, ОГРН 1117746538084, ИНН/КПП 7704786030/770701001

21.08.2025 № б/н

на № _____ от _____

СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационного исследования «Повышение безопасности дорожного движения на городской улично-дорожной сети с учетом средств индивидуальной мобильности»
Юнг Анастасии Алексеевны**

Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы подтверждает, что результаты научных исследований Юнг Анастасии Алексеевны были использованы при разработке мероприятий по повышению безопасности дорожного движения на городской улично-дорожной сети с учетом нового вида транспорта – средств индивидуальной мобильности.

**Начальник Управления развития
дорожно-транспортной
инфраструктуры Департамента**

Д.К. Соколов



**МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«УПРАВЛЕНИЕ БЕЛГОРБЛАГОУСТРОЙСТВО»
(МБУ «УБГБ»)**

Николая Чумичова ул., 31а, г. Белгород, 308000
тел. (4722) 27-59-95, факс (4722) 27-34-87
e-mail: mbu_ubgb@mail.ru, http://mbuubgb.ru

«28» 08 2025 г. № 41-56/09/071
На № _____ от _____

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования «Повышение безопасности дорожного движения на городской улично-дорожной сети с учетом средств индивидуальной мобильности»

Юнг Анастасии Алексеевны

Муниципальное бюджетное учреждение «Управление Белгородблагостройство» (МБУ «УБГБ») настоящим актом подтверждает, что разработанная Юнг Анастасией Алексеевной информационно-цифровая (интеллектуальная) система повышения эффективности организации дорожного движения для средств индивидуальной мобильности в городских транспортных системах, на основе показателя безопасности дорожного движения основных объектов городской улично-дорожной сети была апробирована в масштабах г. Белгорода.

Разработанные программные модули, являющиеся основой системы: 1. Программа для обнаружения легковых автомобилей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024613437/ А.А. Юнг, А. Г. Шевцова. - №: 2024611871; заявл. 02.02.2024; опублик. 13.02.2024; 2. Программа для обнаружения пассажирского транспорта: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614447/ А.А. Юнг, А. Г. Шевцова. - №: 2024611882; заявл. 02.02.2024; опублик. 26.02.2024; 3. Программа для обнаружения грузового транспорта: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614150/ А.А. Юнг, А. Г. Шевцова. - №: 2024611861; заявл. 02.02.2024; опублик. 20.02.2024; 4 Программа для обнаружения средств индивидуальной мобильности: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687656 А.А. Юнг, А. Г. Шевцова. - №: 2023687101; заявл. 08.12.2023; опублик. 18.12.2023, позволили осуществить мониторинг транспортного потока и распознать новые средства передвижения – средства индивидуальной мобильности, что стало основой для выявления мест повышенной опасности и определения максимально разрешенной скорости для движения средств индивидуальной мобильности в таких местах.

**Генеральный директор
МБУ «УБГБ»**



С. Н. Шняков



Государственное казенное учреждение
города Москвы – Центр организации дорожного
движения Правительства Москвы

ул. Золоторожский Вал, д. 4, стр. 2, Москва, 111033,
Тел./Факс 8 (495) 361-79-40, 8 (495) 361-35-94
E-mail: codd@transport.mos.ru www.transport.mos.ru www.gucodd.ru

25.08.2025 № 01-24-16842/25

На № _____ от _____

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования «Повышение безопасности дорожного движения на городской улично-дорожной сети с учетом средств индивидуальной мобильности» Юнг Анастасии Алексеевны

Настоящим актом подтверждаю, что результаты диссертационного исследования, выполненного Юнг Анастасией Алексеевной в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова) внедрены в работе Государственного казенного учреждения города Москвы – Центр организации дорожного движения Правительства Москвы при осуществлении мониторинга дорожно-транспортной ситуации и распознавания новых средств передвижения – средств индивидуальной мобильности.

Вид внедренных результатов: информационно-цифровая (интеллектуальная) система повышения эффективности организации дорожного движения для средств индивидуальной мобильности в городских транспортных системах, на основе показателя безопасности дорожного движения основных объектов улично-дорожной.

Полученные результаты позволили ввести ограничения скорости движения прокатных электросамокатов вблизи транспортных посадочных узлов, в парках, скверах, жилых кварталах и на оживленных улицах.

**Заместитель руководителя
по мониторингу и управлению
движением ГКУ ЦОДД**



В.А. Баженов

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

(справочное)

Объекты интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2024613437

Детектор легковых транспортных средств

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Юнг Анастасия Алексеевна (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU)*

Заявка № **2024611871**
Дата поступления **02 февраля 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **13 февраля 2024 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Zubov

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023687656

Детектор участников дорожного движения

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Юнг Анастасия Алексеевна (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU)*




Заявка № 2023687101

Дата поступления 08 декабря 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 18 декабря 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности


Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2024614447

Детектор пассажирского транспорта

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Юнг Анастасия Алексеевна (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU)*



Заявка № **2024611882**
Дата поступления **02 февраля 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **26 февраля 2024 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Zubov

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2024614150

Детектор грузового транспорта

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Юнг Анастасия Алексеевна (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU)*

Заявка № **2024611861**
Дата поступления **02 февраля 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **20 февраля 2024 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов