

ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта
(ОАО «НИИАТ»)

На правах рукописи



КУПАВЦЕВ ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ДВИЖЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В
ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ**

Специальность 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы
страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
к.т.н., ст.н.с. Донченко В. В.

Москва 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. МЕСТО И РОЛЬ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ КАК ТРАНСПОРТА ПОСЛЕДНЕГО КИЛОМЕТРА В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ	13
1.1 ГОРОДСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ИХ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ МОБИЛЬНОСТИ.....	13
1.2 АНАЛИЗ РОЛИ И МЕСТА ТРАНСПОРТА ПОСЛЕДНЕГО КИЛОМЕТРА В СТРУКТУРЕ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	17
1.3 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ ИНТЕГРАЦИИ ТПК В ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ ГОРОДА.....	22
1.4 АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ФОРМ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТА ПОСЛЕДНЕГО КИЛОМЕТРА	26
1.5 АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ	29
1.6 ТИПИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ.....	38
1.7 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИМ В УСЛОВИЯХ ГОРОДОВ.....	40
1.8 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	41
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ БДД СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ	43

2.1 АНАЛИЗ ОПЫТА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ СИМ ЗА РУБЕЖОМ	43
2.2 СОСТОЯНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ СИМ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	51
2.3 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ СИМ.....	55
2.4 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	57
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ДТП С УЧАСТИЕМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ ...	59
3.1 РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ СИМ	59
3.2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ С УЧАСТИЕМ СИМ	64
3.3 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКА ГИБЕЛИ ПЕШЕХОДА ПРИ НАЕЗДЕ НА НЕГО СИМ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ ДВИЖЕНИИ ПО ПЕШЕХОДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ	71
3.4 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НОРМИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СИМ ПО УСЛОВИЯМ РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ	80
3.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	91
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ СИМ ПО ПЕШЕХОДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ И ТЯЖЕСТИ СОВЕРШАЕМЫХ НАЕЗДОВ НА ПЕШЕХОДОВ	92
4.1 ПРОВЕДЕНИЕ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ.....	92
4.2 ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СИМ ОТ ПЛОТНОСТИ ПЕШЕХОДНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕШЕХОДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ.....	97

4.3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯЖЕСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ НАЕЗДА СИМ НА ПЕШЕХОДОВ	100
4.4 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4	108
ГЛАВА 5. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ СИМ КАК ТРАНСПОРТА ПОСЛЕДНЕГО КИЛОМЕТРА В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ	109
5.1 МОДЕЛИРОВАНИЕ СПРОСА НА ПОЕЗДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМ В РЕЖИМЕ ТПК И ХАРАКТЕРИСТИК ДАННОГО ВИДА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНО-ПЕШЕХОДНОЙ СЕТИ МИКРОРАЙОНА ПАВШИНСКАЯ ПОЙМА	109
5.2 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ОТДЕЛЬНО ВЫДЕЛЕННОЙ ПОЛОСЫ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ СИМ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ БРЕСТСКОЙ УЛИЦЫ (Г. МОСКВА)	118
5.3 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ОТДЕЛЬНО ВЫДЕЛЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ СИМ (НА ПРИМЕРЕ БРЕСТСКОЙ УЛИЦЫ, Г. МОСКВА)	124
5.4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИМ В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	127
5.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	132
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	136
ПРИЛОЖЕНИЯ	152

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современные городские транспортные системы представляют собой сложные многоуровневые структуры, включающие различные взаимодействующие виды транспорта, их инфраструктуру, различных пользователей транспорта, системы управления перевозками и движением. В качестве неотъемлемой части городских транспортных систем в последние годы как в сфере пассажирских, так и в сфере грузовых перевозок все в большей мере рассматривается т.н. «транспорт последнего/первого километра» (ТПК) – различные транспортные средства, предназначенные для бесперебойной доставки пользователей транспорта и товаров на последних/первых этапах транспортных цепочек – между транспортной инфраструктурой традиционных видов городского транспорта и конечными пунктами назначения поездки/перевозки. Эти транспортные средства активно используются также и для прямых поездок/перевозок в городских условиях на относительно короткие расстояния (не более 5-7 км).

В транспортном планировании и управлении цепочками поставок под последним километром (милей) понимается последний этап пути, включающий перемещение пассажиров и товаров от транспортного узла до конечного пункта назначения. Сегодня ТПК необходимо рассматривать в качестве одного из важных элементов транспортной системы городов, требующего комплексного подхода к организации и управлению движением соответствующих транспортных средств в традиционной городской среде. Транспорт последнего километра уже в значительной мере интегрирован в транспортные системы российских городов и проблемы, связанные с его использованием (в первую очередь, проблема обеспечения безопасности движения соответствующих транспортных средств), подлежат постоянному мониторингу, контролю и поиску решений. Это соответствует задачам выполнения национальных целей развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года, утвержденных Указом Президента

РФ от 07.05 2024 г. №309, и, в частности, таким целям, как «а) сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей, поддержка семьи» и «в) комфортная и безопасная среда для жизни». Для обеспечения эффективного и безопасного функционирования ТПК необходима разработка специализированных правил движения, создание безопасной инфраструктуры для их передвижения, а также внедрение соответствующих систем контроля, что позволит упорядочить их использование в качестве полноценной подсистемы городских транспортных систем. В свою очередь эти задачи требуют соответствующего научного обоснования, профессионального управления и технического обеспечения.

Хотя первоначально ТПК получил развитие в сфере перевозок грузов и товаров как завершающий этап логистических цепочек, на которых груз или товар доставляется от ближайшего склада, торговой организации или распределительного центра до двери покупателя, в настоящее время наибольшая динамика использования ТПК наблюдается в сфере перевозок населения. Во всем мире и в Российской Федерации растет спрос жителей городов на использование различных средств индивидуальной мобильности (СИМ), как важного элемента ТПК. Особое распространение использование СИМ получило именно в городах в условиях недавней пандемии COVID-19, что было обусловлено возможностью социального дистанцирования пользователей и снижением социальной напряженности при пользовании различными видами пассажирского транспорта общего пользования (ПТОП). К преимуществам использования многих СИМ следует отнести удобство и простоту их эксплуатации, а также возможность компактной и бесплатной парковки в условиях городской застройки. Важным фактором является и то, что использование СИМ (и велотранспорта) в определенной мере снижает загруженность улично-дорожной сети (УДС) и ПТОП за счет перераспределения на них части транспортного спроса. Использование ТПК в целом (пассажирского и грузового) способствует формированию многообразной и гибкой городской транспортной системы, отвечающей

современным требованиям доступности и эффективности. Несмотря на явные преимущества использования ТПК (и, в частности, СИМ) в городской среде, его активная эксплуатация вызывает рост аварийности. Так, в результате движения СИМ на дорогах возникают различные типы ДТП: наезды транспортных средств на СИМ, наезды СИМ на пешеходов, падения и наезды на препятствия с участием самих пользователей СИМ. Таким образом, интеграция СИМ в городскую транспортную систему требует комплексного подхода к оценке и управлению рисками, связанными с эксплуатацией соответствующих транспортных средств. С целью снижения рисков, связанных с использованием СИМ в городских условиях (в первую очередь – СИМ и коммерческих транспортных средств на их основе), а также повышения безопасности движения, как для самих водителей такого вида транспорта, так и для других участников движения, требуется научное обоснование условий обеспечения надежной и безопасной эксплуатации соответствующих транспортных средств (ТС) в рамках городских транспортных систем, включая разработку требований к их активной и пассивной безопасности и требований к используемой ими дорожной инфраструктуре, что в совокупности и определяет актуальность темы исследования.

Цель работы – повышение эффективности и безопасности движения средств индивидуальной мобильности как компонента городской транспортной системы.

Для достижения цели были поставлены следующие взаимосвязанные **задачи**:

1. Обосновать место и роль средств индивидуальной мобильности как транспорта последнего километра в городской транспортной системе;
2. Выполнить анализ методов и средств решения проблем повышения безопасности дорожного движения средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе;

3. Разработать теоретические модели оценки рисков дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности;

4. Выполнить экспериментальные исследования характеристик движения средств индивидуальной мобильности по пешеходной инфраструктуре и тяжести совершаемых наездов на пешеходов;

5. Обосновать эффективность мероприятий по внедрению средств индивидуальной мобильности как транспорта последнего километра в городской транспортной системе.

Объект исследования – средства индивидуальной мобильности как компонент городской транспортной системы.

Предмет исследования – движение средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе.

Диссертационное исследование направлено на решение **научной задачи**, заключающейся в повышении безопасности использования средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе.

Рабочая гипотеза, состоит в том, что активная и пассивная безопасность средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе является определяющим фактором при разработке требований к обеспечению безопасности функционирования средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе.

Научная новизна заключается в:

1. Обосновании роли и места транспорта последнего километра как подсистемы городского транспорта.

2. Разработке новой классификации средств индивидуальной мобильности по полной массе транспортного средства (транспортного средства и оператора) и мощности привода.

3. Разработке теоретической модели оценки риска наезда средства индивидуальной мобильности на пешехода с учетом плотности движения пешеходного потока.

4. Разработке теоретической модели нормирования безопасной скорости движения средства индивидуальной мобильности.

5. Получении результатов экспериментов, характеризующих:

- профиль пользователя и характеристики использования средства индивидуальной мобильности как транспорта последнего километра;

- зависимость средней скорости движения средства индивидуальной мобильности от плотности пешеходного движения на пешеходной инфраструктуре;

- тяжесть последствий наезда средства индивидуальной мобильности на пешеходов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Средства индивидуальной мобильности (СИМ) являются самостоятельной подсистемой городской транспортной системы в составе транспорта последнего километра, выполняющей ключевые функции в мультимодальных пассажирских и грузовых цепочках, что требует разработки специализированных подходов к их интеграции, регулированию и обеспечению безопасности.

2. Разработанная классификация СИМ по полной массе (включая оператора) и мощности привода позволяет систематизировать разнообразные типы устройств, обоснованно дифференцировать требования к их активной и пассивной безопасности, а также формировать нормативно-техническую базу для регулирования их использования в городской среде.

3. Теоретическая модель оценки риска наезда СИМ на пешехода, учитывающая плотность пешеходного потока и скоростные характеристики движения, позволяет количественно прогнозировать частоту и тяжесть ДТП при совмещённом использовании пешеходной инфраструктуры и обосновывать безопасные режимы движения СИМ.

4. Модель нормирования безопасной скорости движения СИМ, основанная на анализе взаимодействия с элементами городской инфраструктуры (бордюры, неровности и др.), показывает, что ограничение

скорости до 13 км/ч на пешеходных зонах и до 20 км/ч на проезжей части минимизирует риск опрокидывания и травмирования как пользователей СИМ, так и пешеходов, особенно детей.

5. Комплекс мероприятий по повышению безопасности СИМ, включающий создание выделенной инфраструктуры, ограничение скорости и применение цифровых средств контроля, является технико-экономически эффективным: срок окупаемости инвестиций в организацию выделенных полос составляет менее 1,5 лет за счёт снижения социально-экономического ущерба от ДТП.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций и мероприятий по повышению безопасности городской транспортной системы с учетом движения средства индивидуальной мобильности на улично-дорожной сети.

Разработанная модель, описывающая риск гибели пешехода в результате наезда средства индивидуальной мобильности с учетом плотности движения пешеходов, может быть использована при дальнейших исследованиях в области организации дорожного движения и обеспечения безопасности дорожного движения в городской транспортной системе.

Результаты исследования с использованием разработанных подходов к оценке безопасности движения средства индивидуальной мобильности в городской транспортной системе найдут практическое применение:

- в проектных организациях - при разработке проектов реконструкции улиц и дорог, а также организации дорожного движения;

- в региональных и муниципальных органах власти и подведомственных им организациях, ответственных за управление транспортом, при проведении анализа безопасности дорожного движения и планировании городской инфраструктуры;

- образовательных учреждениях.

Степень разработанности темы исследования. Наибольший вклад в исследование проблем БДД и ОДД внесли следующие отечественные и зарубежные ученые:

– в области планирования и моделирования движения транспортных потоков и перевозок – В.М. Власов, В.Д. Герами, А.Э. Горев, В.А. Гудков, Д. Дрю, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г.И. Клинковштейн, В.А. Корчагин, В.Г. Кочерга, А.Н. Красников, Е.М. Лобанов, Л.Б. Миротин, Н.А. Наумова, Ю.А. Попов, Ю.Н. Ризаева, В.Г. Санков, В.В. Сильянов, А.И. Солодкий, В.В. Столяров, И.В. Спирин, Ю.В. Трофименко, А.В. Шабанов, М.Р. Якимов, В. Kerner, R. Herman, F. Height и др.;

– в области ОДД и БДД – М. Б. Афанасьев, Д. Дрю, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, С. В. Еремин, Г.И. Клинковштейн, В. А. Корчагин, Ю.А. Кременец, Е.М. Лобанов, А.Ю. Михайлов, А.Н. Новиков, И. А. Новиков, В.В. Сильянов, А.Г. Шевцова, A.J. Miller, R.W. Stokes и др.

Анализ российских и зарубежных работ по проблематике диссертации выявил недостаточную степень разработанности темы исследования вследствие ее относительной новизны.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте, пунктам 5 «Принципиально новые виды городского транспорта, технологии обеспечения городской мобильности» и пункту 11 «Надежность и безопасность функционирования транспортных систем, управление рисками».

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на форумах и конференциях: Международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте» (Вологда, 2020, 2021, 2022), 79-ой Научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (Москва, 2021), XIV Национальная научно-практическая конференция «Организация и безопасность движения» (Тюмень, 2021), Международная научно-техническая конференция «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2022), VII Международная научно-

практическая конференция «Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков» (Ростов-на-Дону, 2023), 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (Липецк, 2022), 100+ TechnoBuild (Международная строительная неделя в Екатеринбурге) сессия III форума «Комфортная городская среда»: Город для пешехода (Екатеринбург, 2024).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 14 статьях, в том числе 4 - в ведущих изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 2 в изданиях, включенных в зарубежные аналитические базы данных SCOPUS и WoS.

ГЛАВА 1. МЕСТО И РОЛЬ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ КАК ТРАНСПОРТА ПОСЛЕДНЕГО КИЛОМЕТРА В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

1.1 Городские транспортные системы их роль в обеспечении мобильности

Современные мегаполисы сталкиваются с ростом численности населения, увеличением плотности застройки и усилением транспортной нагрузки на УДС. Одним из ключевых вызовов ГТС является обеспечение высокой пропускной способности при одновременном снижении уровня загрязнения окружающей среды и повышении качества жизни горожан.

Развитие экономики и рост урбанизации общества приводит к росту спроса на передвижения и перевозки (пассажиров, грузов) в городах, который обобщается понятием «транспортный спрос». Необходимость удовлетворения транспортного спроса, в свою очередь, вызывает развитие «транспортного предложения» - провозных и пропускных способностей городского транспорта (ГТ). Большая российская энциклопедия определяет городской транспорт как «комплекс различных видов транспорта, осуществляющих перевозку населения и грузов на территории города и в ближайшей пригородной зоне, а также выполняющий работы по благоустройству города» [1].

В качестве видов городского транспорта традиционно рассматриваются: автомобильный (легковой и грузовой, а также пассажирский транспорт общего пользования) транспорт, городской наземный электрический транспорт общего пользования, метро и городская железная дорога, водный транспорт, канатные дороги и фуникулеры и др. Однако, надо отметить, что рассмотрение городского транспорта только как комплекса (совокупности) различных объектов

различных видов транспорта, функционирующих в городах, не учитывает особенностей ГТ, как сложной системы:

- наличие нескольких целей (возможно даже конфликтующих, как, например, повышение скорости сообщения и обеспечение безопасности движения);
- сложность и многоаспектный характер взаимодействия элементов ГТ (во многом определяемый вероятностным характером транспортного поведения пользователей);
- интегрированность и регулярное взаимодействие элементов системы ГТ;
- наличие системного эффекта (эмерджентности), выражающегося в повышении эффективности системы ГТ за счет организации взаимодействия отдельных ее элементов/подсистем.

Городские транспортные системы объединяют различные виды транспорта/передвижения, которые должны рассматриваться как ее *подсистемы* - относительно независимые части системы ГТ, обладающие общими свойствами этой системы. Основными требованиями к выделению отдельных подсистем ГТ являются:

- связь их подцелей с общей целью системы ГТ (все вышеуказанные цели ГТС являются и целями ее отдельных подсистем);
- использование различных видов транспорта/передвижения при общем единстве процессов, направленных на достижение подцелей;
- взаимосвязь как отдельных элементов выделяемых подсистем, так и самих подсистем в целом.

В соответствии с изложенным, в качестве подсистем системы ГТ традиционно рассматриваются [3, 4]:

- наземный пассажирский транспорт общего пользования (ПТОП) (который, в свою очередь, подразделяется на автомобильный и наземный городской электрический);
- личный автотранспорт;

- грузовой автомобильный транспорт;
- метро.

Все эти подсистемы имеют общий объект воздействия – передвижения людей и грузов в городской среде. Можно сказать, что основной функцией городской транспортной системы, реализуемой через ее подсистемы, является обеспечение **городской мобильности – возможности свободного передвижения по городу с разными целями** (на работу, учёбу, по делам, для отдыха и развлечений), а также возможности доставки грузов и товаров, необходимых как для функционирования городской экономики, так и для повседневных нужд населения. Мобильность может быть обеспечена как унимодальными перевозками, т. е. перевозками одним видом транспорта, так и мультимодальными перевозками, т. е. осуществляемыми разными видами транспорта. Подсистемы ГТ взаимодействуют в процессе организации мультимодальных перевозок/поездов.

Сегодня на рынке транспортных услуг происходят значительные изменения, которые подкрепляются новыми, технологически ориентированными сервисами. Эти сервисы предоставляют клиентам возможность доступа к услугам по требованию через цифровые мобильные платформы, что во многих случаях ставит под сомнение необходимость владения личными автотранспортными средствами.

Основные современные тенденции трансформации транспортного рынка:

- Переход к мобильным сервисам по требованию: использование сервисов краткосрочной аренды ТС (каршеринг, кикшеринг); мультимодальные транспортные приложения; системы общего пользования (shared mobility) и др.

- Развитие технологической составляющей: мобильные приложения для управления транспортом; интеграция с системами умного города; использование больших данных для оптимизации маршрутов; внедрение систем ИИ и др.

- Повышение эффективности функционирования транспортной сети: оптимизация использования существующих ресурсов пропускной способности; снижение нагрузки на дорожную инфраструктуру; уменьшение времени в пути; повышение доступности транспортных услуг и др.

- Развитие мультимодальности: интеграция различных видов транспорта; создание ЕПС; разработка комплексных маршрутов; обеспечение бесшовной пересадки между различными видами транспорта и др.

- Изменение потребительских предпочтений: переход от владения к доступу; рост спроса на гибкие транспортные решения; повышение экологической осознанности; ориентация на удобство и эффективность и др.

Эти изменения формируют новую парадигму городской мобильности, где использование традиционных личных автотранспортных средств постепенно заменяются новыми предложениями продуктов и услуг. Это создает более эффективную транспортную сеть и облегчает интеграцию различных транспортных услуг, обеспечивая пользователей комфортным и удобным путем из точки А в точку Б. В результате происходит формирование устойчивой транспортной экосистемы, характеризующейся: повышенной гибкостью транспортных решений; оптимизацией использования ресурсов; снижением негативного воздействия на окружающую среду; повышением качества транспортных услуг; интеграцией с цифровыми технологиями и др. [2-18].

Таким образом, современная трансформация транспортного рынка представляет собой комплексный процесс, направленный на создание более эффективной, удобной и экологически устойчивой системы городской мобильности.

Во многих случаях в городах возникает проблема доставки пассажиров и грузов «от двери до двери», т.е. проблема т.н. «последнего/первого километра», которая, как правило, не решается в рамках функционирования традиционных подсистем городского транспорта и может в значительной мере снижать эффективность и качество транспортного обслуживания населения и

экономики города. Это привело к появлению нового понятия – «транспорт последнего километра» (ТПК).

1.2 Анализ роли и места транспорта последнего километра в структуре городских транспортных систем

Последний километр (миля) в управлении цепочками поставок и транспортном планировании – это последний этап пути, включающий перемещение людей/пассажиров и товаров от транспортного узла до конечного пункта назначения. Концепция «последнего километра/ мили» была заимствована из телекоммуникационной отрасли, которая столкнулась с трудностями при подключении отдельных домов к магистральной телекоммуникационной сети. Аналогичным образом, в управлении цепочками поставок последний километр описывает логистические проблемы на последнем этапе транспортировки, при доставке людей и грузов из транспортных узлов в конечные пункты назначения.

Транспорт последнего километра (ТПК) имеет все признаки новой полноценной подсистемы системы городского транспорта:

- он имеет ту же цель, что и система ГТ в целом – обеспечение транспортного обслуживания населения и экономики города (услуги по доставке товаров), обеспечение связанности городских территорий, снижение негативных воздействий на состояние окружающей среды и здоровье населения;

- у него тот же объект воздействия - передвижения людей и грузов/товаров в городской среде;

- он располагает множеством элементов (транспортных средств), инфраструктурой для движения (совместно используемой с другими участниками движения), системой управления (для прокатных/шеринговых ТС);

- для него разработаны (или разрабатываются) отдельные механизмы законодательного и нормативно-правового регулирования их использования;
- транспортные средства ТПК принципиально отличаются от транспортных средств других подсистем системы ГТ (ТС, предназначенные для личного использования, 2-3 колеса, малая масса, относительно невысокая скорость передвижения, электропривод или мускульный привод и др.);
- он активно взаимодействует с другими подсистемами системы ГТ в рамках организации мультимодальных поездок/перевозок.

Транспортные средства ТПК уже сегодня являются компонентами единой мультимодальной системы логистики пассажирских перевозок [15]:

- обеспечивая подвоз пользователей/жителей города от дома к остановкам общественного транспорта или автомобильным парковкам и обратно;
- обеспечивая безостановочное (бесперебойное) движение от двери до двери, что не обеспечивается в современных городских транспортных системах личным автомобильным транспортом и пассажирским транспортом общего пользования;
- обеспечивая подвоз пользователей/жителей города от одного городского транспортного узла к другому, обеспечивая тем самым относительно быстрое сообщение между данными типами транспортных узлов (рис. 1).

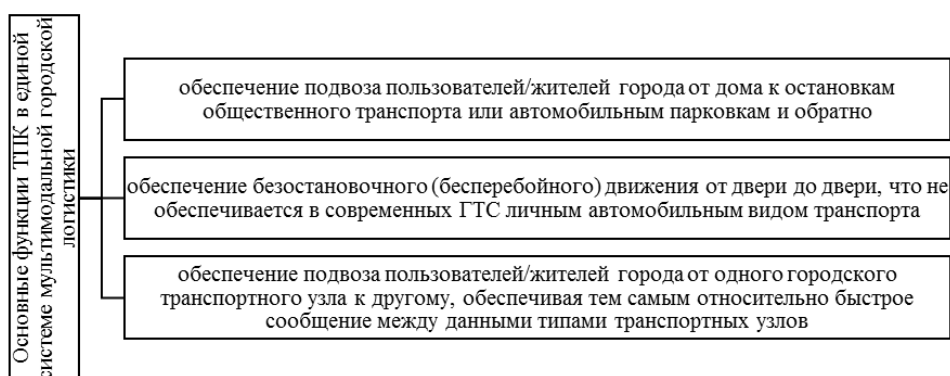


Рисунок 1 – Основные функции ТПК в единой системе мультимодальной городской логистики

В части грузовых перевозок традиционная доставка автотранспортом в условиях города сталкивается с рядом ограничений: пробки, ограниченное количество парковочных мест, высокий уровень выбросов CO₂, длительные временные задержки. Логистика «последнего километра» — это заключительный этап доставки, который часто оказывается наиболее затратным и трудоемким [13-40]. По данным исследований, этот этап может составлять до 30% общей стоимости доставки. В условиях города традиционная доставка крупногабаритным транспортом сталкивается с рядом ограничений: пробки, ограниченное количество парковочных мест, высокий уровень выбросов CO₂, длительные временные задержки. ТПК предлагает решение этих проблем благодаря своей компактности и возможности маневрировать в плотной городской застройке. В сфере курьерской доставки товаров электросамокаты демонстрируют более высокую скорость перемещения в условиях плотного городского трафика по сравнению с использованием автотранспорта. Новые виды транспорта могут свободно двигаться по улицам, при определенных условиях использовать тротуары и велодорожки, а также быстро находить места для парковки. Благодаря этим качествам ТПК все чаще используются в курьерской доставке, особенно в сценариях, где требуется оперативная и точечная доставка [70].

Примеры успешного применения ТПК в логистике «последнего километра» или «последней мили» в зарубежных странах, можно наблюдать в крупных городах Европы, США и Азии. Так, сервисы доставки еды активно внедряют электросамокаты в свои транспортные парки, что позволило снизить среднее время доставки и увеличить число заказов на одного курьера. В России также наблюдается рост интереса к использованию ТПК в логистических задачах, особенно в Москве, Санкт-Петербурге и других крупных городах.

Однако для эффективного использования ТПК в грузовой логистике необходимо учитывать ряд факторов:

- ограничения по грузоподъемности;

- зависимость от зарядки аккумулятора;
- необходимость выделенных зон хранения ТС и их зарядки;
- интеграция с цифровыми платформами управления доставкой.

Важно, чтобы ТПК не рассматривался как изолированный элемент, а был частью комплексной транспортной стратегии, ориентированной на повышение общей устойчивости и доступности городской мобильности, что требует тщательной проработки данного вопроса и в первую очередь его теоретического обоснования, в том числе анализа их активной и пассивной безопасности.

На рисунке 2 показано место ТПК как новой подсистемы общей структуры системы городского транспорта.



Рисунок 2 – Место подсистемы ТПК в общей структуре системы городского транспорта

В последние годы в части перевозок товаров и грузов доставка «последнего километра/мили» становится всё более изучаемой областью в связи с ростом числа доставок «бизнес-потребитель» (B2C), особенно со стороны компаний электронной торговли в сфере грузоперевозок. В грузовых сетях посылки могут быть эффективно доставлены в центральный терминал различными видами магистрального транспорта, но затем их необходимо погрузить в более мелкие транспортные средства для доставки отдельным

клиентам. К числу проблем доставки грузов «последнего километра» относятся минимизация затрат (а затраты «последнего километра» доставки могут достигать 50% от общей стоимости перевозки товаров), обеспечение прозрачности, повышение эффективности и улучшение инфраструктуры. Проблема последнего километра также может включать в себя трудности доставки в городских районах. Доставка в розничные магазины, рестораны и другие торговые точки, доставка отдельным клиентам в центральном деловом районе часто приводит к заторам и проблемам безопасности. Для эффективного использования ТПК в логистике необходимо учитывать ряд факторов:

- ограничения ТС по грузоподъемности;
- зависимость от зарядки аккумулятора;
- необходимость выделенных зон хранения и зарядки;
- интеграция с цифровыми платформами управления доставкой.

Понятие «последнего километра» и «транспорта последнего километра» в полной мере относится и к перевозкам людей. Причем это направление в условиях роста транспортного спроса населения в городах и роста мобильности населения приобретает все большую актуальность. Понятие «последнего километра/мили» описывает трудности с доставкой людей из транспортного узла, особенно станций метро, железнодорожных станций, от автобусных станций/остановок в конечный пункт назначения. Когда пользователи испытывают трудности с передвижением из своего начального местоположения до транспортных узлов/остановок сети ПТОП, ситуацию можно также назвать «проблемой первого километра». Во многих странах модели нерациональных схем землепользования привели к перемещению рабочих мест и людей в периферию городов и пригороды, где часто не обеспечивается пешеходная доступность существующих маршрутов ПТОП. Поэтому использование населением общественного транспорта в этих районах часто затруднено. Это способствует росту зависимости от легковых автомобилей, что, в свою очередь, приводит к увеличению пробок,

загрязнению окружающей среды и разрастанию городов. В этих условиях решение проблемы последнего/первого километра в общественном транспорте использование различных транспортных средств, обеспечивающих индивидуальную мобильность пользователей.

Транспортные средства ТПК могут также успешно использоваться не только в составе пассажирских и грузовых транспортных цепочек (как их начальные, конечные и промежуточные звенья), но и в качестве самостоятельного вида транспорта для индивидуальных поездок на относительно небольшие расстояния – до 3-5 км (например, поездки за покупками, в социальные учреждения и др.).

1.3 Анализ современных тенденций интеграции ТПК в транспортную систему города

Исторически сложившая застройка городов формируется с учетом функционирования традиционных подсистем городских транспортных систем - пассажирского транспорта общего пользования, личного автотранспорта, системы грузового транспорта. С другой стороны, и сам характер городской застройки в свою очередь оказывает влияние на формирование городской транспортной системы, формирование ее инфраструктуры. Инфраструктура традиционных видов транспорта не может обеспечить транспортную доступность для всех пользователей – жителей, объектов городской экономики, бизнеса. Необходимость продления транспортных цепочек до всех пользователей и всех объектов притяжения транспортного спроса определяет необходимость развития ТПК и включения его в городскую транспортную систему. Развитие новых видов мобильности, обеспечивающих доставку в пределах последнего/первого километра (т.е. «от двери до двери»), определяется следующими факторами:

1. Общим ростом транспортного спроса населения и мобильности, которые связаны с ростом территории городов и определяется их

градостроительно-планировочной структурой, характером застройки территорий, размещением производственных объектов и т.д. [40, 41]. Существует фундаментальное правило [47]: интенсивность поездок обратно пропорциональна расстоянию между точками генерации транспортного спроса и его поглощения. При этом жители предпочитают минимизировать временные затраты на дорогу, выбирая относительно короткие маршруты и соответственно новые виды транспорта. Здесь им может помочь ТПК, позволяющий построить кратчайшие маршруты поездок.

2. Структурой поездок, которые демонстрирует интересную закономерность: в крупных городах наиболее часты поездки на средние расстояния (3–7 км), что можно объяснить тем, что значительная часть жителей не имеет возможности проживать в пешеходной доступности от мест работы или учебы, что развивает спрос на перемещения от мест проживания до остановочных пунктов или транспортных узлов ПТОП, например, таких, как станции метро, или непосредственно до пунктов назначения. Именно эти задачи реализует ТПК.

3. Временными ограничениями, которые являются одними из определяющих при формировании мобильности. Существует четкая обратная зависимость между продолжительностью поездок и их частотой. Критическим порогом является 60-минутная отметка: при превышении этого времени происходит резкое сокращение количества поездок [47]. Использование новых форм мобильности позволяют построить более короткие и быстрые маршруты к новым точкам притяжения, альтернативным тем, которые обслуживаются традиционными видами транспорта и не позволяют уложиться в оптимальные временные пределы.

4. Транспортной доступностью, на которую напрямую влияют границы городской мобильности [45-47]. Чем выше скорость сообщения, тем большую территорию можно охватить за оптимальное время (до 1 часа), что позволяет связать более обширные пространства с центром города интенсивными потоками перемещений. Но в это «оптимальное время» входит и время,

затрачиваемое на перемещения от мест проживания/конечных пунктов назначения до ближайших остановок ПТОП. В современных городах, такую доступность ПТОП обеспечивает ТПК (рис. 3).

Представленная схема наглядно отражает влияние ранее перечисленных факторов на использование новых видов мобильности, таких как использование средств индивидуальной мобильности (СИМ) и других типов ТПК (велотранспортные средства, кар-шеринг, мототранспорт, скутеры и т.д.) (рис. 3).



Рисунок 3 – Факторы, оказывающие влияние на пользование ТПК

Эффективность использования городской транспортной сети с учетом интеграции в нее подсистемы ТПК может быть оценена с использованием целевого показателя функционирования транспортной системы крупного города, предложенного М.Р. Якимовым и Ю. В. Трофименко [56-58]. В качестве целевого показателя функционирования транспортной системы крупного города ими предложено рассматривать среднее время реализации транспортных корреспонденций, выражающее среднее время, затрачиваемое одним человеком на совершение одной транспортной корреспонденции:

$$t_{cp} = \sum_{i,j} t_{ij} \sum_{i,j} x_{ij} \quad (1)$$

где

$$t_{ij} = \frac{\sum_k t_{kij} \sum_k x_{kij}}{\sum_k x_{kij}}$$

$$x_{ij} = \sum_k x_{kij}$$

x_{ij} – элементы матрицы корреспонденций; t_{ij} – элементы матрицы затрат, рассчитываемых как средневзвешенное от загруженности отдельных звеньев сети; x_{kij} – загруженность пути номер k из района i в район j ; t_{kij} – время пути номер k из района i в район j в загруженной сети.

Исходя из расположенности основных городских остановочных пунктов на маршрутах ПТОП и с учетом появления новой подсистемы ТПК и обеспечения ею потребностей жителей в перемещениях на короткие расстояния можно оценить средние затраты времени на суточные передвижения в пределах городских районов и сравнить их средними нормативами на передвижения, представленными в таблице 1 [47, 56-58].

Таблица 1 – Средние затраты времени на суточные передвижения (минут)

Вид передвижения	Среднее время
Пешком	20,5
Легковой автомобиль	30,6
Автобус	46,5
Метро	17,5
Двухколесный транспорт (велосипед)	21,5
Средство индивидуальной мобильности	22,5

С учетом топологии маршрутной сети ПТОП, размещения основных остановок и пересадочных пунктов и доступности рассматриваемых видов транспорта можно отметить, что ТПК, как новый вид транспорта, является довольно эффективным и привлекательным решением повышения транспортной доступности в ГТС.

1.4 Анализ отечественного и зарубежного опыта внедрения новых форм городской мобильности, реализующих задачи транспорта последнего километра

В настоящее время для многих развитых стран, например, таких как Германия, Испания, Франция, Италия, Польша, Португалия и Россия характерен высокий уровень автомобилизации (рис. 4).

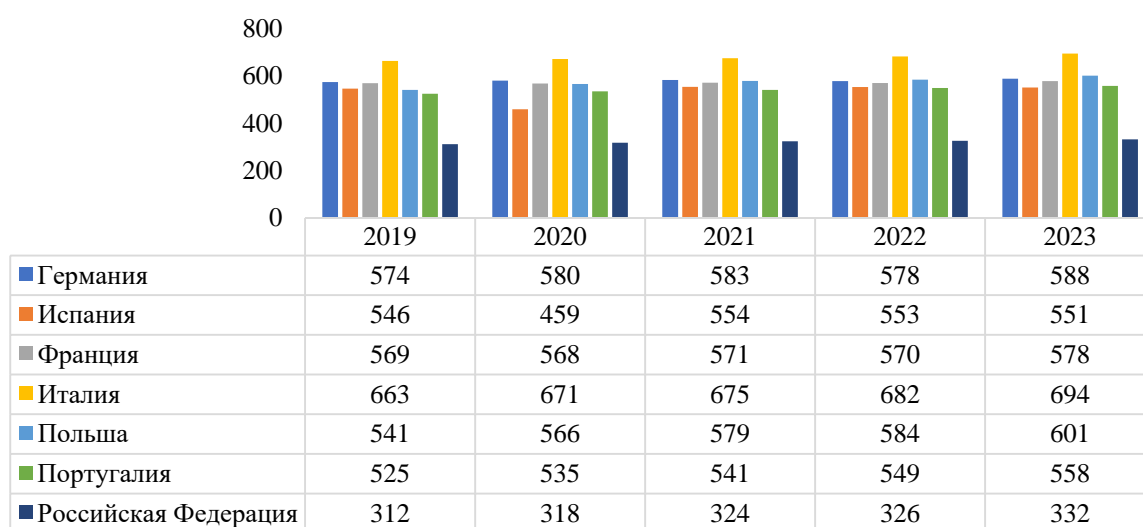


Рисунок 4 – Число легковых автомобилей на 1000 жителей для некоторых европейских стран и Российской Федерации за период 2019–2023 гг.

Увеличение количества автомобилей (и, в первую очередь, личных легковых автомобилей) способствует возникновению ряда проблем, как социально-экономического, так и экологического характера, которые подробно описаны в трудах отечественных и зарубежных ученых [1-15], что, в свою очередь, определяет формирование спроса на более безопасные и экономичные виды транспорта и средства передвижения.

Рост транспортных проблем в городах, увеличение перегруженности различных традиционных подсистем городского транспорта, развитие современных технологий, изменения условий формирования транспортного спроса, его распределения привело в последние годы, как было отмечено выше, к развитию альтернативных видов городского

транспорта/передвижения, которые во многих случаях используются и как транспорт последнего километра. Они позволяют дополнить функционирование традиционных подсистем городского транспорта - личного автотранспорта и разных видов общественного пассажирского транспорта (рис. 5):



Рисунок 5 – Альтернативные виды ГТ

К таким новым формам городской мобильности относятся (рис. 6):

1. активная мобильность:

1.1. пешеходное движение;

1.2. использование обычных велосипедов, веломобилей с приводом от мускульной силы;

1.3. использование самокатов (и других индивидуальных транспортных средств) с движением от мускульной силы.

2. индивидуальная электромобильность (электросамокаты, электроскутеры, электровелосипеды, моноколеса, сегвеи и др.);

3. мобильность совместного пользования (шеринговые услуги).

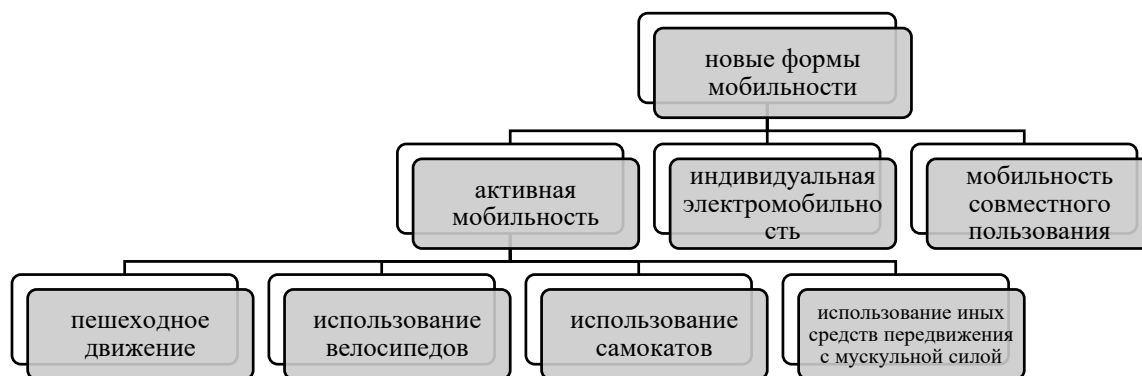


Рисунок 6 – Основные новые формы городской мобильности

В последнее десятилетие значительное развитие в большинстве стран, включая Российскую Федерацию, получило использование такого вида ТПК для передвижения жителей и перевозки мелких партий грузов, как средства микромобильности, или, как их называют в России – СИМ. В России к ним, в первую очередь, относятся электросамокаты/электроскутеры.

Это связано со следующими преимуществами этих транспортных средств (ТС) [5-7]:

- простота использования и хранения;
- компактность (малые размеры и масса) и мобильность;
- отсутствие необходимости иметь права на управление этими ТС;
- возможность движения по выделенной инфраструктуре/по пешеходной инфраструктуре;
- низкая стоимость эксплуатации;
- возможность не беспокоиться о парковке (для прокатных СИМ).

Использование этих ТС идет по следующим направлениям:

- использование прокатных (шеринговых) СИМ. Имеет наибольшую популярность для коротких (до 3–5 км) поездок до остановок и станций общественного транспорта, как правило, в рамках трудовых поездок (поездки на работу, в учебные заведения). В этом случае СИМ используются как часть мультимодальных поездок (именно как «транспорт последней мили»);

- использование прокатных СИМ в унимодальном контексте для поездок с культурно-бытовыми и социальными целями, а в отдельных случаях – и с трудовыми целями;

- использование СИМ для доставки мелкопартионных грузов и товаров в системе дистанционной торговли в режиме ТПК;

- использование личных СИМ для поездок, как правило, с культурно-бытовыми, социальными и рекреационными целями.

СИМ предлагают решение городских транспортных проблем благодаря своей компактности и возможности маневрировать в плотной городской застройке. Эти новые виды транспорта могут свободно двигаться по

загруженным улицам, использовать тротуары и велодорожки, а также быстро находить места для парковки. Благодаря этим качествам СИМ все чаще используются в сценариях, где требуется оперативная и точечная доставка [70].

Примеры успешного применения СИМ в логистике «последнего километра» или «последней мили» в зарубежных странах, можно наблюдать в большинстве крупных городов Европы, США и Азии. Так, сервисы доставки еды активно внедряют электросамокаты в свои транспортные парки, что позволило снизить среднее время доставки и увеличить число заказов на одного курьера. В России также наблюдается рост интереса к использованию СИМ в логистических задачах, особенно в Москве, Санкт-Петербурге и других крупных городах.

1.5 Анализ практики использования средств индивидуальной мобильности в городских транспортных системах

Согласно определению, СИМ используется и как ТПК, и как самостоятельный вид передвижения при поездках на относительно небольшие расстояния (до 5–7 км) с небольшими скоростями передвижения (до 25–30 км/ч). Согласно исследованию [9] более 80% велосипедных поездок совершаются на расстояния, не превышающие 5 км. В перемещениях протяжённостью до 3 км используются, как правило, такие типы СИМ, как самокаты, гироскутеры, сегвеи и т. п. [17]. Обобщая результаты различных исследований, можно утверждать, что в современных ГТС для поездок протяжённостью от 3 до 7 км следует развивать использование велосипедов и электровелосипедов. Для более протяжённых перемещений предпочтительными следует признать электромопеды, электровеломобили, трициклы и т. п., что наглядно отражено в таблице 2, обобщающей различные проанализированные данные.

Таблица 2 – Рекомендуемые виды транспорта для перемещения в ГТС по показателю протяженность перемещения

Тип транспорта	Расстояние перемещения
СИМ	до 3 км
велосипеды	от 3 км до 7 км
иные	свыше 7 км

Традиционно во многих европейских странах (во Франции, Италии, Испании, Нидерландах, Дании, Швеции и др.) для многочисленных коротких местных поездок на расстояние до 7–10 км используются велосипеды, но появление других видов «транспорта последней мили» способствует росту разнообразия перемещений в ГТС [13], что наглядно отражено в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследований расстояний до объектов городской инфраструктуры и возможных видов используемого транспорта

Объекты	Расстояние, м	Доминирующий тип перемещения и возможный вид транспорта
1	2	3
<i>Близкая расположенность</i>		
Остановки общественного транспорта;	300	Ходьба, СИМ
Детская игровая площадка; детский сад; подготовительная школа; местный магазин, продуктовый магазин и др.	400	ходьба, СИМ, велосипед, личный автомобиль, общественный транспорт
<i>Районный масштаб</i>		
Спортивный клуб, парк и др.	600	ходьба, СИМ, велосипед
Центры здравоохранения	800	автомобиль, общественный транспорт, СИМ, велосипед
Школа	1000	ходьба, автомобиль, общественный транспорт, СИМ, велосипед
Центры досуга и др.	1500	автомобиль, общественный транспорт, СИМ, велосипед
Супермаркеты, больницы и др.	5000	автомобиль, общественный транспорт, СИМ, велосипед

В последние годы, самыми популярными видами ТПК из-за простоты использования и обращения во многих странах стали электросамокаты.

Развитие индустрии по их производству способствовало значительным изменениям в структуре городской мобильности [28]. Анализ, проведенный Инновационным центром мобильности и социальных изменений [29], показывает, что в период с 2016 по 2017 год количество электросамокатов в Бельгии увеличилось в четыре раза (до 350 000 зарегистрированных пользователей в 2017 году). Страны, в которых в 2019 году наблюдался самый быстрый рост использования частных электросамокатов: Испания (рост 498% в год), Франция (332%), Германия, Италия (286%), Польша, Австрия, Нидерланды, Бельгия и Швейцария. В общей сложности в Европе 55% всех электросамокатов сосредоточены только в Испании и Франции. Испания и Франция являются двумя доминирующими рынками электросамокатов в Европе. На данный момент Германия находится на третьем месте.

Следует отметить, что в большинстве европейских стран сегодня уделяется особое внимание СИМ именно, как транспорту «последней мили» [13], т. е. ТС, повышающим эффективность транспортных цепочек в городах и взаимодействующим с пассажирским транспортом общего пользования на завершающих этапах поездки, а также, как альтернативным видом транспорта/передвижения, предназначенным для поездок на короткие расстояния. Европейская политика планирования перевозок в большинстве стран отдает предпочтение альтернативным видам транспорта, таким как велосипеды и СИМ в качестве средства перемещения на короткие расстояния (до 3–7 км) в рамках ГТС.

Системы совместного использования ТПК (кикшеринг), среди которых особенно выделяются электросамокаты, направлены на обеспечение населения быстрым и удобным видом транспорта в городских условиях. Системы совместного использования самокатов – один из наименее дорогих и самых популярных вариантов микромобильности. Их быстрое разворачивание охарактеризовано рядом экспертов как «революция микромобильности». Данные опросов свидетельствуют, что большинство людей в крупных мегаполисах одобряют совместное использование (кикшеринг) электрических

самокатов, такое положительное восприятие новых услуг мобильности формирует однозначный рыночный тренд.

Эта отрасль становится весьма привлекательной для инвесторов. С момента своего запуска в 2017 г. в Санта-Монике, штат Калифорния, компания Bird (основана бывшим топ-менеджером Uber Трэвисом Вандерзаненом) расширила объем своих услуг до более чем 100 городов США и достигла рыночной капитализации в 2 миллиарда долларов уже в 2018 г. В том же году компания Lime совершила более 11,5 миллионов поездок. Lyft и Uber, крупнейшие компании по прокату электросамокатов в США, представили собственные сервисы совместного использования в 2018 г. С начала пандемии COVID-19 компании, занимающиеся микромобильностью (предоставляющие в аренду велосипеды, мопеды и электросамокаты) в Азии, Европе и Северной Америке привлекли инвестиции на сумму почти 4 миллиарда долларов. Ожидается, что к 2030 г. мировой рынок электросамокатов будет оцениваться в 300–500 миллиардов долларов.

Помимо своих клиентов и операторов совместной мобильности, кикшеринг при грамотном планировании может принести и ряд преимуществ городским властям:

- улучшение транспортной инфраструктуры города и внедрение новых технологий – повышение привлекательности (улучшение имиджа) города;
- уменьшение времени перемещения (commute time) – времени, за которое человек преодолевает расстояние из одной точки в другую, люди смогут быстрее перемещаться по городу, а значит станут более активными, что положительно отразится на экономике города;
- привлекательность для приезжих – туристы будут успевать посетить больше музеев, кафе, мероприятий и т. д., в итоге на развлечения тратится больше денег, и город выигрывает в контексте увеличения турпотока в РФ;
- сокращение затрат на здравоохранение – самокат позволяет, сберегая силы, быстро преодолеть нужное расстояние, в то же время поездку на

самокате иногда приравнивают к лёгкому фитнесу, что улучшает состояние здоровья.

Помимо этого, наблюдается активное внедрение СИМ в логистические процессы городских служб доставки, курьерских служб, служб доставки еды и др. Многие крупные мегаполисы стали свидетелями появления многочисленных операторов краткосрочной аренды электросамокатов, что существенно изменило паттерны городской мобильности. Активное использования СИМ, характерное для европейских стран, способствует развитию новой отрасли экономики – кикшеринговых услуг. К 2019 году совместное использование электросамокатов (кик-шеринг) было доступно в большинстве европейских стран. Основные европейские города с высоким количеством электросамокатов общего пользования (прокатных самокатов): Мадрид, Париж, Барселона, Берлин, Милан, Рим и Ницца [28]. Многие поставщики услуг каршеринга в Европе также недавно начали предлагать в прокат электросамокаты. Например, в Швейцарии, служба Switzerland Mobility [16] активно занимается как каршерингом, так и кикшерингом. К сожалению, с развитием использования прокатных электросамокатов не фиксировалась информация об их пользователях, в связи с чем отсутствует научное описание характеристик пользователей. Известно лишь то, что большинство из них — это молодые люди в возрасте до 30 лет.

В Европе электросамокаты успешно интегрируются в сферу услуг доставки, где демонстрируют высокую эффективность благодаря маневренности и скорости передвижения [29, 30]. Эта тенденция продолжает активно развиваться.

Параллельно с этим растет число компаний, интегрирующих СИМ в свои корпоративные транспортные решения для сотрудников, а также организаций, использующих этот вид транспорта для передвижения с целью осуществления коммерческих пассажирских перевозок. Данный тренд подкрепляется развитием соответствующей инфраструктуры и адаптацией нормативно-правовой базы под новые виды ТС.

Таким образом, анализ показывает, что основными сферами применения СИМ являются: использование в качестве ТПК (поездки на работу и учебу; перемещение между узлами сети общественного транспорта; поездки за покупками, короткие городские поездки), развлекательные цели (прогулки по городу; активный отдых; спортивные тренировки), службы доставки (курьерская доставка, доставка еды, мелкие грузоперевозки) и др. (рис. 7).

Рассматриваемый вид средств передвижения является зачастую не только рентабельными в поездках на короткие расстояния (от 0,8 до 3,2 км – согласно исследованиям McKenzie [27]) – но и альтернативным видом транспорта по отношению к личному автомобилю и средствам пассажирского транспорта общего пользования.

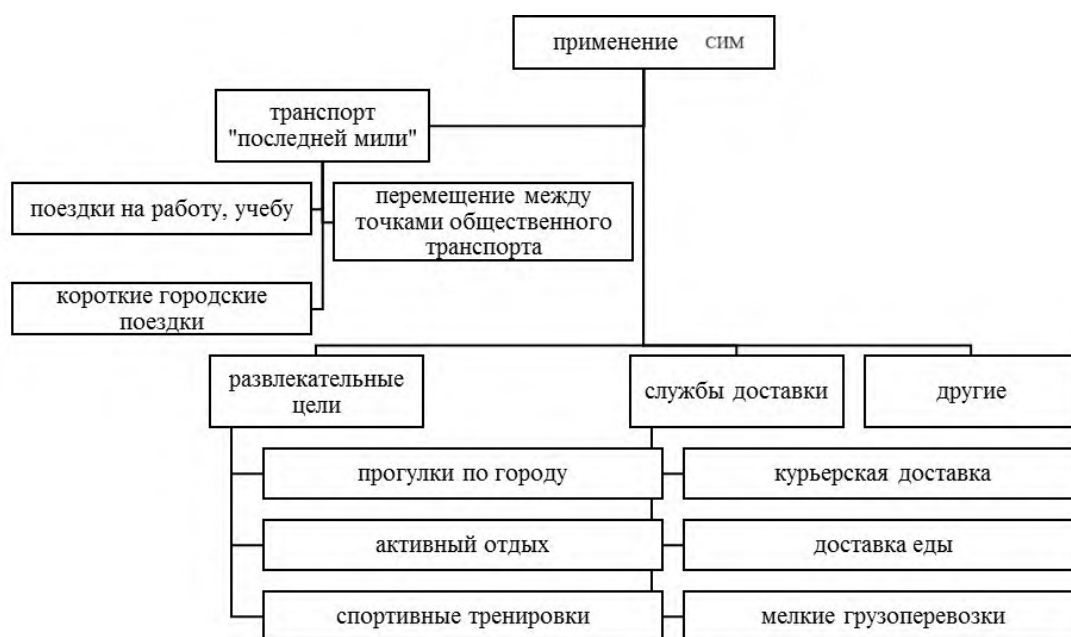


Рисунок 7 – Сферы применения СИМ

Активное использование СИМ в ГТС привело к возникновению соответствующей новой отрасли экономики, связанной с производством, эксплуатацией (в том числе – прокатом), ремонтом и содержанием этого вида транспорта.

В России по данным Министерства транспорта Российской Федерации (Минтранса РФ) на начало 2023 года в прокате (услуги кикшеринга)

находилось почти 192 тыс. электросамокатов, а в розницу в 2020–2022 годах их было продано 540 тыс. единиц [18]. Общий парк эксплуатируемых на начало 2023 года в стране электросамокатов Минтранс РФ оценил в 750 тыс. штук, безусловно, на сегодняшний день их больше. Ассоциация операторов микромобильности оценивала только парк кикшеринга на конец 2023 года в 300 тыс. шт. Суммарная протяженность велодорожек, по которым могут передвигаться и СИМ, составляет около 3,5 тыс. км, из них около 500 км в Москве и 150 км в Санкт-Петербурге [19].

Согласно данным, представленным на едином транспортом портале Москвы [20], среднее число поездок с использованием рассматриваемого вида транспорта для г. Москвы в 2021 году составляла в среднем 35 тыс. в день, но уже в 2023 году данный показатель составил уже 220 тыс. в день. Динамика изменения основных показателей сервиса аренды такого вида ТПК как электросамокатов представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Развитие сервисов аренды электросамокатов (кикшеринга) по г. Москве за период 2018–2023 гг.

Год	Наименование показателя			
	Поездки за сезон, млн.	Поездки в сутки, тыс. (ср. знач.)	Количество поездок на 1 самокат в сутки	Размер парка
2018	0,1	0,4	2,0	3 150
2019	0,4	3,0	1,5	3 250
2020	2,0	10,0	2,0	5 000
2021	8,6	35,9	3,2	25 000
2022	26,3	104,2	3,4	40 000
2023	64,0	220,0	5,3	60 000

Анализируя представленные данные, можно отметить, что популярность электросамокатов увеличивается, о чем свидетельствует среднее значение количества поездок за сутки, а также увеличение размера парка с 3 000 прокатных электросамокатов до 60 000 (табл. 4)

В целом, за период с 2018 по 2023 год прокат электросамокатов по г. Москве увеличился в 8 раз, что подтверждает рост спроса на данные

средства передвижения. По данным прокатных компаний среднесуточный пробег арендного электросамоката по г. Москва составляет около 5,3 км за 2023 год (рис. 8).

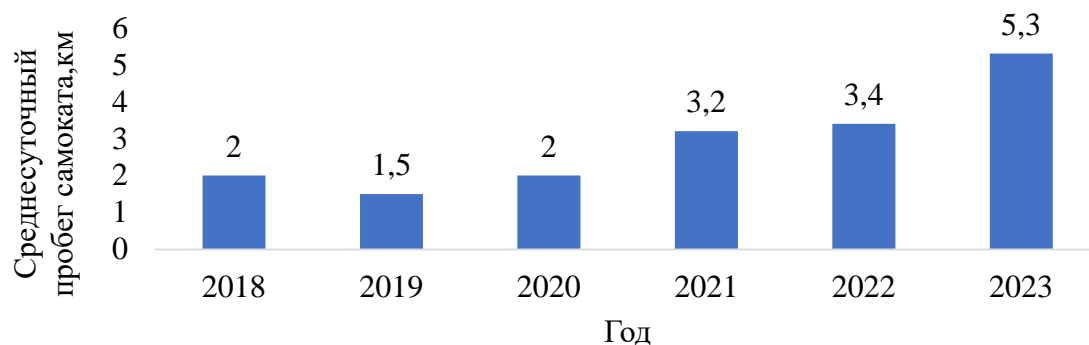


Рисунок 8 – Динамика изменения среднесуточного пробега самоката в г. Москве

Количество поездок на СИМ, в частности – на электросамокатах, значительно увеличилось за последние годы, так если в 2018 году на самокаты приходился пассажирооборот 0,4 тыс. пасс-км в сутки, то уже в 2023 году – 220 тыс. пасс-км в сутки [20] (рис. 9). Число поездок электросамокатов компании Яндекс в 2023 году увеличилось на 85% по сравнению с прошлым годом [21], а общее количество самокатов превысило 65 000 и выросло на 15%.

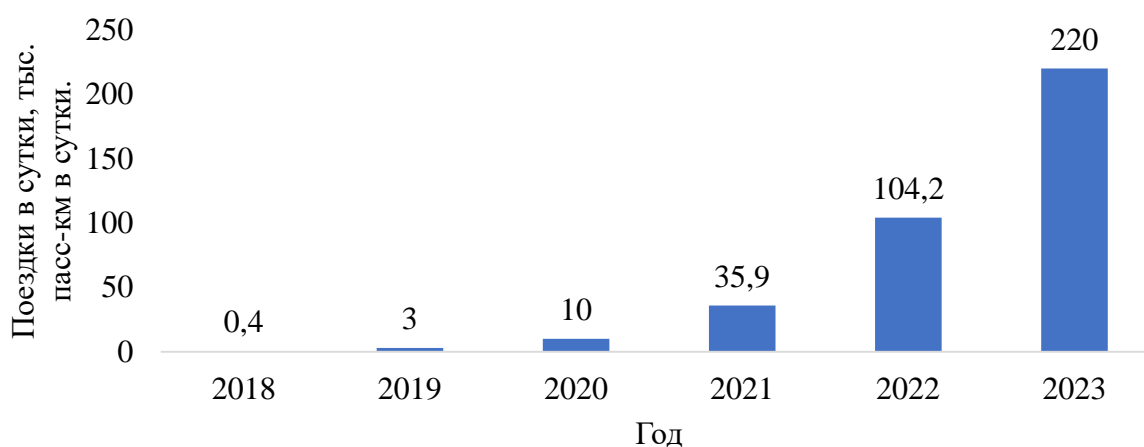


Рисунок 9 – Динамика изменения числа поездок в сутки на арендных электросамокатах в г. Москва

Компанией МТС Юрент также за 2023 год установлено, что общее количество поездок в Московском регионе выросло на 50% и достигло 48 млн, а суммарное расстояние, которое проехали пользователи, превысило 50 млн км, что еще раз подтверждает рост популярности использования арендных электросамокатов, как разновидности ТПК и увеличение их числа [22].

Согласно представленным данным видно, что пользование СИМ в ГТС, в частности, в г. Москве и особенно за счет популярных в последнее время служб кик-шеринга, растет и активно развивается. Перевозки с использованием СИМ занимают все большую долю в общем объеме пассажирских перевозок в г. Москве. Сейчас она приблизилась к 10% и продолжает расти на величину 5,4% ежегодно. Эти цифры показывают возрастающую значимость микромобильности (СИМ) в транспортной системе г. Москвы. Аналогичная ситуация наблюдается и в других крупнейших городах страны.

Как показано выше, в последние годы СИМ демонстрирует устойчивый рост популярности в ГТС. Многообразие представленных на рынке моделей электросамокатов привлекает различные категории населения, что подтверждается рядом зарубежных и отечественных исследований [1-17, 23–26].

Согласно зарубежным исследованиям [1-17], основными пользователями СИМ, в частности, арендных самокатов являются мужчины (64% от общего числа пользователей), люди в возрасте 25–34 лет и представители с высоким уровнем дохода.

Примечательно, что значительная часть пользователей СИМ имеют доступ к личному автотранспорту, что подчеркивает их осознанный выбор в пользу альтернативных средств передвижения. Это свидетельствует об имеющихся преимуществах СИМ, как ТПК, таких как экономичность, маневренность, простота парковки, что особенно важно в ГТС, а также удобство для коротких унимодальных поездок.

Помимо этого, анализ рынка продаж СИМ, в частности, электросамокатов, указывает на дальнейшее увеличение спроса на данный вид транспортных средств, что обусловлено рядом показателей: постоянным совершенствованием технологий перемещения; расширением модельного ряда; развитием городской инфраструктуры; стремлением к оптимизации городских передвижений и т.д. В связи с этим можно прогнозировать: увеличение доли СИМ в общем городском трафике; расширение целевой аудитории; появление новых моделей и технологий; развитие соответствующей инфраструктуры; совершенствование нормативной базы и др.

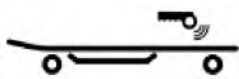




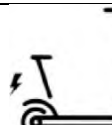


В то же время, расширение использования СИМ и других видов ТПК в городах ставит на повестку дня вопрос об организации их движения и выделения для этого специальной инфраструктуры. Рассмотрим далее существующие примеры использования в городах индивидуальных форм мобильности, с анализом существующих подходов к их систематизации и классификации.

Таким образом, СИМ, как часть ТПК, становится полноценным элементом ГТС, предлагая привлекательную альтернативу традиционному транспорту для все более широкого круга пользователей.

1.6 Типизация и анализ характеристик средств индивидуальной мобильности, используемых в городских транспортных системах

В результате анализа результатов исследований [1-17, 23–26] был разработан перечень и описание основных видов СИМ, используемых в отечественных и зарубежных ГТС (табл. 5).

Таблица 5 – Перечень и описание основных видов СИМ

Наименование средства передвижения	Вид средства передвижения	Особенности средства передвижения
1	2	3
Моторизованные		
Электроскейтборд		С аккумулятором, мотором и беспроводным пультом дистанционного управления.
Скейтборд		Доска с четырьмя колесами на двух осях, приводимая в движение мускульной силой человека, за счет отталкивающих движений ноги от земли.
Самокат		Средство передвижения с приводом от человека, оборудованное рулем, расположенным на рулевой стойке, декой и колесами, приводимое в движение мускульной силой человека, за счет отталкивающих движений ноги от земли. Существуют модели с двумя, тремя или четырьмя колесами.
Электросамокат	 	Стоячий или сидячий самокат, приводимый в движение электродвигателем
Электросамокат	 	Стоячий или сидячий самокат, приводимый в движение электродвигателем
Гироскутер		Самобалансирующий скутер, состоящий из двух моторизованных колес, соединенных с парой шарнирных опор, на которые водитель ставит ноги, скорость движения контролируется наклоном туловища вперед или назад, и направление движения, устанавливается в зависимости от поворота колодки.
Моноколесо		Самобалансирующий электрический персональный транспортер, на котором пользователь стоит и ставит ноги перпендикулярно направлению движения на переднюю и заднюю платформы.

Анализ рынка продаж рассматриваемых устройств в Российской Федерации [26] позволил определить их технические характеристики (табл. 5)

(без учета продаж велосипедов, электровелосипедов и электроскутеров, которые сейчас принято рассматривать отдельно).

1.7 Анализ проблем, возникающих при использовании СИМ в условиях городов

Как было отмечено выше, расширение использования СИМ и других видов ТПК помимо целого ряда положительных эффектов сопряжено и с рядом серьезных проблем. К ним, в первую очередь, необходимо отнести:

- проблему роста числа и тяжести происшествий, связанных с использованием СИМ;
- проблему беспорядочной свободной парковки СИМ в пределах городских территорий;
- проблему конкуренции СИМ с другими пользователями за общую транспортную инфраструктуру;
- экологические проблемы, связанные с утилизацией аккумуляторов.

Из перечисленных наиболее серьезной и требующей кардинальных решений является проблема обеспечения безопасности движения СИМ. Это подчеркивается в различных зарубежных источниках и подтверждается широким обсуждением проблем использования СИМ в отечественных масс-медиа [1-15, 47].

Сегодня мощность электродвигателя некоторых видов СИМ превышает обычную человеческую мощность в 2–3 раза, что может представлять серьезную опасность при движении таких видов транспорта совместно с пешеходами в общем дорожном пространстве. При этом все характеристики современных ТС – скорость движения, мощность двигателя, импульс, маневренность, параметры и траектория движения – должны обязательно учитываться при планировании и создании комплексной инфраструктуры для пешеходов и велосипедистов, включая тротуары, пешеходные дорожки, велодорожки и велополосы.

За последние несколько лет наблюдается стремительный рост количества ДТП с участием СИМ, особенно таких его видов как электросамокаты, в результате чего можно сделать вывод, что это происходит из-за увеличения спроса на использование рассматриваемых средств передвижения, которые сегодня используются для быстрого перемещения в рамках ГТС, в том числе, в качестве ТПК при поездках с рабочими, учебными и деловыми целями.

1.8 Выводы по главе 1

В результате работ, выполненных в главе 1 было обосновано место и роль средства индивидуальной мобильности как транспорта последнего километра в городской транспортной системе, что подтверждено следующими результатами:

1. Установлены современные тенденции трансформации транспортного рынка: переход к использованию мобильных сервисов по требованию; развитие технологической составляющей управления транспортными системами; повышение эффективности функционирования транспортной сети за счет оптимизации использования существующих ресурсов пропускной способности; развитие мультимодальности - интеграция различных видов транспорта; изменение потребительских предпочтений - рост спроса на гибкие транспортные решения.

2. Определено, что в городах возникает проблема доставки пассажиров и грузов «от двери до двери», т. е. проблема «последнего/первого километра», которая, как правило, не решается в рамках функционирования традиционных подсистем городского транспорта и может в значительной мере снижать эффективность и качество транспортного обслуживания населения и экономики города. Установлено, что транспорт последнего километра имеет все признаки новой полноценной подсистемы городского транспорта и не должен рассматриваться в качестве изолированного элемента городской

транспортной системы, а должен являться частью комплексной транспортной стратегии, ориентированной на повышение общей устойчивости и доступности городской мобильности

3. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта определены новые формы городской мобильности, реализующие функции транспорта последнего километра. Показано, что наиболее активно развивающимися из них являются средства индивидуальной мобильности. Определены оптимальные сферы использования средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе и основные проблемы, возникающие при использовании средств индивидуальной мобильности в условиях городов.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ БДД СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

2.1 Анализ опыта решения проблем повышения безопасности движения СИМ за рубежом

Проблема повышения безопасности движения СИМ является актуальной в большинстве развитых стран. В некоторых странах на региональном уровне может действовать несколько регуляторных политик и эти политики различаются в зависимости от вида СИМ. В таблице 8 представлены обобщенные результаты выявленных регуляторных положений (включая актуальные предложения по их введению) в различных странах. Проведен анализ по 30 странам мира [59-66], для чего выявлялись и изучались профильные ресурсы и научные публикации, новостные порталы, ресурсы местных министерств (департаментов) транспорта и др. государственных органов. Отдельно были изучены ресурсы США (табл. 6)

Таблица 6 – Методы повышения безопасности движения СИМ на примере развитых стран

Страна	Статус	Миним. разрешение. возраст	Макс. Скорость км/ч	Наличие средств защиты	Наличие удостоверения пользователя	Наличие регистрации
1	2	3	4	5	6	7
Австралия	Разрешено только в Квинсленде, Канберре и Западной Австралии.	12-16	25	Шлем	Отсутствуют	Отсутствуют
Австрия	Классифицируется как велосипед; только на велосипедных дорожках	12	не уточняется	отсутствуют	только для больших сигвеев	не уточняется
Аргентина	Разрешено на велосипедных дорожках	16	25	Использование шлема	Не уточняется	Не уточняется

Продолжение таблицы 6

Страна	Статус	Мини м. разреш. возраст	Макс. Скорость км/ч	Наличие средств защиты	Наличие удостоверения пользователя	Наличие регистрации
1	2	3	4	5	6	7
Бельгия	Разрешено на тротуарах и велосипедных дорожках	не уточняется	18	Страхование и средства защиты	существуют	не уточняется
Бразилия	Разрешено на дорогах общего пользования, где стоит лимит макс. Скорости в 25 м/ч; Запрещено на тротуарах	16	13	Использование шлема	Не уточняется	Существуют
Великобритания	Только в частных зонах	14	25	Страхование и обязательное использование шлема	Отсутствуют	Существуют
Венгрия	Запрещено	Не уточняется	Не уточняется	Отсутствуют	Не уточняется	Не уточняется
Германия	Сегвеи могут использовать велосипедные дорожки; на ховерборды наложены ограничения	Не уточняется	Не уточняется	Страхование и средства защиты	Существуют	Существуют
Гонконг	Запрещено	не уточняется	не уточняется	отсутствуют	существуют	существуют
Дания	Классифицируется как мопед; разрешено на тротуарах	Не уточняется	20	Отсутствуют	Существуют	Существуют
ЕС	Не разрешено	не уточняется	не уточняется	отсутствуют	не уточняется	не уточняется
Италия	Разрешено на тротуарах и велосипедных дорожках	14	20	Средства защиты	Существуют	Отсутствуют
Канада	Разрешено на дорогах общего пользования и тротуарах с ограничениями	14	32	Шлем	Существуют	Существуют

Продолжение таблицы 6

Страна	Статус	Миним · разреш ен. возраст	Макс. Скорост ь км/ч	Наличие средств защиты	Наличие удостовер ения пользоват еля	Наличие регистра ции
1	2	3	4	5	6	7
Люксембург	Разрешено на велосипедных дорожках	Не уточняется	25	Отсутствуют	Отсутствуют	Существуют
Мексика	Разрешено на тротуарах и дорогах общего пользования	Отсутствует	Не уточняется	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
Нидерланды	Разрешено на тротуарах и велосипедных дорожках	16	Не уточняется	Страхование и средства защиты	Существуют	Существуют
Новая Зеландия	Классифицируется как мопед; разрешено на тротуарах	14	25	Отсутствуют	Существуют	Существуют
Норвегия	Разрешено на тротуарах и дорогах общего пользования; классифицируется как велосипед	Отсутствует	20	Должны быть средства защиты	Существуют	Существуют
Португалия	Классифицируется как велосипед; разрешено с ограничениями	18	25	Отсутствуют	Не уточняется	Не уточняется
Саудовская Аравия	Запрещено	не уточняется	не уточняется	отсутствуют	не уточняется	не уточняется
Северная Ирландия	Запрещено	14	25	Страхование и обязательное использование шлема	Отсутствуют	Существуют
Сингапур	Запрещено	не уточняется	не уточняется	отсутствуют	не уточняется	не уточняется
Финляндия	разрешено на тротуарах и дорогах общего пользования	Не уточняется	15	Существуют	Существуют	Не уточняется
Франция	Только велосипедные дорожки	12	25	Отсутствуют	Не уточняется	Не уточняется

Окончание таблицы 6

Страна	Статус	Миним. разреше н. возраст	Макс. Скорост ь км/ч	Наличие средств защиты	Наличие удостовер ения пользоват еля	Наличие регистра ции
1	2	3	4	5	6	7
Хорватия	Разрешено на тротуарах и велосипедных дорожках	Не уточняется	Не уточняется	Отсутствуют	Не уточняется	Не уточняется
Чехия	Разрешено с ограничениями; классифицируется как велосипед	Не уточняется	Не уточняется	Отсутствуют	Не уточняется	Не уточняется
Швейцария	Разрешено на тротуарах и дорогах общего пользования	14	26	Отсутствуют	Существуют	Существуют
Швеция	Разрешено на тротуарах и велосипедных дорожках	15	20	Отсутствуют	Не уточняется	Не уточняется
Шотландия	Запрещено	14	25	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
Япония	Классифицируется как мотоцикл; только на дорогах общего пользования	не уточняется	не уточняется	отсутствуют	не уточняется	отсутствуют

В результате выполненного обзора применяемых методов в различных странах, можно отметить, что в некоторых азиатских странах, включая Гонконг, Саудовскую Аравию и Сингапур, запрещено использование СИМ как на дорогах общего пользования, так и на пешеходных дорожках. Япония рассматривает СИМ как мотоцикл малого класса и разрешает им ездить по дорогам с некоторыми ограничениями, включая скоростные ограничения. Смешанная политика проводится среди европейских стран. Хотя ЕС запретил использование СИМ на тротуарах, в некоторых европейских странах-членах ЕС, например, в Дании, Финляндии, Франции и Германии, действуют особые правила и нормы для сигвея, хOVERборда, электровелосипедов и электросамокатов. Большинство европейских стран разрешили использование СИМ на велосипедных дорожках. Финляндия, Норвегия и Швейцария также

разрешили использовать их на дорогах общего пользования.

Франция и Люксембург разрешили использование СИМ только на велосипедных дорожках. Однако, перемещение СИМ запрещено на улицах городов Венгрии, Северной Ирландии, Великобритании и Шотландии. Во многих европейских странах действуют ограничения по возрасту и скорости. Минимальный возраст для начала эксплуатации СИМ начинается с 12 до 18 лет. Максимальная скорость, возможная при эксплуатации СИМ, ограничена от 15 км/ч до 32 км/ч (20 миль в час). В Норвегии нет возрастных ограничений для использования СИМ. Бельгия, Германия, Северная Ирландия, Италия, Нидерланды, Норвегия и Великобритания требуют от их пользователей соблюдения мер безопасности движения на личных электросамокатах. Дания, Германия, Нидерланды, Норвегия и Швейцария требуют регистрации и лицензии для управления СИМ.

СИМ как новый вид транспорта разрешен во многих странах Америки и Океании с определенными ограничениями. В Канаде при перемещении на СИМ требуется наличие шлема, надлежащей лицензии и регистрации для осуществления движения на тротуарах или проезжей части. Кроме того, у них существует возрастное ограничение в 14 лет и ограничение скорости 20 миль в час. В Мексике нет ограничений по возрасту и скорости. СИМ разрешен в трех штатах Австралии с возрастным ограничением от 12 до 16 лет, ограничением скорости 15,5 миль в час и требованием наличия шлема. В Новой Зеландии СИМ рассматривается как мопед и разрешен для перемещения только на тротуаре с возрастным ограничением от 14 лет и ограничением скорости 15,5 миль в час.

В США 28 штатов и округ Колумбия разрешили использовать эти устройства как на тротуарах, так и на проезжей части, в шести штатах – на тротуарах и велосипедных дорожках, в четырех штатах – только на проезжей части и в четырех штатах – только на тротуарах. Около семи штатов не имеют политики в отношении СИМ, а один штат, Вайоминг, ограничил их использование на дорогах общего пользования. Только в 20 штатах и округе

Колумбия установлен минимальный возраст для использования этого вида транспорта.

Выполненный обзор эксплуатации СИМ в США показал, что в данном вопросе нет системности. Решение вопроса безопасности их передвижения применяется с учетом местных условий.

В Сингапуре, где использование СИМ и других типов транспорта «последней мили» имеет длительную историю и строгие правила использования в общественных местах, существующие исследования показывают, что у лиц, управляющих моторизованными средствами передвижения риск получения серьезных травм вдвое выше, что объясняется высокими скоростями их движения. В связи с отсутствием в зарубежных классификационных системах дорожной аварийности данных о такого рода происшествиях, в отчете ITF [31] представлены данные по результатам сообщений о таких авариях в СМИ. По этим данным в результате таких происшествий наиболее часто встречаются травмы в области головы и шеи (67,7%), за ними следуют травмы верхних конечностей (46,2%) [31]. Например, в 2018 году в США три человека погибли в происшествиях с участием электрических скутеров общего пользования, при этом статистика говорит об около 38,5 миллионов совершенных на них поездках [31]. Доступные данные об общем риске использования электросамокатов варьируются от 78 до 100 случаев со смертельным исходом на миллиард поездок, что с точки зрения статистической надежности следует рассматривать как относительно небольшое значение. Риск езды на велосипеде в городах колеблется от 21 до 257 смертей на миллиард поездок. Езда в городах на мотоциклах и мопедах, вместе называемых моторными двухколесными ТС, сопряжена с риском смерти в ДТП в диапазоне от 132 до 1164 случаев на миллиард поездок. Согласно информации, собранной ITF [31] для этих обоих видов транспорта в восьми разных городах, риск гибели в поездке на данных видах транспорта как минимум в два раза выше, чем при поездке на велосипеде.

Сравнение электросамокатов, велосипедов и других видов транспорта является достаточно сложным из-за отсутствия данных в сопоставимой глобальной выборке городов. Действительно, предыдущее исследование ITF выявило большие различия в рисках между странами и городами. Было установлено, что риск езды на велосипеде в США в шесть раз выше, чем в странах Северной Европы. Данные на уровне города, собранные через сеть ITF по безопасным городским улицам, показали, что существенная разница в риске езды на велосипеде (в шесть раз) наблюдается, например, между Берлином (с 21 смертельным исходом на миллиард поездок) и Нью-Йорком (со 128 смертельными случаями на миллиард поездок).

Существующие исследования показывают, что травмы, получаемые в результате наезда нового вида транспорта – СИМ (в большинстве случаев это электросамокаты), являются результатом их столкновения с другими ТС или в результате их наездов на пешеходов, что подтверждает необходимость дальнейших исследований движения СИМ как на проезжей части УДС, так и в пределах пешеходной инфраструктуры.

Исследования показывают, что электросамокаты являются причиной более частых и тяжелых травм в результате наезда на пешеходов по сравнению с другими самобалансирующимися устройствами, например, моноколесами, гироскутерами и иными средствами передвижения, представленными в табл. 4 и табл. 5.

В вопросе использования для движения СИМ городской инфраструктуры европейские города полагаются на правила, ранее установленные для велосипедов, а не на те, которые учитывают специфические особенности СИМ. В большинстве европейских стран пользователям рассматриваемого вида транспорта не нужны водительские права и средства индивидуальной защиты (СИЗ), например, такие, как шлемы. Для решения актуальной проблемы обеспечения безопасности движения СИМ в европейских странах уже приняты определенные меры (табл.7).

Таблица 7 – Условия использования СИМ в ГТС ряда европейских стран

Страна	Вид СИМ	Предельная скорость	Тип инфраструктуры, где разрешено использование СИМ	Примечание
1	2	3	4	5
Бельгия	все виды СИМ с электроприводом	до 25 км/ч	Дороги общего пользования, а также велодорожки и пешеходная инфраструктура	Во всех случаях требуется страховка и защитный костюм
Великобритания	Все виды СИМ с электроприводом		Запрещены на тротуарах	
Германия	одноколесные виды СИМ, сегвеи		Запрещены на ПЧ улиц, по тротуарам, в парках, на лесн. дорожках. Разрешено движение на велодорожках и ПЧ улиц в городах	
Швеция	сегвеи и другие виды СИМ, используемые 1 человеком	менее 25 км/ч	Приравнены к велосипедам	
Финляндия	Все виды СИМ с электроприводом	до 15 км/ч	Рассматриваются как пешеходы	
		15–25 км/ч	Рассматриваются как велосипеды	
Франция	Все виды СИМ с электроприводом	до 25 км/ч	Движение на застроенных территориях, обязательно по велодорожкам там, где они есть	Запрещается перевозка пассажиров, обязательны световые приборы, тормоза, звуковой сигнал
Швейцария	все виды СИМ с электроприводом, сегвеи	менее 25 км/ч	Могут использоваться на дорогах. Использование на тротуарах и пешеходных зонах запрещено. Отнесены к мопедам и могут использоваться на велоинфраструктуре	Возраст более 16 лет

Также следует учитывать возможное обязательное использование защитного снаряжения, например шлема, как элемента обеспечения пассивной безопасности движения.

Следует отметить, что ряд зарубежных исследований в области безопасности движения СИМ сосредотачивались на оценке восприятия пешеходами опасности, связанной с движением данного вида транспорта, основанной на использовании индекса субъективной опасности. В исследовании [32] безопасность общего пространства движения была разделена на объективную или физическую безопасность и субъективную или психологическую безопасность. Психологическая безопасность имеет большое значение и является одной из основных причин негативного восприятия электрических видов СИМ.

2.2 Состояние безопасности движения СИМ в Российской Федерации

В РФ, как и в большинстве других стран, в последние годы резко возрастает актуальность проблемы аварийности, связанной с движением СИМ. Согласно данным НЦ БДД общее количество зарегистрированных ДТП с участием СИМ за период 2019–2023 гг. составило 5 265 [33] (рис. 10). Причем ежегодное число этих происшествий за указанный период возросло в 22 раза.

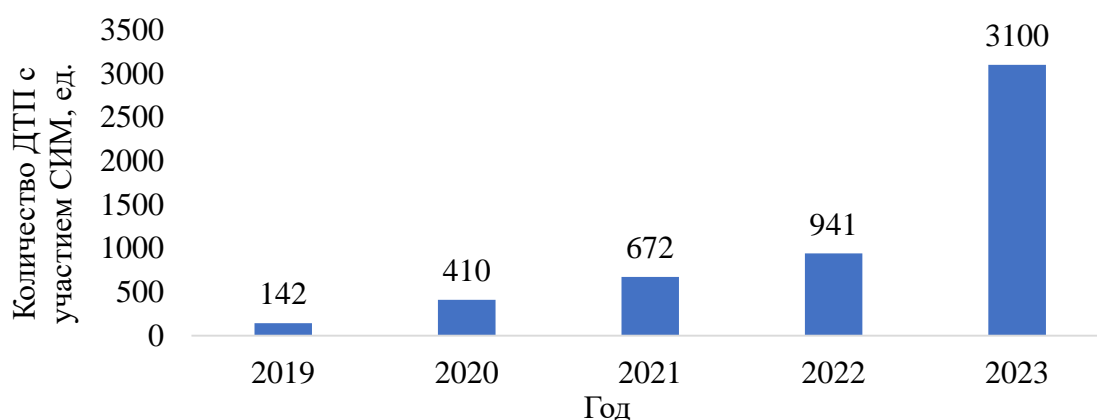


Рисунок 10 – Динамика изменения количества ДТП с участием СИМ за период 2019–2023 гг.

Анализ количества погибших и раненых в ДТП с участием СИМ, показывает, что данные показатели в Российской Федерации за рассматриваемый период также стабильно и существенно увеличились (число погибших возросло в 7 раз, раненых – в 22 раза) (рис. 9).

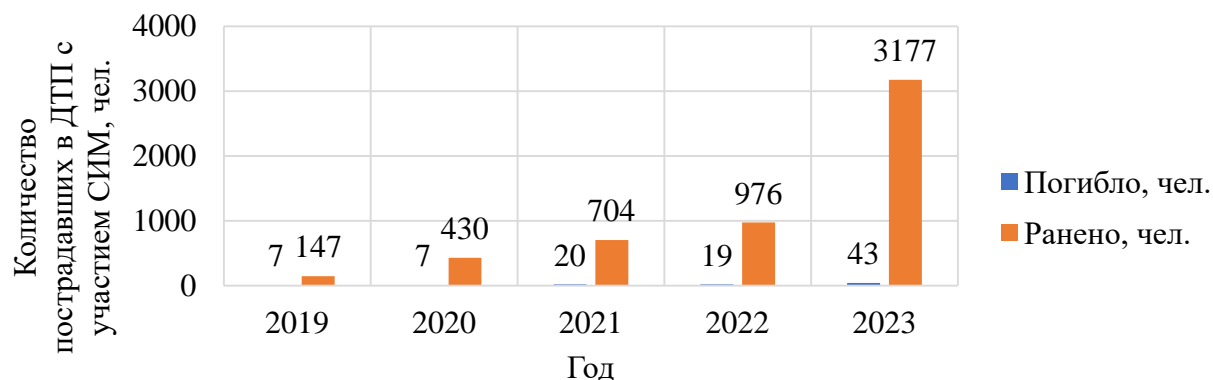


Рисунок 11 – Динамика изменения количества погибших и раненых в ДТП с участием СИМ за период 2019–2023 гг.

Экономичность, мобильность, простота эксплуатации (особенно при использовании шеринга) и отсутствие необходимости получения документов на право управления данными ТС, сделали СИМ популярными не только среди молодого поколения, но и среди взрослых пользователей [34, 35]. Однако, оказавшись в правовом аспекте, по сути, отнесенными к категории «пешеходы», такие участники ДД, имеющие значительно более высокий скоростной режим и большую общую (с учетом пользователя) массу, чем у обычных пешеходов, стали оказывать негативное влияние на показатели аварийности на тротуарах и в пешеходных зонах. Такое положение в Российской Федерации поставило вопрос об уточнение правового статуса участников дорожного движения, передвигающихся с использованием СИМ [29, 30, 36–38].

Использования СИМ в РФ началось относительно недавно, но быстро развивается. В связи с этим на сегодняшний день, так же, как и в других странах, возникло много вопросов практического и теоретического характера,

связанных с их использованием. Анализ отечественных исследований [17, 23-26, 29, 30, 36-38] показал, что в основном все они посвящены вопросам правового характера, имеющим целью определение правового статуса участника ДД при передвижении с использованием СИМ в городской среде и, в дальнейшем, предъявления требований к безопасности передвижения пользователей данного вида транспорта.

В работах [29, 30] Ю. В. Мишин излагает следующую постановку проблемы, связанную с использованием СИМ: «Следует отметить, что экономичность и мобильность рассматриваемых устройств далеко не всегда является основной причиной их использования гражданами. В частности, нередко перемещение по городу на электросамокате – это способ добраться до места назначения с минимальными временными потерями, особенно в состоянии алкогольного или иного опьянения. Действующее российское законодательство предусматривает административную ответственность для пешеходов, нарушивших ПДД лишь в порядке ч. 1 ст. 12.29 КоАП РФ либо ст. 12.30 КоАП РФ [39]. Единственно возможная санкция за это нарушение (если лицо не стало участником дорожного движения) – штраф пятьсот рублей».

Верещак С.Б. устанавливает следующие проблемы правового регулирования передвижения СИМ в дорожном движении (ДД) и административной ответственности [36]: «Ещё 31 октября 2019 г. на федеральном портале проектов НПА размещен проект постановления Правительства РФ о внесении изменений в Правила дорожного движения (ПДД), утвержденные постановлением Совета Министров России в инициативном порядке. Сомнительными с точки зрения безопасности представляются положения российского проекта об установлении максимальной скорости движения велосипедистов и лиц, которые используют для передвижения СИМ, в случаях совмещенного движения с пешеходами – 20 км/ч, а также в велосипедных, жилых и дворовых территориях. Представляется, что максимальная скорость в таких случаях в 2 раза меньше и не должна превышать 10 км/ч».

Сойников С.А. [31] рассматривает вопрос терминологии в сфере использования СИМ, анализируя отраженное в СМИ обсуждение указанной проблемы Министерством транспорта РФ.

Шелмаков С.В., являющийся одним из основоположников исследований в области развития велодвижения и велоинфраструктуры в городах, в своих трудах [23, 24] на основе анализа основных законодательных и подзаконных актов, относящихся к организации велосипедного движения и СИМ (рис. 12), говорит о том, что основным препятствием, затрудняющим развитие велоинфраструктуры, является тот факт, что велосипеды и СИМ не рассматриваются в качестве полноценных «транспортных средств». Соответственно, велоинфраструктура и инфраструктура СИМ рассматривается не как полноценная транспортная инфраструктура, а как элемент благоустройства и рекреации.



Рисунок 12 – Основные законодательные и нормативные правовые акты в области ОДД велосипедов и СИМ [57]

По мнению С.В. Шелмакова для «запуска» процесса развития велоинфраструктуры, предназначенной для движения как велосипедов, так и СИМ, необходимо внести поправки в определение таких понятий, как «транспортное средство», «автомобильная дорога», «водитель транспортного средства», явно указав место велотранспорта и СИМ в этих понятиях. Это позволит использовать весь наработанный опыт в сфере дорожной

деятельности для развития велоинфраструктуры и инфраструктуры для движения СИМ. Автор [23, 24] отмечает также, что вторым «рычагом» для развития СИМ и велотранспорта является механизм разработки программ комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ) и комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД) (рис. 10). Важно обеспечить результативность этих документов с учетом появления новых участников ДД и нового вида транспорта – СИМ. Наконец третьим ключевым элементом совершенствования законодательства является более чёткая классификация в ПДД велосипедов, СИМ, а также других ТС. Это позволит регламентировать и чётко разграничить правила эксплуатации этих ТС.

Существующие исследования не позволяют точно оценить риски передвижения СИМ в городской среде, но, тем не менее, проанализированные данные по количеству аварий с участием этих ТС (рис. 8, рис. 9) показывают, что необходимо дальнейшее изучение этих рисков и определение безопасных условий пользования СИМ на существующей инфраструктуре.

2.3 Анализ основных направления и методов повышения безопасности движения СИМ

Безопасность использования СИМ в ГТС следует обеспечивать на основе комплексов мер, построенных по аналогии с системами обеспечения безопасности движения автомобильного транспорта, т.е. на основе внедрения систем обеспечения активной и пассивной безопасности [71-73].

Активная безопасность использования СИМ — это совокупность технических, организационных и цифровых мер, направленных на предотвращение дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и минимизацию риска возникновения конфликтных ситуаций в ходе использования этих средств (электросамокатов, моноколес, велосипедов, микроэлектромобилей, электротрициклов и т.д.). Пассивная безопасность

использования СИМ направлена на снижение тяжести последствий происшествий с участием этих ТС.

Меры по повышению активной безопасности использования СИМ являются основным инструментом предотвращения аварий с участием этих ТС и обеспечения их безопасного взаимодействия с другими участниками дорожного движения. Они включают:

1. Совершенствование конструктивных особенностей СИМ, снижающих риск возникновения происшествий (например, внедрение ограничителей скорости, систем освещения и сигнализации).
2. Нормирование и контроль скоростных режимов.
3. Улучшение видимости СИМ в городской среде.
4. Внедрение цифровых технологий контроля и управления движением СИМ.
5. Совершенствование инфраструктуры для движения СИМ (например, организация выделенных полос движения).
6. Обучение пользователей СИМ и др.

Внедрение этих мер позволяет: снизить количество ДТП и тяжесть их последствий; повысить уровень доверия к использованию СИМ в городской среде; интегрировать СИМ в ГТС как безопасный и устойчивый вид транспорта ТПК. Можно отметить, что, как и в случае с автотранспортными средствами, ключевым фактором обеспечения безопасности использования СИМ в городской среде является скорость их движения.

В свою очередь, пассивная безопасность СИМ — это совокупность мер, направленных на минимизацию тяжести последствий ДТП, если оно уже произошло. В отличие от активной безопасности, которая направлена в первую очередь на предотвращение аварий, пассивная безопасность фокусируется на снижении травматизма и летальности в случае столкновения, наезда или падения пользователя СИМ.

По результату анализа нормативной документации и научных источников [74-77], можно сформулировать ключевые меры повышения пассивной безопасности:

1. Использование пользователями СИМ защитных средств (шлемов и другого индивидуального оборудования).
2. Повышение безопасности конструкции дорожной/пешеходной инфраструктуры с учётом специфики движения СИМ.
3. Повышение пассивной безопасности конструкции СИМ (например, мягкое покрытие руля и др.).

Интеграция СИМ в городскую транспортную систему требует внедрения мер обеспечения как активной, так и пассивной безопасности.

Для реализации системного подхода к повышению безопасности использования СИМ в ГТС необходимо выполнить анализ основных относящихся к ним типов ТС, разработать их соответствующую классификационную схему.

2.4 Выводы по главе 2

В результате работ, выполненных в главе 2 были определены основные факторы, обуславливающие активную и пассивную безопасность средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе, что выражено в следующих выводах:

1. Проведенный анализ показал, что проблема повышения безопасности движения средств индивидуальной мобильности является актуальной как в России, так и в большинстве развитых стран.
2. Рассмотрены и проанализированы используемые методы повышения безопасности движения средств индивидуальной мобильности. Показано, что в данном вопросе отсутствуют единые подходы. Решение вопроса о выборе мер по повышению безопасности движения средств индивидуальной мобильности зачастую принимается с учетом местных условий.

3. Необходимость дальнейших исследований безопасности движения средств индивидуальной мобильности как на проезжей части улично-дорожной сети, так и, в первую очередь, в пределах пешеходной инфраструктуры подтверждена расширенным анализом зарубежного и отечественного опыта. Установлено, что существующие исследования не позволяют точно оценить риски передвижения средств индивидуальной мобильности в городской среде, но, тем не менее, проанализированные данные по количеству аварий с участием этих транспортных средств показывают, что необходимо дальнейшее изучение этих рисков и определение безопасных условий пользования средств индивидуальной мобильности на существующей инфраструктуре.

4. В результате проведенных аналитических исследований определены элементы обеспечения активной и пассивной безопасности использования средств индивидуальной мобильности в городской транспортной системе, а именно, такие факторы как скорость движения, с учетом массы снаряженного транспортного средства и создание отдельно выделенной инфраструктуры соответственно.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ДТП С УЧАСТИЕМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

3.1 Разработка классификации СИМ

Одним из важных вопросов, связанных с выработкой мер повышения безопасности и надежности использования СИМ в ГТС, является разработка системы их классификации, к которой должны быть «привязаны» соответствующие регулирующие действия органов власти (ограничения по использованию, допуски к управлению, ограничения скорости, определения допустимых условий эксплуатации и т.д.)

Во многих зарубежных странах СИМ относят к той же категории ТС, что и велосипеды, поэтому они используют для движения ту же инфраструктуру – велодорожки, велополосы, проезжую часть УДС, парковочные места и т.д. В связи большим количеством различий между средствами передвижения, относимыми к СИМ, необходима разработка основных требований к безопасности их передвижения в ГТС с анализом основных различий в их типичных расстояниях поездки, скорости и других параметрах аналогично тому, как это сделано в европейских городах (табл. 8) [75].

Таблица 8 – Основные характеристики транспортных средств и видов передвижения в европейских городах

Вид ТС/передвижения	Средняя дальность поездки, км	Средняя скорость движения, км/ч	Площадь опоры, м ²	Радиус маневрирования на минимальной скорости, м	Радиус маневрирования на крейсерской скорости, м
1	2	3	4	5	6
пеший	< 1,5	4-6	0,5-1,0	0	0,5
велосипеды	0,5-8	12-15	1,2-1,6	3,2-4,0	8,0-12,0

Вид ТС/передвижения	Средняя дальность поездки, км	Средняя скорость движения, км/ч	Площадь опоры, м ²	Радиус маневрирования на минимальной скорости, м	Радиус маневрирования на крейсерской скорости, м
1	2	3	4	5	6
электровелосипеды	0,5-15	15-35	1,2-1,7	3,2-4,0	12,0-18,0
электросамокаты	0,5-5	15-25	0,8-1,2	1,5-2,5	1,5-2,5
электроскутеры	1-20	20-40	1,2-2,0	3,5-5,0	16,0-20,0
мотоциклы	1-20	25-50	1,5-2,2	3,5-5,0	16,0-20,0
общественный транспорт	1-20	30-35	0,5-1,0	6,0-9,0	50,0-90,0
Легковой автомобиль	2-35	35-50	5,0-12,0	3,5-6,0	40,0-50,0

В зарубежной практике предложена классификация СИМ по конструктивным особенностям (табл. 9) [76].

Таблица 9 – Зарубежная классификация средств передвижения

Конструктив ная особенность	Велоси пед	Само кат	Электроса мокат	Одноколе сная электродо ска	Электроскей тборд	Электророли ковые коньки
Центральная колонна	Да	Да	Да	Возможн ый	Нет	Нет
Сиденье	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
Рабочие педали	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Доска пола / подножки	возмож на	Да	Да	Да	Да	Да
Самобаланси ровка	Нет	нет	Нет	да	нет	возможна

Опыт использования СИМ в РФ и анализ литературных источников, посвященных изучению данного вопроса, позволил выделить только одну классификационную систему, предложенную Шелмаковым С. В. [23, 24] (рис. 14). Предлагаемая классификация устанавливает соответствие между массогабаритными и скоростными характеристиками СИМ и расчётными

параметрами соответствующей инфраструктуры, предназначенной для передвижения с использованием этих СИМ.

Мощностные характеристики в данной классификации играют второстепенную роль, поскольку мощность двигателя может использоваться не только для обеспечения высокой скорости движения СИМ, но и для обеспечения их самобалансировки, перемещения более тяжёлых людей, а также для обеспечения преодоления крутых подъёмов или сильного ветра.

Согласно исследованиям Шелмакова С. В., СИМ определен как малые ТС (рис. 13).



Рисунок 13 – Классификация ТСИМ и малых ТС согласно исследованиям Шелмакова С. В. [23, 24]

В результате анализа основных классификационных систем СИМ, разработанных в РФ и за рубежом, определено пять основных их видов (табл. 10).

Таблица 10 – Существующие системы классификации СИМ

Разработчик классификации	Основные критерии	Ключевые характеристики
1	2	3
ITF (Международный транспортный форум)	Скорость движения Масса ТС Уровень автономности Наличие сиденья	Категоризация по техническим параметрам и функциональным возможностям
ЕС (Европейская комиссия)	Законодательные требования Требования к оборудованию Возраст пользователя Мощность двигателя	Фокус на нормативных аспектах и безопасности
США	Максимальная скорость Место использования Защитные элементы Тип управления	Комплексный подход к регулированию использования СИМ
SAE (Общество автомобильных инженеров), США	Технические характеристики Уровень автоматизации Системы безопасности Взаимодействие с инфраструктурой	Инженерно-технический подход к классификации
Шелмаков С.В.	Массогабаритные характеристики Скоростные параметр Тип привода Мощность	Связь характеристик СИМ с необходимой инфраструктурой

В результате анализа существующих систем, применяемых для классификации СИМ, были выделены основные классификационные признаки, которые в общем виде сведены к массогабаритным параметрам и скоростным характеристикам (табл. 11).

В разработанной системе классификации все виды СИМ разделены на два класса:

1. Класс А – СИМ, предназначенный для движения с помощью мускульной силы путём отталкивания ногами от земли в положении стоя. Данные виды СИМ классифицируются на основе максимального веса, который данное устройство может выдержать. Данный класс разделяется на три категории, а именно АІ – до 70 кг, АІІ – до 100 кг, АІІІ – до 150 кг.

2. Класс В – СИМ, имеющий элементы электрического привода (наличие аккумулятора, электродвигателя, контроллера). Они имеют такие характеристики, как мощность двигателя и емкость батареи. Классификация данных видов СИМ осуществляется на основе общей мощности силового агрегата. Категории VI – до 350 Вт, VII – до 900 Вт, VIII – до 1200 Вт.

Таблица 11 – Предлагаемая система классификации СИМ

Класс	Обозначение	Категории	Виды СИМ
1	2	3	4
Максимальная масса			
А	СИМ, предназначенный для движения с помощью движимой мускульной силы. В движение, которое приводится путём отталкивания ногами от земли в положении стоя. Классифицируются посредством максимального веса, которого данное устройство может выдержать.	АI (до 70 кг)	Роликовые коньки
		АII (до 100 кг)	Скейтборд
		АIII (до 150 кг)	Самокат
Общая мощность привода			
В	СИМ, имеющий электрическую составляющую (наличие аккумулятора, электродвигателя, контроллера). Имеют такие характеристики, как мощность двигателя и емкость батареи необходима подзарядка электроэнергии 220 ВТ. Классификация данных средств индивидуальной мобильности происходит путём сравнения общей мощности агрегата.	ВI (до 350 Вт)	Электрический самокат
		ВII (до 900 Вт)	Электрический скейтборд Сегвей
		ВIII (до 1200 Вт)	Моноколесо Гироскутер

В рамках решения задачи разработки системы классификации с использованием данных ЯндексМаркет, анализа парка СИМ на основе данных наиболее распространённых кикшеринговых служб, а также анализа продаж за 2022 года было установлено, что наиболее популярной моделью СИМ в крупнейших городах России является электросамокат Mi Electric Scooter, который, согласно принятой классификации, относится к классу В. Технические характеристики наиболее популярного устройства,

представлены в таблице 12. Эти данные были использованы на последующих этапах работы.

Таблица 12 – Технические характеристики СИМ - Электросамокат Mi Electric Scooter

Техническая характеристика	Показатель
Длина самоката	113 см
Высота рулевой стойки	118 см
Максимальная нагрузка	100 кг
Максимальная скорость	25 км/ч
Количество колес	2
Диаметр колеса	216 мм
Вес	14,2 кг
Размер деки (ширина платформы)	43 см
Ширина покрышки колеса	60 мм

3.2 Теоретический анализ конфликтных ситуаций с участием СИМ

Для дальнейшей разработки требований к безопасности использования СИМ в ГТС необходим анализ конфликтных ситуаций с участием рассматриваемого вида транспорта и, в частности, наиболее распространенного вида СИМ - электросамокатов.

На основе официальных статистических данных [78], установлено, что наибольшую опасность СИМ представляет при наезде на пешеходов, что подтверждено высоким количеством происшествий данного типа (85%). Все типы транспортных конфликтов с участием СИМ можно разделить на три группы, представленные на рис. 14 [79].



Рисунок 14 – Классификация конфликтов с участием СИМ

При передвижении СИМ по пешеходной или по транспортной инфраструктуре возникает высокая вероятность возникновения аварийных ситуаций ввиду высокой разницы в скоростях движения СИМ и других участников дорожного движения. Так, при использовании СИМ транспортной инфраструктуры (проезжей части улично-дорожной сети) скорость СИМ ограничена их техническими характеристиками (25 км/ч), а скорость автотранспортных средств - значением 60 км/ч. Такая разница в скоростях в условиях отсутствия выделенной инфраструктуры для движения СИМ сама по себе создает высокую потенциальную опасность. Однако, кроме этого, ввиду высокой маневренности СИМ они зачастую используют все пространство проезжей части, что создает определенную нагрузку на других участников ДД из-за частого переключения их внимания на таких пользователей СИМ в целях избежания аварийных ситуаций.

При передвижении СИМ по пешеходной инфраструктуре возникает иная ситуация, аналогичным образом характеризруемая разницей скоростей. При средней скорости движения пешехода около 5 км/ч движение СИМ может представлять особую опасность, т.к. их разрешенная скорость движения превышает скорость пешехода в 5 раз.

Описанные ситуации еще раз подтверждают высокую вероятность возникновения ДТП с участием СИМ в различных условиях движения. При этом, как указано выше, наиболее частые и серьезные происшествия с участием СИМ связаны с их наездом на пешеходов на пешеходной инфраструктуре [80-84].

В отличие от ДТП с участием автомобилей и велосипедов для происшествий с участием СИМ отсутствует национальная или государственная стандартизация как с точки зрения самих рассматриваемых типов ТС, так и типов происшествий с их участием, что требует определенного научного анализа данного вопроса.

В исследовании [66] определены местоположения происшествий с одновременным участием велосипедов и СИМ (конфликты «СИМ-ТС»), а

также маневры, при которых они произошли. Общее представление местоположений происшествий (тип дороги, например перекресток и подъездная дорожка к нему) схоже (р-значение точного теста Фишера = 0,644). Применяв типологию происшествий «СИМ-ТС», представленную в таблице 13, было установлено, что большинство из них произошло на перекрестках (65% аварий электросамокатов и 67% аварий велосипедов). На проезжей части происходит 17% ДТП с взаимным участием СИМ и велосипедов.

Таблица 13 – Типология происшествий с участием водителей СИМ при анализе конфликта «СИМ – ТС» [80]

Маневр автомобилиста	Маневр участника ДД – велосипедиста или пользователя СИМ						
	CR: движение с правой стороны от автомобилиста	CL: движение слева от автомобилиста	PS: Движение в том же основном направлении, что и автомобилист	PO: Движение в направлении, противоположном автомобилисту	ND: не движется или направление неизвестно	OV: Движение совместно с автомобилем - буксирование	UO: неизвестно / Другие обстоятельства
1	2	3	4	5	6	7	8
S: Движение прямо	S-CR	S-CL	S-PS	S-PO	S-ND	S-OV	S-UO
R: Поворот направо	R-CR	R-CL	R-PS	R-PO	R-ND	R-OV	R-UO
L: Поворот налево (или подготовка к повороту налево) или разворот	L-CR	L-CL	L-PS	L-PO	L-ND	L-OV	L-UO
P: на стоянке (не в транспорте)	P-CR	P-CL	P-PS	P-PO	P-ND	P-OV	P-UO
D: замедление или остановка в пробке (в транспорте)	D-CR	D-CL	D-PS	D-PO	D-ND	D-OV	D-UO
S: Движение прямо	S-CR	S-CL	S-PS	S-PO	S-ND	S-OV	S-UO

Маневр автомобилист а	Маневр участника движения – велосипедиста или водителя СИМ						
	CR: движение с правой стороны от автомобилиста	CL: движение слева от автомобилиста	PS: Движение в том же основном направлении, что и автомобиль	PO: Движение в направлении, противоположном автомобилисту	ND: Не движется или направление неизвестно	OV: Движение совместно с автомобилем - буксирование	UO: Неизвестно / Другие обстоятельства
1	2	3	4	5	6	7	8
Е: выезд на проезжую часть или полосу движения.	E-CR	E-CL	E-PS	E-PO	E-ND	E-OV	E-UO
В: Попутное движение	B-CR	B-CL	B-PS	B-PO	B-ND	B-OV	B-UO
О: другое / Неизвестно	O-CR	O-CL	O-PS	O-PO	O-ND	O-OV	O-UO

Маневры автомобилей во время их столкновения с электросамокатами отличаются от маневров при столкновении СИМ с велосипедами (точное значение p -значения теста Фишера 0,087). Автомобиль, поворачивающий налево (L), участвовал в 23% происшествий с электросамокатами и в 9% происшествий с велосипедами, в то время как на прямолинейное движение автомобилей (S) приходится 44% происшествий, связанных с наездами на электросамокаты, и 31% происшествий, связанных с наездами на велосипеды. 33% происшествий с электросамокатами и велосипедами произошли при правом повороте автомобиля (R). Другие маневры автотранспортных средств привели к небольшой доле происшествий с участием СИМ и велосипедов.

Маневры пользователей СИМ перед их столкновением с другими ТС также отличаются от маневров велосипедистов (точное значение p теста Фишера = 0,055).

В исследовании [66] было установлено, что более 60% происшествий в рамках конфликтов «СИМ-ТС» с участием велосипедов и СИМ происходило

на перекрестках, но существует сильная разница в распределении происшествий с участием СИМ и велосипедов среди типологий происшествий (точное значение р-значения критерия Фишера = 0,033), связанная, в первую очередь, с траекторией их движения и скоростью.

Согласно исследованию [66] самыми распространенными типами таких происшествий с участием СИМ на перекрестках были S-CR и R-CR, на которые приходилось 31% и 29% всех происшествий на перекрестках, соответственно.

В отличие от происшествий с участием СИМ, происшествия с участием велосипедов до некоторой степени равномерно распределены в рассматриваемой типологии. L-PO - самый распространенный тип происшествий: 17% велосипедных аварий на перекрестках. Как показано на рис. 15 (б), тип столкновения L-PO указывает, что автомобиль и велосипед движутся в противоположных направлениях и столкновение происходит, когда автомобиль поворачивает налево. На тип R-PS приходится 15% велосипедных аварий на перекрестках, когда автомобиль и велосипед движутся в одном направлении, а автомобиль поворачивает направо.

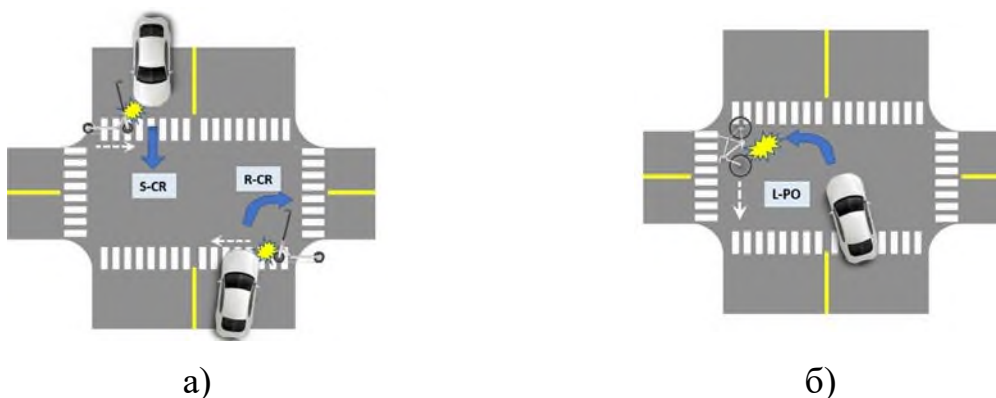


Рисунок 15 – Схемы наиболее часто возникающих конфликтов с участием велосипедистов и СИМ, согласно исследованию [66]

Анализ показал, что ранее выполненные исследования не дали полной картины происшествий, связанных с наездом СИМ на пешеходов при их совместном движении по пешеходной инфраструктуре.

В работе [86] анализируются столкновения между СИМ (в частности, электросамокатами) и пешеходами и оценивается, могут ли пешеходы и услуги СИМ безопасно сосуществовать в рамках ГТС. Следует отметить, что в работе [86], в которой наиболее полно представлена модель конфликта «пешеход - СИМ», первоначально был выполнен анализ для наиболее популярных моделей СИМ, которые используются в студенческом городке Корнелл (США) (табл. 16). Согласно анализу, выполненному в этой работе, существует два критических фактора, которые определяют вероятность возникновения рассматриваемого конфликта «СИМ-пешеход». Первый связан с пространственными факторами, налагающими ограничения, связанные с инфраструктурой, совместно используемой СИМ и пешеходами (дороги, тротуары и т.д.). Второй фактор, условно называемый «временным», связан с ограничениями, которые диктуются режимами использования СИМ (скорость, время поездки, направление и т.д.) Комбинация или сосуществование этих пространственно-временных факторов влияет на возникновение конфликтов (рис. 16).

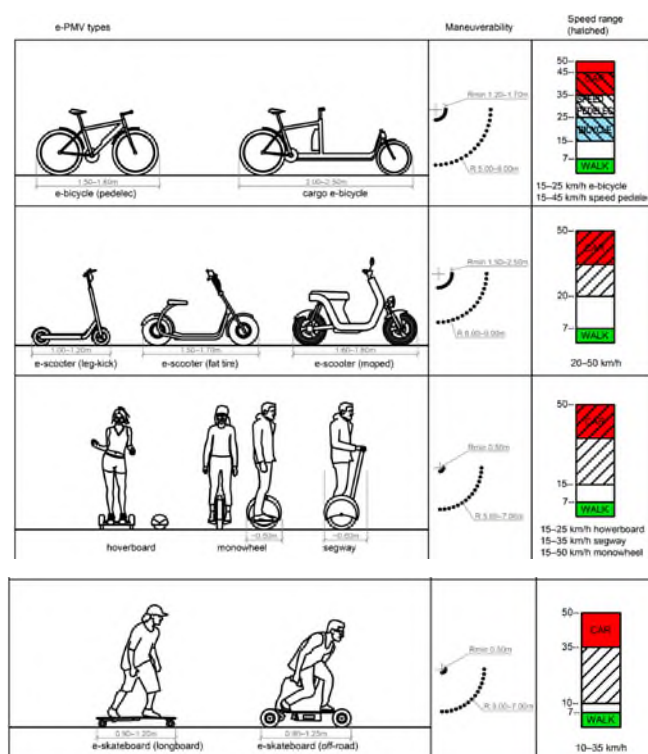


Рисунок 16 –Типы движения водителей СИМ и указания их скоростных характеристик [66]

Таблица 14 – Модели и технические характеристики СИМ, наиболее распространенные для использования студенческим в городке Корнелл (США) [86]

Обязательные элементы конструкции и характеристики движения	Распространённые модели СИМ					
	Xiaomi M365	Segway Ninebot ES2 (w/ extended battery)	Electisan F350	Custom-made Ninebot	Segway Ninebot ES2 (w/ extended battery)	Xiaomi M365
Фары	+	+	+	+	+	+
Задний / стоп-сигнал	+	+	+	+	+	+
Сигнал/гудок	+	+	+	+	+	+
Дисплей		+	+		+	
Дальность действия (миль)	18,6 (29,76 км)	15,5 (28,0) (24,8 (44,8))	20–30 (32–48)	12–25 (19,2–40)	15,5 (28,0) (24,8 (44,8))	18,6 (29,76)
Максимальная скорость миль/ч(км/ч)	15,5 (24,8)	15,5 (18,6) (24,8 (29,76))	18,0 (28,8)	15,5 (24,8)	15,5 (18,6) (24,8 (29,76))	15,5 (24,8)

Обобщение результатов отечественных и зарубежных исследований позволило составить перечень основных конфликтных ситуаций с участием СИМ и пешеходов (рис. 17, табл. 15).



Рисунок 17 – Основные критические факторы, способствующие возникновению конфликта «СИМ-пешеход»

Таблица 15 –Классификация конфликтов «СИМ-пешеход»

Маневр СИМ	Маневр пешехода					
	ПП: переход с правой стороны	ПЛ: переход с левой стороны	ПД: попутное движение	ВД: встречное движение	НД: нет движения (неподвижен)	И: иное
П: Движение прямо	П-ПП	П-ПЛ	П-ПД	П-ВД	П-НД	П-И
НП: Поворот направо	НП-ПП	НП-ПЛ	НП-ПД	НП-ВД	НП-НД	НП-И
НЛ: Поворот налево	НЛ-ПП	НЛ-ПЛ	НЛ-ПД	НЛ-ВД	НЛ-НД	НЛ-И

Анализ конфликтов «СИМ-пешеход» позволил установить, что наиболее опасным является конфликт, связанный с наездом СИМ на пешехода в попутном направлении на прямолинейных участках. Опасность этих конфликтов связана с рядом факторов:

- более высокая скорость движения СИМ на прямолинейных участках;
- неожиданность конфликта для пешехода, который не видит приближающееся СИМ;
- отсутствие (в связи с изложенным выше) возможности для пешехода принять какие-либо действия по избежанию наезда.

По экспертным оценкам на конфликты типа «П-ПД» приходится до 70-75% всех конфликтов «СИМ-пешеход».

3.3 Разработка теоретической модели оценки риска гибели пешехода при наезде на него СИМ при совмещенном движении по пешеходной инфраструктуре

В связи с изложенным выше, важной задачей является оценка риска возникновения происшествия, связанного с наездом СИМ на пешехода на пешеходной инфраструктуре и его гибели в результате такого ДТП.

При рассмотрении данного вопроса примем следующие допущения:

- рассматривается наиболее опасная ситуация – наезд при попутном движении пешехода и СИМ на прямолинейном участке пешеходной инфраструктуры. Согласно экспертным оценкам на эту долю происшествий приходится от 70 до 75% всех происшествий с участием электросамокатов [85-88];

- все рассматриваемые электросамокаты однотипны, т. е. в основном обладают техническими характеристиками, идентичными тем, которые имеют наиболее массовые модели, используемые в системах каршеринга (рис. 18).



Рисунок 18 – Основные допущения, принятые при разработке модели риска гибели пешехода в результате наезда СИМ

В качестве обоснования принятых допущений, следует еще раз отметить, что, по экспертной оценке, ситуация попутного движения и последующего наезда является наиболее травмоопасной, что связано в первую очередь с отсутствием возможности быстрой реакции у пешехода при возникновении движущегося объекта.

С учетом ранее принятой гипотезы и указанных выше допущений, риск гибели пешехода при наезде на него электросамоката на пешеходной инфраструктуре может быть оценен как частота совместного появления двух зависимых событий – события А - «наезда электросамоката на пешехода» и события В - «гибели пешехода данной категории в результате наезда электросамоката». Следует отметить, что в данном случае риск определен в

количественном выражении как произведение частоты события «наезд на пешехода» и тяжести его последствий - «вероятности гибели человека».

В качестве категорий пешеходов предложено рассматривать 3 категории: «ребенок», «взрослый с массой тела до 70 кг» (среднего телосложения) и «взрослый с массой тела более 102 кг» (крупного телосложения). Для каждой из этих j -тых категорий риск гибели пешехода определенной категории при наезде на него электросамоката равна произведению частоты наступления события А на вероятность возникновения события В при условии независимости их совершения друг от друга, что может быть представлено выражением:

$$P_j(AB) = P_j(A) \cdot P_j\left(\frac{B}{A}\right) \quad (2)$$

где $P_j(AB)$ – риск гибели пешехода j -той категории при наезде на него электросамоката; $P_j(A)$ – частота события «наезд самоката на пешехода j -той категории»; $P_j(B/A)$ – условная частота гибели пешехода j -той категории в результате наезда на него электросамоката (т.е. при условии, что событие А произошло).

Частота такого неблагоприятного события, как наезд электросамоката на пешехода (событие А) может быть оценена по аналогии с оценкой вероятности ДТП с участием автотранспорта [87, 88]. Как известно, в последнем случае вероятность ДТП оценивается как отношение числа зафиксированных событий (ДТП) к показателю «экспозиции риска» - числу пройденных за рассматриваемый временной период на рассматриваемом участке дороги автомобиле-километров (суммарный пробег). При достаточно большой величине экспозиции (10^6 - 10^7 авт. км) получаемое значение частоты ДТП приближается к вероятности их совершения. В практике оценки безопасности дорожного движения данный показатель носит название относительного коэффициента аварийности.

В эталонных дорожных условиях (прямой горизонтальный участок с шириной проезжей части 7,5 м, шириной обочин — 3,75 м, чистое, сухое и

ровное покрытие, движение в светлое время суток при уровне загрузки движением в пределах нормативных значений) значение коэффициента относительной аварийности — 0,08 ДТП на 1 млн. авт.-км (учитываются только ДТП с пострадавшими) [89].

Проводя аналогию между ДТП с участием автотранспортных средств и ДТП с участием СИМ, в частности, для случая рассмотрения наезда электросамокатов на пешеходов, частота таких происшествий – наездов самокатов (P_{nc}) на пешеходов любых категорий- можно было бы записать как:

$$P_{nc} = \frac{k_{nc}}{N_c \cdot L} \quad (3)$$

где P_{nc} – частота наездов электросамокатов на пешеходов, наездов/ на 10^x сам.-км; k_{nc} – зафиксированное количество несчастных случаев (наездов электросамокатов на пешеходов всех категорий) за время T на рассматриваемом участке пешеходной инфраструктуры длиной L , ед.; N_c – суммарное количество проехавших электросамокатов за рассматриваемое время T , сам/Т; L – длина рассматриваемого участка, км.

Очевидно, что для каждой из рассматриваемых выше j -тых групп пешеходов частота наездов, представленная интегральной формулой (2), может быть записана в виде, пропорциональном их доле в пешеходном потоке:

$$P_{ncj} = \frac{\beta_j k_{nc}}{N_c \cdot L} \quad (4)$$

где: β_j – доля пешеходов j -той группы в пешеходном потоке.

Следует отметить, что для применения формул (3) и (4) возникают две существенные сложности:

1. В отличие от ДД, объемы которого обычно велики, набрать необходимый объем «экспозиции риска» (суммарного пробега электросамокатов) для объективной оценки частоты возникновения события «наезд на пешехода» достаточно проблематично с учетом рассматриваемых значений протяженности инфраструктуры, относительно небольших периодов наблюдений и относительно небольших интенсивностей движения электросамокатов.

2. Число наездов электросамокатов на пешеходов на пешеходной инфраструктуре практически невозможно официально оценить, поскольку только небольшая часть из них попадает в официальную статистику органов ГАИ (только случаев тяжелых травм и гибели участников).

Для решения этих проблем предлагается использовать следующий подход – на рассматриваемой инфраструктуре за период наблюдения оценивается общее количество конфликтных ситуаций между владельцами электросамокатов и пешеходами.

В рамках данного исследования рассмотрены случаи конфликтных ситуаций только в одном направлении – попутном. Конфликтная ситуация характеризуется фактом попутного обгона пешехода водителем СИМ, в частности электросамоката.

Среднее количество ожидаемых обгонов пешеходов за проезд одного самоката (в одном направлении) на рассматриваемом i -том участке L_i с однородной линейной плотностью пешеходного движения (N_i), выраженное в числе обгонов, можно оценить по формуле:

$$N_i = D_i \cdot (v_c - v_n) * L_i / v_c \quad (5)$$

где D_i – линейная плотность движения пешеходов всех рассматриваемых категорий на рассматриваемом i -том участке, пеш. /м; v_c , v_n – средние скорости движения электросамокатов и пешеходов на данном участке, м/с.

С учетом интенсивности движения владельцев электросамокатов общее количество попутных обгонов на рассматриваемом участке в час может быть записано как:

$$N_{\Sigma i} = D_i * (v_c - v_n) * L_i / v_c * N_c \quad (6)$$

где: N_c – интенсивность движения самокатов, сам./час

Далее надо оценить опасность происходящих конфликтов (обгонов), поскольку не все из них равнозначно опасны. Необходимо учесть, что электросамокат динамичное и манёвренное ТС, которое может в конфликтной ситуации совершать замедления/торможения, ускорения и обгоны. Опасность

каждого конфликта зависит от скорости, на которой владелец электросамоката подъезжает к пешеходу. В принципе, можно предположить, что опасность конфликта будет пропорциональна тормозному пути электросамоката $S_{тс}$. Эта величина может быть записана как:

$$S_{тс} = \frac{v_0^2}{2g\varphi} \quad (7)$$

где: v_0 – начальная скорость торможения, км/ч; g – ускорение свободного падения; φ – коэффициент сцепления (в среднем для взаимодействия резинового колеса с сухим асфальтобетонным покрытием может быть принят равным 0,75).

Учитывая сезонный характер использования СИМ в том числе и электросамокатов на большей части территории РФ, в работе ограничимся рассмотрением только ситуации движения в бесснежный период года (сухое покрытие), такое допущение тем более оправдано, что в условиях резкого снижения коэффициента сцепления (гололед, снег и т. д.) прокатные компании приостанавливают использование кикшеринговых самокатов, а частные владельцы значительно сокращают свои поездки, что, в итоге, существенно снижает риск происшествий.

Исходя из вышеизложенного, для оценки опасности конфликтных ситуаций, происшедших на рассматриваемом участке УДС за рассматриваемое время T , необходимо знать скоростные характеристики движения самокатов по пешеходной инфраструктуре. Для каждого владельца электросамоката скорость его движения может меняться по длине рассматриваемого участка. Однако получение совокупного пространственно-временного распределения скоростей движения всех рассматриваемых электросамокатов по длине участка L за период времени T достаточно сложно. Поэтому в первом приближении (предполагая поведение каждого владельца однозначным и постоянным) будем считать, что распределение скоростей движения электросамокатов в сечении рассматриваемого участка L будет

отражать их совокупное пространственно-временное распределение на всей длине данного участка.

Учитывая изложенное, можно ввести показатель опасности возникающих конфликтных ситуаций K_c , характеризующий долю конфликтов (обгонов пешеходов), при которых начальная скорость электросамоката (до момента возможного начала торможения) будет превышать «условно безопасную» скорость по условиям торможения. Экспертно принято, что такой скоростью v_{yb} может являться скорость, при которой тормозной путь электросамоката со среднестатистическим пользователем в соответствии с формулой (6) будет составлять менее 2 м. По формуле (7) определяем, что значение v_0 составит в этом случае 19,5 км/ч. Учитывая, что мы рассматриваем случай попутного движения электросамоката и пешехода и пешеход при этом движется со средней скоростью 5 км/ч, получаем, что «условно безопасную» по условиям торможения скорость электросамоката можно принять, как не превышающую 25 км/ч.

Учитывая это, показатель опасности конфликтных ситуаций на рассматриваемом участке инфраструктуры за рассматриваемый период времени T может быть выражен через долю опасных конфликтных ситуаций K_c от общего их зарегистрированного числа или, принимая, что эта доля эквивалентна доле случаев превышения «условно безопасной по условиям торможения» скорости движения СИМ в выбранном сечении УДС:

$$K_c = \frac{\int_{v_{yb}}^{v_{max}} f(v) dv}{\int_{v_{min}}^{v_{max}} f(v) dv} \quad (8)$$

где: $f(v)$ – функция распределение частоты появления мгновенных скоростей движения электросамокатов в сечении рассматриваемой пешеходной инфраструктуры; v_{min} , v_{max} , v_{yb} - минимальное, максимальное и «условно безопасное» значения мгновенных скоростей движения электросамокатов в рассматриваемом сечении.

Далее, очевидно, что не все конфликтные ситуации переходят в совершение наезда на пешехода. Как водитель самоката, так и пешеход имеют определенную свободу маневра на пешеходной инфраструктуре, что позволяет им избежать наезда. Учитывая это, можно ввести экспертный коэффициент γ , характеризующий среднестатистическую долю перехода конфликтных ситуаций в наезд на пешехода.

Отметим, что для определения значения K_c были выполнены экспериментальные исследования скоростных режимов движения СИМ на однородных по условиям движения мерных участках пешеходной инфраструктуры. Измерения проводились в утренние часы пик в летний период, в сухую погоду. Для таких условий можно однозначно принять что распределение мгновенных скоростей движения СИМ в сечении пешеходной инфраструктуры будет соответствовать пространственно-временному распределению скоростей СИМ на исследуемом однородном участке. Учитывая исследования [87-90] установлено, что распределение скоростей описывается нормальным законом распределения. По полученным данным натурных наблюдений и определенной функция плотности распределения $f(v)$, была выполнена оценка вероятности движения СИМ с превышением допустимой скорости, что может быть принято эквивалентным доле автомобилей, превышающих эту скорость и создающих конфликтную ситуацию, оцениваемую коэффициентом K_c , вида:

$$P(v > v_{\text{без}}) = \int_{v_{\text{без}}}^{\infty} f(v) dv \quad (9)$$

В численном выражении по итогам проведенных наблюдений значение K_c для рассматриваемых условий составило 0,053.

Возвращаясь к формулам (4) - (6) можно, учитывая вышеизложенное, записать частоту наездов на пешеходов категории j , связанных с наездом электросамоката на пешеходной инфраструктуре $P_{\text{нс}i}$, как:

$$P_{\text{нс}j} = \frac{\beta_j K_c * \gamma \cdot N_{\Sigma i}}{N_c \cdot L} \quad (10)$$

Данное выражение, таким образом, может быть использовано в формуле (2) в качестве значения частоты события А - $P_j(A)$.

В случае, если нам необходимо оценить частоту события А на протяженном участке сети за длительный период времени (например, за год), формула (10) может быть записана в виде:

$$\sum_{i=1}^n i \sum_{j=1}^3 j m \frac{\beta_j K_c \gamma N_{\Sigma i}}{N_c L} \quad (11)$$

где: m – число дней в году, в течение которых осуществляется эксплуатация СИМ; n - число рассматриваемых участков пешеходной инфраструктуры.

Следует отметить далее, что выбираемая владельцами СИМ скорость движения в значительной степени зависит от условий движения и, в частности, от наличия на проезжей части/на пешеходной инфраструктуре других участников ДД (пешеходов, водителей СИМ, велосипедистов). В условиях смешанного движения СИМ по пешеходной инфраструктуре увеличение плотности пешеходного движения начиная с определенного уровня приводит к снижению средней скорости движения СИМ вследствие возникающих затруднений в движении и необходимости все чаще применять режим торможения.

Для оценки риска гибели пешехода при наезде на него СИМ на пешеходной инфраструктуре с использованием результатов, представленных в данной главе, на следующем этапе необходимо проведение натурных и виртуальных экспериментов для:

- оценки вероятности гибели пешехода при наезде на него электросамоката на разных скоростях;
- установления статистической зависимости скорости движения СИМ (электросамоката) от плотности пешеходного движения на пешеходной инфраструктуре.

3.4 Разработка теоретической модели нормирования скорости движения СИМ по условиям ровности дорожного покрытия

Качество УДС играет ключевую роль в обеспечении безопасности движения СИМ в городской среде (количество конфликтов «инфраструктура-СИМ»). Данные НЦ БДД [33] свидетельствуют о том, что каждый пятый пострадавший среди пользователей СИМ получил травмы в результате падения, вызванных некачественным состоянием дорожного покрытия или столкновением с препятствиями городской инфраструктуры, что подчеркивает прямую зависимость между состоянием дорог и безопасностью эксплуатации СИМ.

В результате комплексного анализа НПБ [101-105] включая ГОСТ Р 52766-2007 «Дороги автомобильные и улицы. Элементы обустройства. Общие требования», ГОСТ 33128-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Технические требования», ГОСТ Р 50597-2015 «Дороги автомобильные и улицы», регламентирующей вопросы обустройства городской инфраструктуры и устанавливающей допустимые геометрические параметры различных элементов городской среды, было идентифицировано пять ключевых компонентов, определяющих функциональное и пространственное развитие городских территорий:

1. Бордюр типа БР 100.20.8 – для отделения пешеходных дорожек и тротуаров от газонов – 200 мм [101];
2. Искусственная неровность – высота 7 см [102];
3. Бордюр типа БЛ 300.32.68 – для отделения проезжей части улиц, дорог от тротуаров и газонов и устройства полос безопасности – 320 мм [103];
4. Колея проезжей части. Согласно нормативному документу [104] на проезжей части возможно образование колеи, устранение которой при глубине более 5 см осуществляется при капитальном ремонте дорог и улиц;
5. Бордюр, расположенный при пересечении проезжей части, высота которого нормируется 4 см [105] (табл. 16).

Таблица 16 – Высота основных элементов городских дорог и улиц,
представляющих опасность для движения СИМ

№ п/п	Наименование элемента	Допустимая максимальная возвышенность элемента над уровнем проезжей части или тротуара, h_{max} , м
1	Бордюр для отделения пешеходных дорожек, расположенных вдоль проезжей части	0,2 м
2	Искусственная неровность	0,07 м
3	Возвышенный бордюр для отделения проезжей части	0,32 м
4	Колея проезжей части	0,05 м
5	Бордюр для отделения проезжей части при обустройстве необозначенных переходов	0,04 м

Данные элементы являются основополагающими при проектировании и реконструкции городской инфраструктуры, обеспечивая безопасность и комфорт передвижения всех участников ДД.

При выполнении математического расчета безопасных скоростных режимов движения СИМ, в частности электросамоката при наезде на элементы городской среды использованы основные технические характеристики типового СИМ, определенного в главе 2 как наиболее распространенное устройство.

Принятое допущение о расчете наезда колеса самоката без учета центра тяжести оператора обосновано следующими факторами:

1. Временной фактор: при наезде на препятствие время контакта крайне мало, что не позволяет центру тяжести оператора существенно сместиться.

2. Энергетический фактор: доминирующую роль играет кинетическая энергия системы, а влияние положения центра тяжести компенсируется другими факторами.

3. Математическая составляющая: учет центра тяжести оператора вносит поправку порядка 5-10%, что статистически незначимо при существующих погрешностях измерений.

4. Практическая применимость: модель дает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными и позволяет получить более устойчивые решения.

Данное допущение является первой приближенной оценкой, позволяющей получить базовые закономерности процесса наезда без излишнего усложнения математической модели. При этом модель может быть использована как базовый вариант для дальнейших уточнений и служит основой для создания программного обеспечения.

Границы применимости модели определены областью, где влияние неучтенного фактора относительно невелико, а погрешность модели находится в приемлемых пределах. При необходимости модель может быть уточнена путем введения дополнительных параметров.

Для описания основных параметров при наезде колеса электросамоката на препятствие была использована программная среда TinkerCAD, которая позволяет графически визуализировать рассматриваемый процесс (рис. 19).

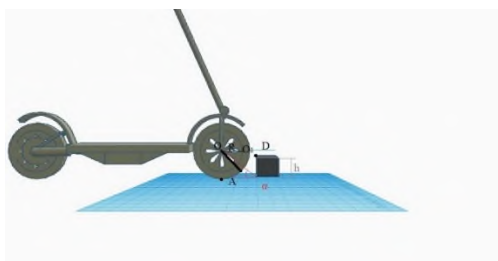


Рисунок 19 – Визуализация процесса наезда колеса самоката на препятствие в программной среде TinkerCAD

Обозначаем v , скорость самоката, наезжающего на препятствие высотой h , радиус колеса самоката R . их отношение обозначим через ε , которую возможно вычислить с использованием формулы:

$$\varepsilon = h/R. \quad (12)$$

В результате анализа процесса наезда колеса на препятствие было установлено, что в момент столкновения колесо самоката опирается на дорогу в точке А и в дальнейшем будет соприкасаться с вершиной препятствия в

точке D. Если высота препятствия h , тогда синус и косинус угла α возможно вычислить с использованием формул:

$$\sin \alpha = 1 - \varepsilon, \quad (13)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)}. \quad (14)$$

При взаимодействии с препятствием (ударе колеса о препятствие) колесо самоката получает обратный горизонтальный импульс P , который определяется модулем отраженной скорости $|v|$, зависящим от коэффициента упругости – k , определяемого по формуле:

$$|v| = kv, \quad (15)$$

где k находится в пределах от 0 до 1.

В результате соударения угловую скорость вращения колеса возможно определить с использованием формулы

$$\omega = [v + |v| \sin \alpha] / R. \quad (16)$$

Выполненный расчет угловой скорости позволяет определить период вращения колеса, который в данном случае будет определен с использованием формулы:

$$T = 2\pi / \omega. \quad (17)$$

Для того чтобы колесо самоката преодолело препятствие, не отрываясь от него, ему надо повернуться вокруг точки D на угол φ , который находится по формуле:

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \arcsin \alpha. \quad (18)$$

Процесс преодоления препятствия произойдет в течение времени t_0 , которое возможно рассчитать с использованием формулы:

$$t_0 = \frac{\varphi T}{2\pi} = \frac{\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \alpha\right) R^2}{[v + |v| \sin \alpha]}. \quad (19)$$

Также необходимо учесть, что ось колеса получает дополнительные перемещения по вертикали вверх и по горизонтали назад, тогда относительно точки О – точки центра оси колеса - скорость, направленная вертикально вверх, будет определена с использованием формулы:

$$w_0 = |v| \sin \alpha \cos \alpha. \quad (20)$$

Горизонтальная, встречная скорость движения самоката, будет рассчитана с использованием формулы:

$$u_0 = |v| \cos^2 \alpha. \quad (21)$$

Тогда за промежуток времени t_1 ось колеса поднимется на высоту h_{\max} , определяемых с использованием формул:

$$t_1 = \frac{w_0}{g}, \quad (22)$$

$$h_{\max} = \left[|v| / 2g \right] \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha, \quad (23)$$

где g – ускорение свободного падения = 9,8 м/с².

Тогда ось колеса сместится в точку О₁ – точку смещения центра оси колеса - и окажется на высоте h_1 , относительно поверхности дороги которую возможно определить с использованием формулы:

$$h_1 = h + R + h_{\max}. \quad (24)$$

Таким образом, расстояние до точки О₁ по горизонтали x_1 будет определено с использованием формулы:

$$x_1 = R\sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)} + [v - |v|\cos^2 \alpha]t_1. \quad (25)$$

В случае если $x_1 > R$ – колесо достигнет вертикали О₁D и не упадет на препятствие, в противном случае ($x_1 < R$) колесо не достигнет вертикали О₁D и упадет на препятствие, что наглядно отражено на рис. 20.

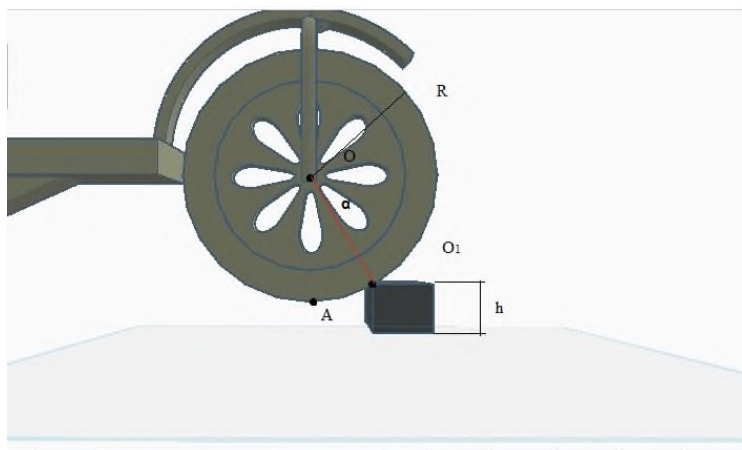


Рисунок 20 – Визуализация процесса отрыва колеса самоката от препятствия в программной среде TinkerCAD

Процедура расчета была представлена в виде алгоритма, представленного на рис. 21.

Математическое описание рассматриваемого процесса – наезда колеса самоката на препятствие с использованием формул (14) - (27) позволяет выполнить расчет наезда на определенные элементы и возможные дефекты проезжей части/пешеходной инфраструктуры (табл. 23) при различных скоростях движения. С учетом определенных выше элементов и дефектов проезжей части/пешеходной инфраструктуры, которые имеют определенную высоту и представляют своего рода препятствие для движения СИМ, выполнен расчет для каждого вида препятствий и для диапазона скоростей движения от 5 до 25 км/ч с шагом в 1 км/ч. Были установлены случаи, при которых возможно опрокидывание рассматриваемого устройства.

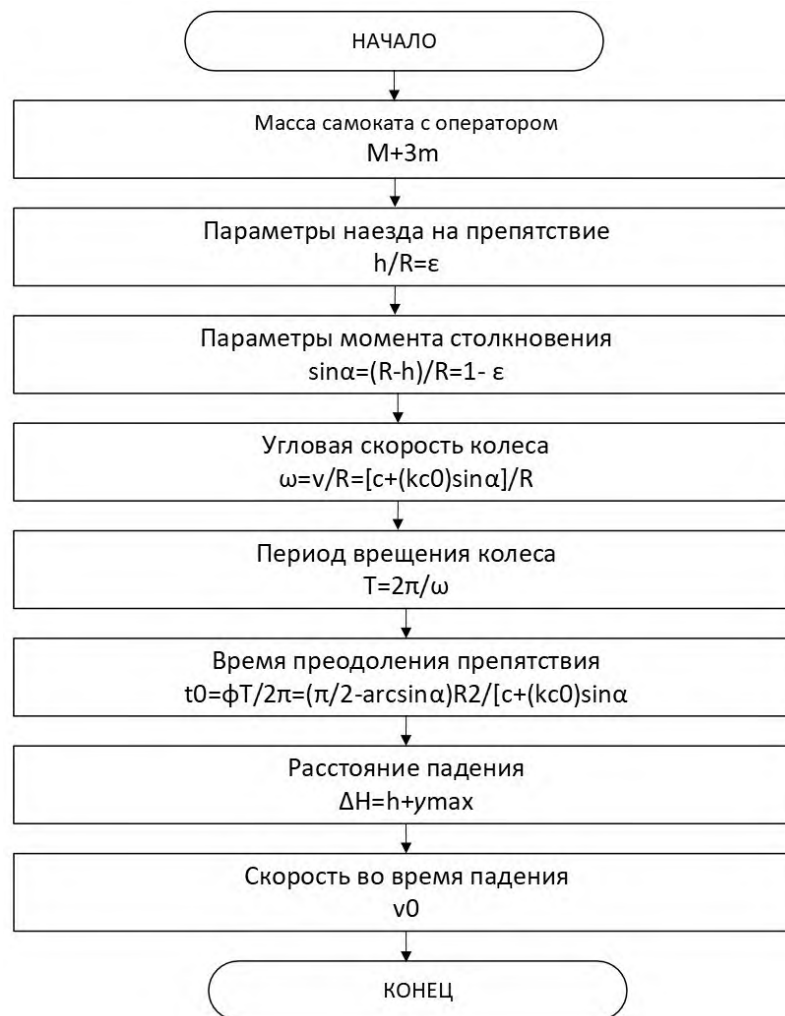


Рисунок 21 – Алгоритм расчета безопасной скорости движения с учетом наезда на определенные элементы городской инфраструктуры

Проведенный расчет для первого исследуемого элемента - бордюра, разделяющего пешеходные дорожки (рис. 22), выявил критическую ситуацию: при движении СИМ в диапазоне скоростей от 5 до 30 км/ч возникает риск опрокидывания. Данное обстоятельство представляет существенную опасность для водителя, так как с высокой вероятностью может привести к получению травм.

Полученные результаты подчеркивают необходимость особого внимания к данному элементу городской инфраструктуры при разработке безопасных маршрутов для СИМ и указывают на потребность в разработке специальных мер по обеспечению БДД в местах пересечения с бордюрными камнями.

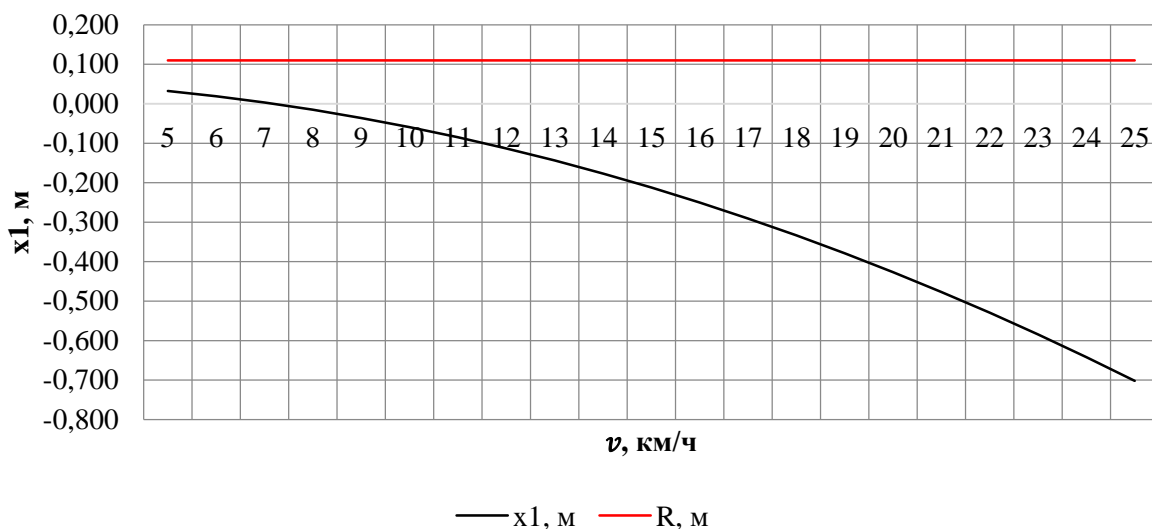


Рисунок 22 – График зависимости параметра $x1$ от скорости движения СИМ и при наезде на бордюр для отделения пешеходных дорожек

Следующим элементом, который довольно часто встречается на проезжей части вблизи муниципальных объектов – школы, детские сады, больницы и пр. - являются искусственные неровности («лежачие полицейские»). Выполненный расчет позволил установить, что при движении со скоростью в установленном диапазоне опрокидывания рассматриваемого устройства не происходит (рис. 23).

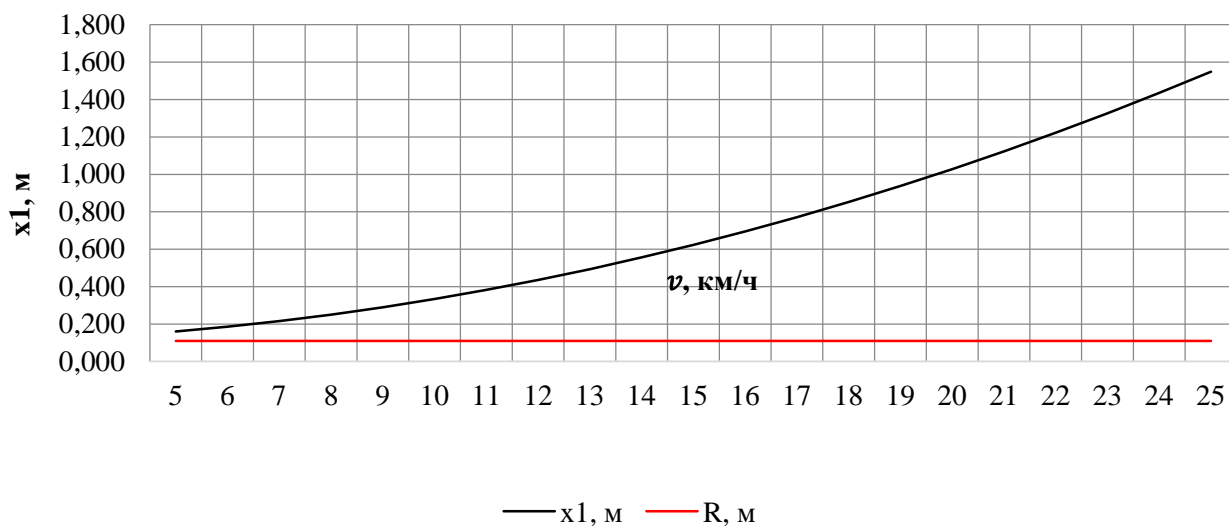


Рисунок 23 – График зависимости параметра $x1$ от скорости движения СИМ и при наезде на искусственную неровность

При расчете случая наезда СИМ на бордюр для отделения проезжей части высотой 32 см, аналогично, как и при расчете первого типа препятствия (рис. 23), произойдет опрокидывание.

При выполнении заключительного расчета следует отметить, что согласно последним поправкам в ПДД, СИМ разрешено передвигаться по краю проезжей части, используя для движения крайнюю правую полосу. В связи с этим рассматриваемое ТС вполне может передвигаться по колее, но при выезде из нее придется преодолеть определенную высоту неровности, что своего рода станет препятствием для движения. Основываясь на требованиях нормативного документа, предписывающего устранение данного дефекта при осуществлении капитального ремонта, рассматриваемая ситуация вполне характерна для городских улиц и дорог. Выполненный расчет показал, что при установленном диапазоне скоростей и принятом радиусе колеса СИМ ($R = 0,11$ м) опрокидывание при выезде из колеи не произойдет (рис. 24).

Следует отметить, что в результате расчета было определено, что условия опрокидывания во многом зависят от конструкции самих ТС, а именно от размеров колеса СИМ, определенных диаметром.

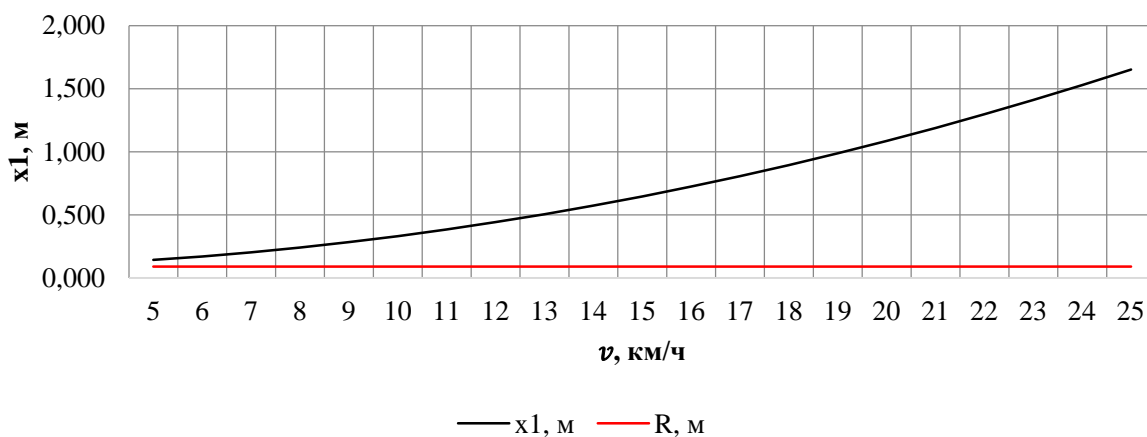


Рисунок 24 – График зависимости параметра $x1$ от скорости движения СИМ и с учетом дефекта – колея ПЧ

Для рассмотренных видов препятствий в результате расчетов было определено, что опрокидывание СИМ и падение его водителя произойдет в

случае, если радиус колеса будет равен или меньше высоты самого препятствия. Для определения допустимой по условиям безопасности скорости движения по проезжей части городских дорог и улиц в рамках исследования был выполнен модельный эксперимент с использованием специализированного программного продукта для оценки степени травмирования водителя СИМ при его падении – критерия НИС.

Согласно ранее выполненным исследованиям, для взрослого человека значение НИС выше 100 является смертельно опасным, для ребенка пороговое значение НИС составляет 700.

Анализ представленных ранее типов препятствий показывает, что при движении СИМ по наиболее распространенной части городской инфраструктуры – тротуару, довольно часто происходит пересечение проезжей части, в связи с этим, рассматриваемое устройство будет взаимодействовать с бордюром (рис. 25), при математическом моделировании наезда на который, происходит опрокидывание СИМ и соответственно, падение водителя СИМ.



Рисунок 25 – Виды бордюров для отделения ПЧ при обустройстве необозначенных переходов

Рассмотрим варианты наезда на бордюр водителей двух типов – мужчины крупного телосложения и среднего телосложения (рис. 31 а, б). В программной

среде MADYMO, была проведена симуляция наезда СИМ, в частности электросамоката на определенный тип препятствия – бордюр, высотой 4 см. и выполнена оценка по критерию травмирования головы (НІС). Расчет в программной среде был выполнен для различных скоростей движения – 5 км/ч, 10 км/ч, 15 км/ч, 20 км/ч и 25 км/ч.

С учетом показателя НІС=1000 (красная линия рис. 41, который свидетельствует о критическом травмировании головы и высокой вероятности летального исхода, было установлено, что при движении по тротуару и пересечении ПЧ с возможным наездом на выступ – бордюр, высотой 4 см, опрокидывание и гибель водителя возможна при падении на скорости 20 км/ч (рис. 26).

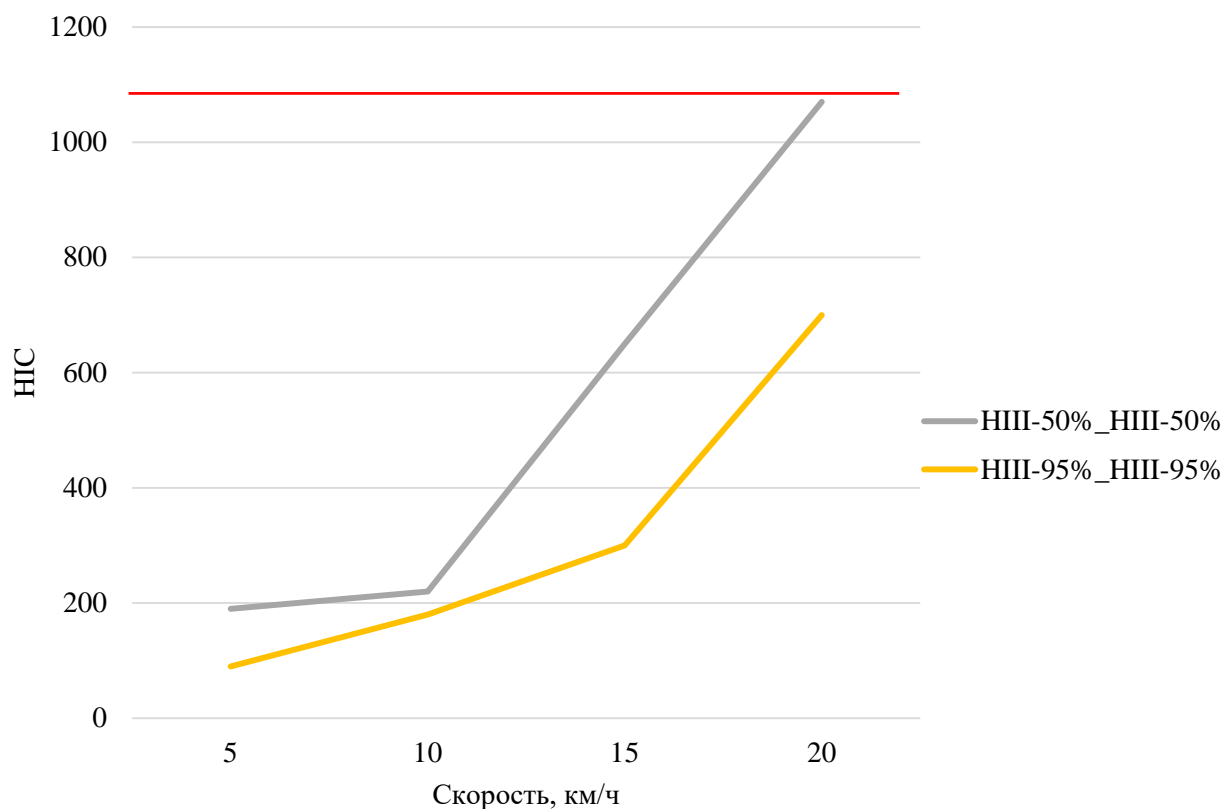


Рисунок 26 – Результаты расчета критерия травмирования головы различных манекенов при падении в результате наезда на бордюр высотой 4 см.

Таким образом, по результатам выполненного компьютерного эксперимента в программной среде MADYMO, было определено что

максимально разрешенной скоростью при движении СИМ по тротуару, пешеходной дорожке, велопешеходной и велосипедной дорожке, с учетом возможного пересечения проезжей части, не обозначенной специализированным пешеходным переходом и обозначенными техническими средствами организации дорожного движения – разметкой 1.14.1 и дорожными знаками 5.19.1 и 5.19.2 и наличия допустимого выступа, согласно нормативной документации, является скорость движения ниже 20 км/ч, что обязательно должно быть учтено при разработке требований и условий к движению СИМ, с целью снижения происшествий, связанных с опрокидыванием рассматриваемых устройств.

3.5 Выводы по главе 3

В результате работ выполненных в главе 3 были разработаны теоретические модели оценки рисков дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности, что подтверждается следующими результатами и выводами:

1. Разработана новая классификация средств индивидуальной мобильности по полной массе транспортного средства и мощности привода;
2. Установлено, что наиболее частый тип наезда на пешехода ситуаций с участием средств индивидуальной мобильности позволил определить наиболее частый тип конфликта, связанный с наездом на пешехода. Разработана теоретическая модели оценки риска гибели пешехода при наезде на него средства индивидуальной мобильности при совмещенном движении по пешеходной инфраструктуре.
3. Разработана теоретической модели нормирования скорости движения учитывающая оценка приспособленности дорожной инфраструктуры к движению средства индивидуальной мобильности.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ СИМ ПО ПЕШЕХОДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ И ТЯЖЕСТИ СОВЕРШАЕМЫХ НАЕЗДОВ НА ПЕШЕХОДОВ

Интеграция СИМ в ГТС представляет собой сложный процесс, требующий системного подхода и использования современных методологий анализа транспортных/пешеходных потоков, безопасности движения и эффективности функционирования всей транспортной сети. СИМ, в частности электросамокаты, всё чаще используются для решения задач «первого» и «последнего километра», что делает их важным элементом устойчивой ГТС.

В данной главе рассматриваются результаты экспериментальных исследований, направленные на оценку влияния СИМ на параметры ГТС, включая безопасность, скорость передвижения и эффективность функционирования транспортной сети.

4.1 Проведение социологического обследования

Для выполнения работ по расчету показателей использования СИМ и последующего анализа основных конфликтов, крайне важной задачей является определение условного профиля его пользователя (оператора). С этой целью в рамках экспериментальных исследований во взаимодействии с Департаментом транспорта г. Москва был разработан перечень вопросов для проведения социологического исследования по определению условного профиля пользователя/водителя СИМ, перечень составленных вопросов представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень вопросов для проведения социологического исследования по определению профиля оператора СИМ

№ п/п	Наименование вопроса	Перечень возможных вариантов ответа
1	Ваш пол	- женский; - мужской.
2	К какой возрастной группе Вы относитесь	- до 20 лет; - от 20 до 30 лет; - от 30 до 40 лет; - от 40 до 50 лет; - свыше 50 лет.
3	Вы являетесь пользователем легкового автомобиля	- да; - нет.
4	В повседневной жизни Вы используете СИМ в качестве средства передвижения	- да; - нет.
5	Вы используете СИМ для передвижения с целью	- развлечения и отдыха; - трудовая потребность; - не использую.
6	При пользовании СИМ Вы чаще всего используете для передвижения следующие виды городской инфраструктуры	- транспортную – проезжую часть; - пешеходную – тротуары, пешеходные дорожки; - одинаково.

Объем выборки составил 3070 человек. Согласно научным источникам [82-85] и выполненному расчету объем выборки (31) в 3070 человек значительно превышает минимально необходимый порог (1067). Это означает, что: погрешность будет ещё меньше. При $n=3070$ и тех же условиях ($Z=1,96$, $p=0,5$), реальная погрешность составит 0,0177, что подтверждает высокую точность.

$$n = [Z^2 \times p \times (1-p)] / e^2 \quad (26)$$

где: n — необходимый размер выборки; Z — Z -значение (коэффициент доверительной вероятности) - 0,95; p — ожидаемая доля признака в выборке (или 0,5 при отсутствии предварительных данных); e — допустимая погрешность (обычно от 0,01 до 0,1).

С использованием on-line сервиса в социальных сетях о Департамента транспорта Москвы в августе 2022 года был осуществлен социологический опрос с использованием представленного перечня вопросов (табл. 14), в результате опроса было опрошено 3070 респондентов.

Так, в результате ответа на вопрос как часто вы пользуетесь службой кикшеринга 25% ответило, что больше нескольких дней в неделю (рис. 27).

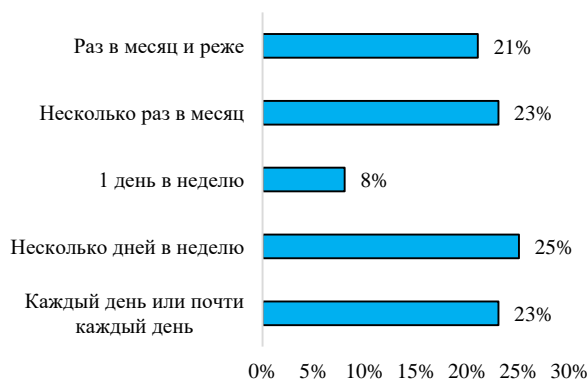


Рисунок 27 – Результаты социологического опроса при ответе на вопрос «Как часто Вы пользуетесь службой кикшеринга»

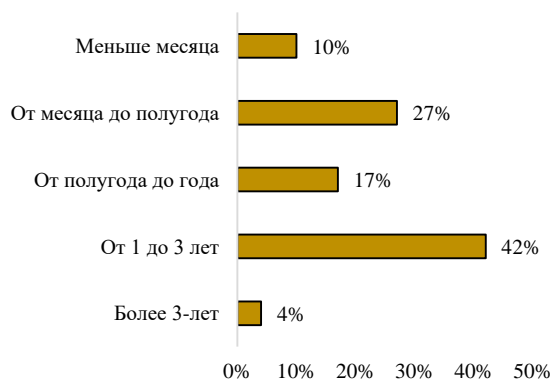


Рисунок 28 – Результаты социологического опроса при ответе на вопрос «Как давно Вы пользуетесь кикшерингом»

Более 1200 респондентов отметили что пользуются услугами кикшеринга от 1 до 3 лет, при ответе на вопрос «Как давно Вы пользуетесь кикшерингом» (рис. 28), 72% респондентов отметили что пользование СИМ заменяет им пешие прогулки, что позволяет сделать вывод об отсутствии у респондентов личного транспорта и довольно высоких преимуществах рассматриваемого вида транспорта, что было отмечено более половиной опрошенных (рис. 29).

При ответе на вопрос по поводу преимуществ кикшеринга почти половина респондентов отметили удобство добираться к месту назначения и быстроту движения, что еще раз подтверждает отсутствие ограничения в скоростном режиме (рис. 30).

Таким образом по результату ответа на вопросы, связанные с основными показателями пользования службой кикшеринга, а именно СИМ можно отметить что большинство опрошенных довольно давно (на протяжении 3-х) лет используют данный вид транспорта, причем чаще чем один раз в неделю, многим этот вид транспорта заменяет пешие прогулки и движение в общественном транспорте и большинство отмечает высокую скорость

доставки (движения) и возможность добраться до места назначения. Полученные данные подтверждают высокую активность пользования СИМ, а также дают возможность сделать вывод о том, что спрос на них будет только увеличиваться.



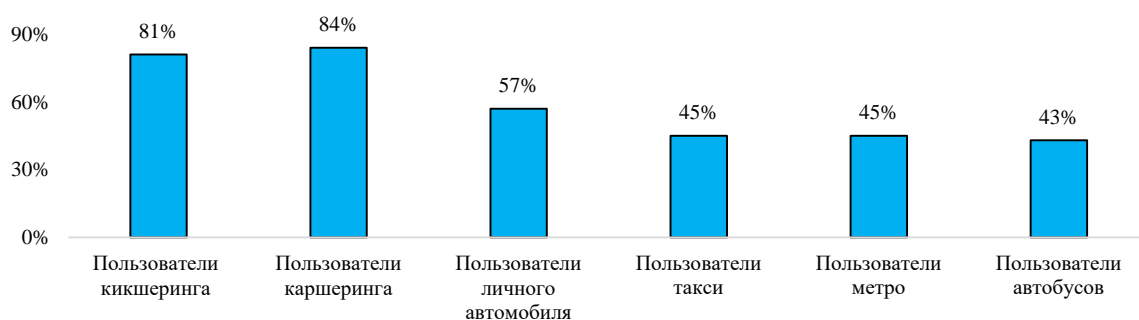
Рисунок 29 – Результаты социологического опроса при ответе на вопрос «Вместо какого транспорта Вы используете кикшеринг»



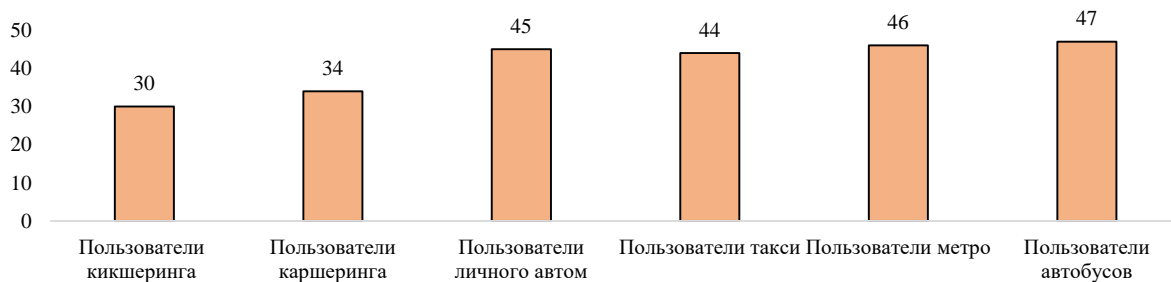
Рисунок 30 – Результаты социологического опроса при ответе на вопрос «Преимущества кикшеринга»

По результату ответов на блок вопросов, связанных с определением профиля пользования водителем СИМ было установлено что в большинстве случаев это мужчины в возрасте от 25-30 лет не имеющие личного самоката, в более половине случаев работающих в офисе и не имеющих водительских прав или не пользующихся личным транспортом, что позволяет сделать вывод о том, что данные водители в каждом втором случае, скорее всего не владеют знаниями ПДД, что также создает определенные проблемы при пользовании кикшеринга. Помимо определенного профиля водителя СИМ были получены портреты пользователей разными видами транспорта, что наглядно представлено на рис. 19.

По результату ответов на блок вопросов, связанных с определением профиля пользования СИМ было установлено что в большинстве случаев это мужчины в возрасте 30 лет, не имеющие личного самоката, в более половине случаев работающих в офисе и не имеющих водительских прав или не пользующихся личным транспортом, что позволяет сделать вывод о том, что данные пользователи в каждом втором случае, скорее всего не владеют знаниями правил дорожного движения, что также создает определенные проблемы при пользовании кикшеринга. Помимо установленной характеристики условного пользователя СИМ были получены портреты пользователей разными видами транспорта, что наглядно представлено на рис. 31.



а) результаты социологического опроса «портрет пользователя» - доля мужчин



б) результаты социологического опроса «портрет пользователя» - средний возраст

Рисунок 31 – Результаты социологического опроса «портрет пользователя»

В результате обработки данных, полученных в ходе социологического опроса, были установлены основные показатели пользования СИМ и определен условный профиль пользователя, определено, что основными пользователями кикшеринга – аренда электросамокатов, являются мужчины

(81%), возраст которых в среднем 30 лет, из которых 26% работают в ИТ и 59% работают из офиса. Большинство пользователей (73%) не имеют личного самоката и 56% не имеют водительских прав или не водят автомобиль, что свидетельствует о недостаточном уровне знаний правил дорожного движения.

С учетом полученных данных и работы с нормативными справочными источниками [94 – 98] по установлению основных параметров – массы и роста в соответствующей возрастной группе, был определен профиль пользователя СИМ (рис. 32).

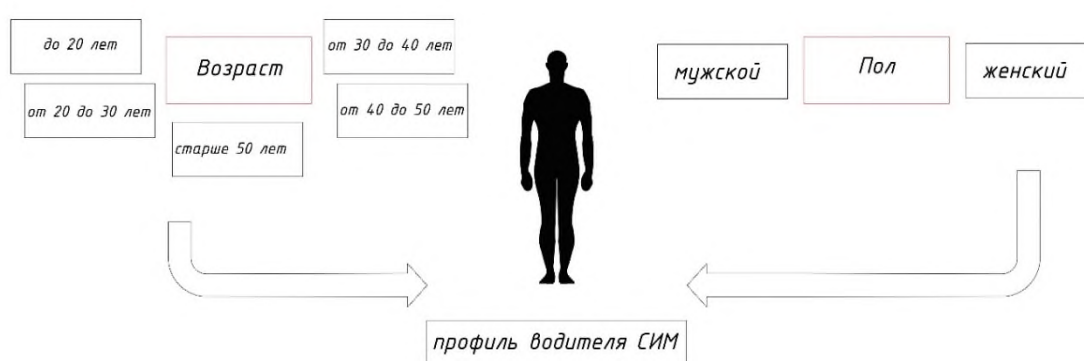


Рисунок 32 – Профиль пользователя СИМ

Полученные результаты позволяют определить параметры пользователя СИМ, что является необходимым мероприятием для выполнения модельного эксперимента. Определенные параметры водителя СИМ позволяют получить более достоверные данные, которые в большей степени приближенные к существующей ситуации на улично-дорожной сети (УДС).

4.2 Оценка зависимости средней скорости движения СИМ от плотности пешеходного движения на пешеходной инфраструктуре

В результате выполненных натурных исследований установлено, что интенсивность пешеходных потоков значительно увеличивается в выходные, аналогичным образом увеличивается и количество движущихся по

пешеходной инфраструктуре СИМ. Результаты наблюдений позволили установить определённую зависимость между скоростью движения СИМ и плотностью движения пешеходного потока, что отражено на рисунке 33. По результату аппроксимации полученных данных была установлена линейная функциональная зависимость, с достоверностью 88% описываемая линейным уравнением:

$$\vartheta_c = 24,85 - 4,78 \cdot D_{\text{п}} \quad (27)$$

где: ϑ_c – средняя скорость движения СИМ, км/ч; $D_{\text{п}}$ – плотность пешеходного потока, пеш/м.

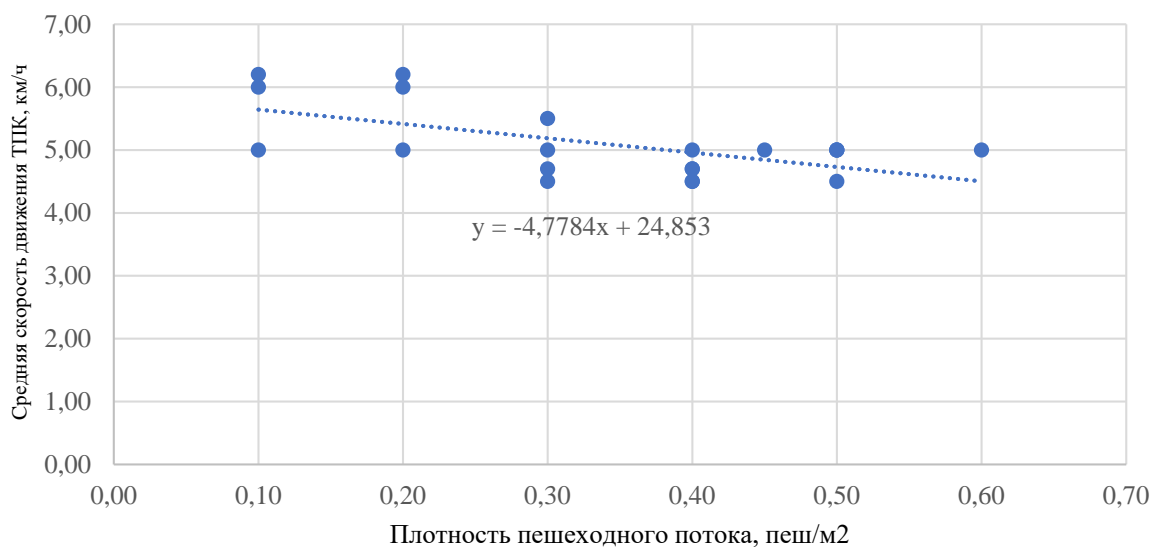


Рисунок 33 – График зависимости средней скорости движения СИМ от плотности пешеходного потока

Учитывая полученные результаты, для суммарного количества попутных обгонов может быть записана как:

$$N_{\Sigma i} = D_i * [v_c(D_i) - v_{\text{п}}] * L_i / v_c * \frac{N_c}{3600} \quad (28)$$

В соответствии с формулой (8) был выполнен расчет значений частоты наезда на пешеходов P_{Σ} (А) в зависимости от плотности пешеходного потока. Соответствующая зависимость представлена на рис. 34.

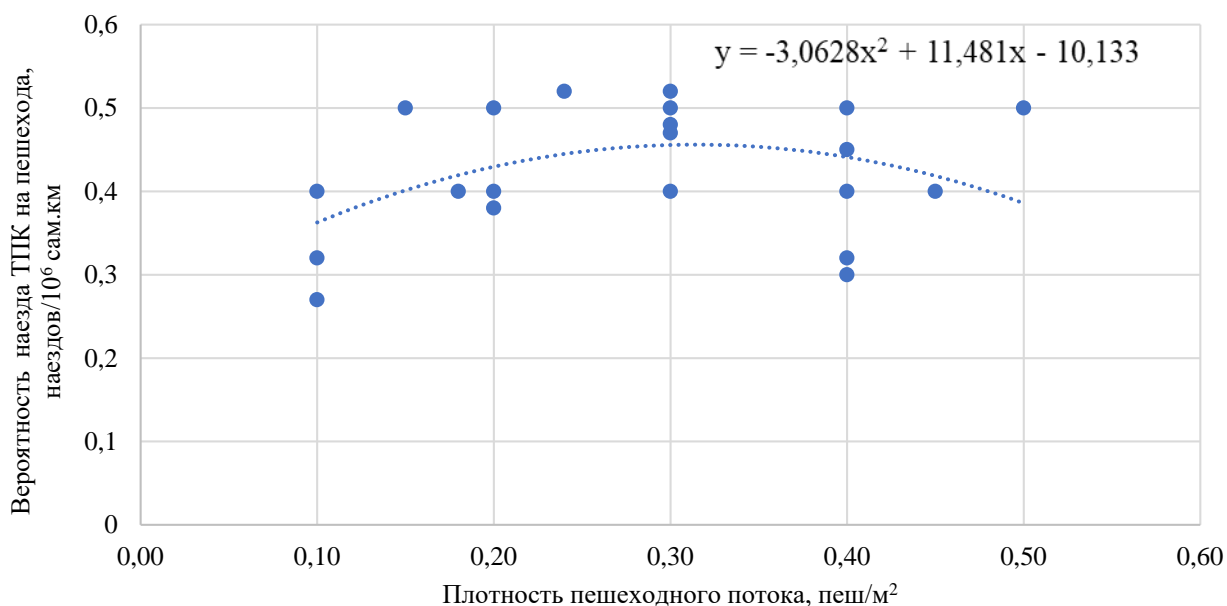


Рисунок 34 – График зависимости частоты наездов СИМ на пешеходов от плотности пешеходного движения

Представленные данные говорят о том, что частота наезда на пешехода достаточно высока при средней плотности пешеходного потока, что объясняется возможностью движения СИМ с относительно высокой скоростью. Также определено, что частота наездов снижается при увеличении плотности пешеходного потока, что связано со снижением скорости движения большинством владельцев СИМ. При аппроксимации данных наблюдений определено, что зависимость с достоверностью около 91% имеет параболический вид, описываемой полиномиальной функцией вида:

$$P(A) = -3,0628 \cdot D_{\text{п}}^2 + 11,481 \cdot D_{\text{п}} - 10,133 \quad (29)$$

где: $P(A)$ – вероятность наезда СИМ на пешехода; $D_{\text{п}}$ – плотность пешеходного потока, пеш/м.

Таким образом была установлена зависимость между средней скоростью движения СИМ ($\overline{v_{\text{СИМ}}}$, км/ч) и плотностью пешеходного потока ($q_{\text{пеш}}$), пеш/м², что позволило далее произвести расчет частоты наездов СИМ на пешеходов (в том числе по их категориям с учетом их доли в пешеходном потоке β_i) в зависимости от плотности их движения.

Таким образом, полученные в результате выполнения натурных исследований результаты подтверждают необходимость развития систем активной и пассивной безопасности, сформированных в главе 2, связанных с ограничением скорости движения СИМ и развитием инфраструктуры.

4.3 Моделирование тяжести последствий наезда СИМ на пешеходов

Полученные ранее результаты теоретических исследований оценки частоты наезда СИМ на пешехода позволяют далее перейти к оценке вероятности гибели этого пешехода. Для оценки вероятности гибели пешехода в результате наезда на него электросамоката - $P_i(B/A)$ - был выполнен ряд виртуальных экспериментов с использованием критерия травмирования головы (НІС) [95, 96]. Эксперименты проводились совместно с Государственным научным центром Российской Федерации ФГУП «НАМИ» с использованием указанных далее специализированных программных продуктов [91-94]. Следует отметить, что в экспертной практике совместно с исследуемым критерием НІС, используются различные критерии и показатели, такие как [97-100]:

- критерии травмирования шеи (NIC) - эти критерии определяются осевым сжимающим усилием, осевым растягивающим усилием и сдвигающим усилием в направлении спереди назад в месте соединения головы и шеи;
- критерий травмирования грудной клетки (ThCC) определяется на основе абсолютного значения деформации грудной клетки, выраженного в мм;
- показатель по мягким тканям ($V \cdot C$), согласно которому максимальная скорость перемещения груди не должна превышать 1 м/с.

С учетом имеющихся продуктов моделирования, для исследования выбран критерий травмирования головы НІС, как связанный с наиболее тяжелыми травмами, получаемыми пешеходами при наезде. В случае, если рассчитанные значения критерия травмируемости превышают предельно

допустимые значения, это означает, что наезд с данной скоростью является небезопасным:

$$HIC = \max \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1), \quad (30)$$

где: a - результирующее ускорение, измеренное в единицах мм/с^2 (перевод единиц измерения в g не требуется); « t_1 » и « t_2 » - два момента времени (выраженные в секундах) в ходе удара, определяющие интервал между началом и концом периода регистрации данных, в течение которого НИС достигает максимального значения ($t_2 - t_1 \leq 15$ мс).

В экспертной практике значение НИС равное 1000 и выше, является критическим, означающим достаточно высокую вероятность гибели человека. Для ребенка, критическим является значение НИС равный 700.

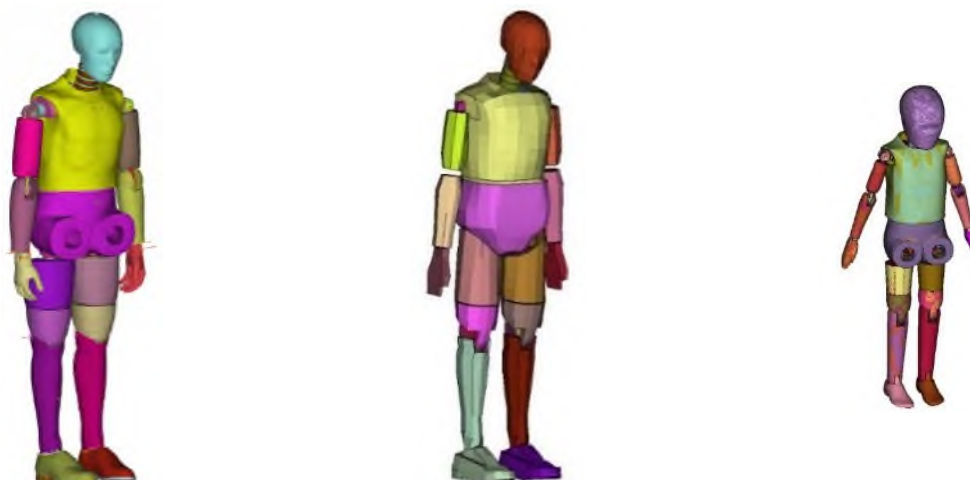
Следует отметить, что в модельных экспериментах было использовано следующее лицензионное ПО:

- для разработки конечно-элементной модели – программное обеспечение ANSA BETA CAE;
- для обработки результатов – программное обеспечение META BETA CAE;
- для проведения расчетов – программное обеспечение LS-DYNA.

Для моделирования процесса наезда СИМ, в частности электросамоката на пешехода с использованием указанного выше специализированного ПО было использовано три модели манекенов – 2 модели водителя СИМ и 1 модель пострадавшего (ребенка), как наиболее уязвимого участника пешеходного движения (рис. 35 а, б, в). При этом надо подчеркнуть, что моделирование проводилось только для этой категории пешеходов по двум причинам:

1. Трудоемкость процесса моделирования;
2. Использование оценки травмирования для ребенка как средство определения граничного значения допустимой по условиям безопасности скорости движения СИМ.

Модель электросамоката была определена с учетом ранее установленных параметров, наиболее популярного СИМ.



*а) Вид манекена Hybrid III
50% в программной среде
ANSA BETA CAE – рост
1700 мм, масса – 77,7 кг.*

*б) Вид манекена Hybrid III
95% в программной среде
ANSA BETA CAE – рост
1800 мм, масса – 101,3 кг.*

*в) Вид манекена Hybrid III
6YO в программной среде
ANSA BETA CAE – рост
1139 мм, масса – 23,4 кг.*

Рисунок 35 – Основные модели манекенов, использовавшихся для выполнения процедуры моделирования

С учетом выполненного совместно с НЦ БДД анализа статистических данных [80] было подтверждено, что наиболее тяжкие последствия в результате наезда СИМ возникают в результате прямого наезда на наиболее уязвимого участника движения – ребенка, в связи с этим для моделирования было определено два критических вида столкновений:

1. Столкновение крупного человека на самокате с ребёнком. Манекен, имитирующий крупного человека (Hybrid III – 95%), движется на самокате и врезается в стоящий неподвижно манекен, имитирующий ребёнка 6 лет (6YO) (рис. 35, а). В данном случае цель расчёта – определить ту скорость движения при наезде крупного человека на самокате на ребёнка, начиная с которой ребенок получает при наезде критические травмы ($HIC \geq 700$).

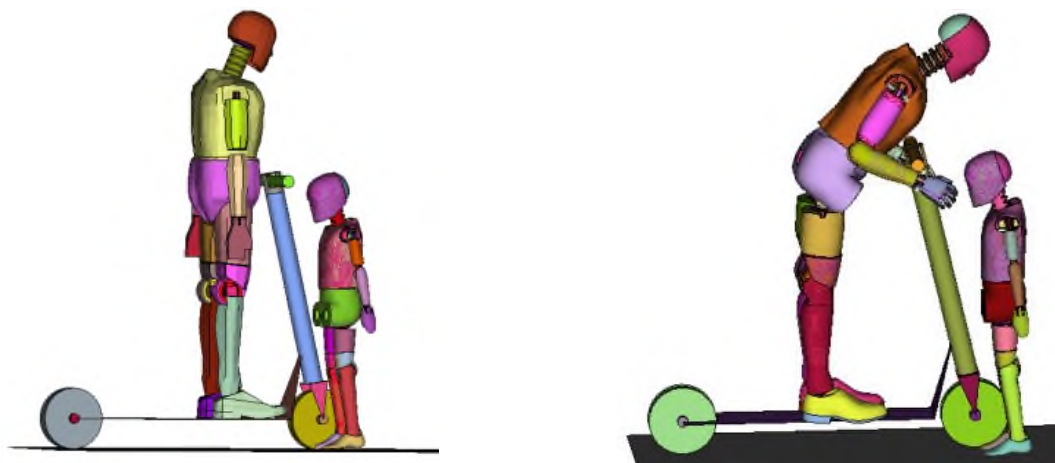
В ходе компьютерного моделирования было выполнено 12 расчётов с 3 вариантами начальных скоростей самоката – 30 км/ч, 15 км/ч, 5 км/ч и 4

различными вариантами положения ребенка - лицом вперед; поворот вправо на 45°; лицом назад; поворот влево на 45 °.

По результату моделирования и расчета оценивался критерий НИС и вид полученной травмы.

2. Столкновение человека средних размеров, с учетом ранее полученных данных «типового» водителя СИМ с ребёнком. Манекен, имитирующий человека средних размеров (Hybrid III – 50%), движется на самокате и врежется в стоящий неподвижно манекен, имитирующий ребёнка 6 лет (6Y0) (рис. 36, б). Целью расчета являлось определение скорости движения при наезде среднего человека на самокате на ребёнка, при которой ребенок получает критические травмы. Также, как и в первом случае, выполнялось 12 расчётов с 3 вариантами начальных скоростей самоката – 30 км/ч, 15 км/ч, 5 км/ч и 4 различными вариантами положения ребенка - лицом вперед; поворот вправо на 45°; лицом назад; поворот влево на 45°.

По результатам моделирования и расчета оценивалось значение критерия НИС и вид полученной травмы.



а) Столкновение человека крупных размеров с ребёнком

б) Столкновение человека средних размеров с ребёнком

Рисунок 36 – Визуализация процесса столкновения используемого типа манекена на самокате с ребёнком

В результате выполненной процедуры моделирования с использованием специализированных продуктов, были получены данные со значением

критерия НИС при различных скоростях движения для двух рассматриваемых случаев столкновения:

1. Водителя крупного телосложения с ребенком (табл. 18);
2. Водителя среднего телосложения с ребенком (табл. 19).

Таблица 18 – Результаты моделирования столкновения самоката, под управлением водителя крупного телосложения с манекеном ребенка

Скорость движения электросамоката	Положение манекена ребенка	Значение НИС	Вид травмы
30 км/ч	Лицом вперед		Сильно запрокидывается голова. Расчет до конца не проведен
	Поворот вправо на 45 °	1619	Приземляется на голову
	Лицом назад		Сильно запрокидывается голова. Расчет до конца не проведен
	Поворот влево на 45 °	736	Приземляется на голову. Проваливаются руки
15 км/ч	Лицом вперед		Сильно запрокидывается голова. Расчет до конца не проведен
	Поворот вправо на 45 °	1397	Приземляется на голову
	Лицом назад	1970	Приземляется на голову
	Поворот влево на 45 °	789	Приземляется на голову
5 км/ч	Лицом вперед	73	Приземляется на голову
	Поворот вправо на 45 °	267	Приземляется на голову
	Лицом назад	247	Сначала падает на спину
	Поворот влево на 45 °	288	Упал на руку, далее на спину и голова

Таблица 19 – Результаты моделирования столкновения самоката, под управлением водителя среднего телосложения с манекеном ребенка

Скорость движения электросамоката	Положение манекена ребенка	Значение НИС	Вид травмы
30 км/ч	Лицом вперед	2501	Шея не естественно закручивается
	Поворот вправо на 45 °	3932	Упал на руку, далее на голову

Скорость движения электросамоката	Положение манекена ребенка	Значение НИС	Вид травмы
30 км/ч	Лицом назад		Сильно запрокидывается голова. Расчет до конца не проведен
	Поворот влево на 45 °	252	Сильно наклоняет голову при ударе об поверхность, начинает прокатываться
15 км/ч	Лицом вперед		Расчет до конца не проведен
	Поворот вправо на 45 °	940	Приземляется на голову. Проваливается рука
	Лицом назад	1018	Падает на голову
	Поворот влево на 45 °	1592	Падает на голову
5 км/ч	Лицом вперед		Локтем цепляется к ручке. Расчет до конца не проведен
	Поворот вправо на 45 °	327	Падает на голову
	Лицом назад	398	Падает на голову
	Поворот влево на 45 °	82	Падает на спину, далее на голову. Рука цепляется за колено

В общем виде полученные данные представлены на рис. 37. Кривые риска смертельного травматизма, вызванного наездом СИМ на пешехода, были построены с использованием логистической регрессии.

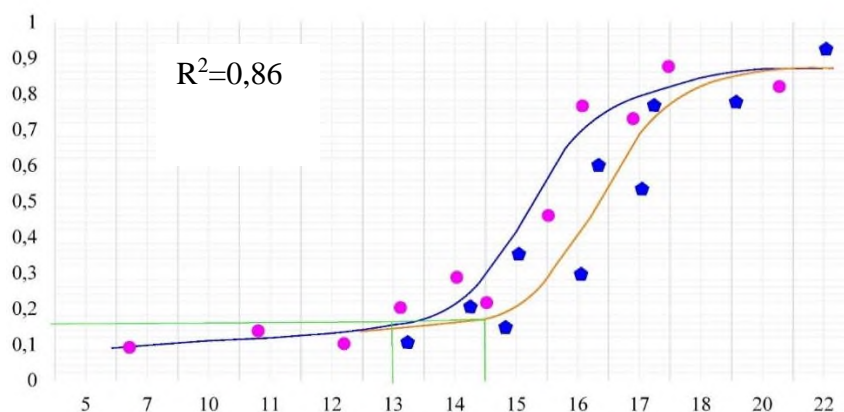


Рисунок 37 – Зависимость риска гибели пешехода-ребенка от скорости наезда электросамоката с разными водителями

Выбор логистической кривой для описания полученных данных модельных экспериментов основывается на результатах, полученных ранее экспертами Центра БДД Университета Monash (Австралия) при определении значений безопасных скоростей движения автотранспортных средств в зависимости от условий движения на УДС, которая позволяла установить взаимосвязь между вероятностью гибели и скорости столкновения, основанной на нелинейной регрессионной модели вида:

$$P = \frac{1,027}{1 + 37e^{-0,01702}} \cdot (-0,027) \quad (31)$$

Такая модель позволяет предсказать, как выходная переменная с двумя возможными значениями (в данном случае «смертельный исход» или «не смертельный исход») зависит от непрерывной переменной (в данном случае «скорость удара»). Также были определены доверительные интервалы, которые показывают область, в которой, скорее всего, будет лежать истинная кривая зависимости смертельного травматизма от скорости. Следует отметить, что на представленных графиках (рис. 35), по горизонтали отложены скорости СИМ в наблюдаемом диапазоне от 0 до 50 км/ч. По вертикали - значения риска гибели пешехода – ребенка. Согласно анализу литературных источников [95, 96] принимаем, что значение НИС 1000 соответствует 100% вероятности гибели взрослого пешехода, и НИС 700–100% -ной гибели ребенка.

На представленных графиках (рис. 35) синяя линия отражает данные, полученные в результате компьютерного моделирования наезда крупного водителя на пешехода-ребенка (табл. 21), оранжевая линия отражает наезд водителя среднего телосложения на пешехода-ребенка (табл. 22). Принято, что в качестве допустимого с точки зрения безопасности может быть принят случай движения СИМ со скоростью, при которой вероятность гибели ребенка при наезде тяжелого мужчины составляет менее 15%. На рис. 33 видно, что этой вероятности соответствует скорость движения СИМ 13 км/ч.

Представленные значения позволяют судить о получении критических травм головы жертвой наезда - ребенка в возрасте 6-ти лет – в случае наезда на него мужчины среднего телосложения и мужчины крупного телосложения. Следует отметить, что в качестве наиболее незащищенной жертвы подобных происшествий, полученное граничное значение «безопасной» скорости движения получилось ниже разрешенного в настоящее время (13 км/ч против 25 км/ч).

Таким образом это дает основание считать, что скорость движения СИМ в условиях их совмещенного движения на пешеходной инфраструктуре, должна быть исходя из условий обеспечения безопасности всех категорий участников движения, но, в первую очередь, детей, ограничена величиной ниже 13 км/ч.

Необходимо отметить, что для строгости рассмотрения проблемы в дальнейшем следует провести аналогичные модельные эксперименты для оценки риска гибели при наезде электросамоката для других категорий пешеходов - «взрослые с массой тела до 70 кг» (среднего телосложения) и «взрослые с массой тела более 102 кг» (крупного телосложения). Однако можно сразу отметить, что кривые, аналогичные представленным на рис.24, будут в этом случае явно смещены вправо и полученные для них безопасные значения скорости движения СИМ будут явно выше полученного для случая наезда на ребенка. Однако такие данные в виде соответствующих зависимостей $P_i\left(\frac{B}{A}\right)$ будут нужны, если будет поставлена задача оценить интегральную вероятность гибели пешеходов всех категорий от наезда электросамокатов на определенных участках пешеходной инфраструктуры в соответствии с формулой:

$$P_{\Sigma}(AB) = \sum_i P_i(A) \cdot P_i\left(\frac{B}{A}\right) \quad (32)$$

Выполненное моделирование позволило оценить вероятность гибели пешехода/ребенка в условиях смешанного движения при наезде на него электросамоката в зависимости от скорости наезда и полной массы

электросамоката (самокат+пользователь), что является обоснование одного из элемента активной безопасности.

4.4 Выводы по главе 4

В результате работ выполненных в главе 4 были выполнены экспериментальные исследования характеристик движения СИМ по пешеходной инфраструктуре и тяжести совершаемых наездов на пешеходов, позволившие получить следующие результаты:

1. Получен профиль пользователя СИМ;
2. Установлена зависимость между скоростью движения СИМ и плотностью пешеходного потока, описываемую с достоверностью 88% линейным уравнением $v_c = 24,85 - 4,78 \cdot D_{\pi}$;
3. Получена модель вероятности наезда СИМ на пешехода с учетом плотности пешеходного потока, описываемая с достоверностью 91% уравнением вида $P(A) = -3,0628 \cdot D_{\pi}^2 + 11,481 \cdot D_{\pi} - 10,133$.
4. Определена безопасная скорость движения СИМ в пешеходной инфраструктуре – 13 км/ч, обоснованная вероятностью гибели пешехода в результате наезда СИМ и критическим значением уровня травмирования головы – НИС.

ГЛАВА 5. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ СИМ КАК ТРАНСПОРТА ПОСЛЕДНЕГО КИЛОМЕТРА В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

5.1 Моделирование спроса на поездки с использованием СИМ в режиме ТПК и характеристик данного вида передвижения на примере транспортно-пешеходной сети микрорайона Павшинская Пойма

В качестве примера практической апробации результатов данного исследования было рассмотрено моделирование спроса на трудовые поездки с использованием электросамокатов системы кикшеринга в режиме ТПК в утренние «часы пик» на примере одного из микрорайонов московской городской агломерации – микрорайона Павшинская Пойма. Транспортная сеть микрорайона Павшинская Пойма представляет собой развитую мультимодальную систему, включающую доступ с использованием личного автотранспорта, регулярное автобусное сообщение и прямой доступ к метро через специальный пешеходный мост (ранее жители пользовались зимним маршрутом по замерзшей Москве-реке); несмотря на определенные проблемы с загруженностью дорог и ограниченным железнодорожным сообщением, район остается одним из самых привлекательных для проживания в Подмосковье благодаря близости к Москве и развитой инфраструктуре, а перспективы расширения метрополитена и внедрения экологических видов транспорта сделают его еще более комфортным для жизни. На рис. 37 представлен слой ГИС-карты, отображающий размещение зданий и улично-дорожную инфраструктуру микрорайона.

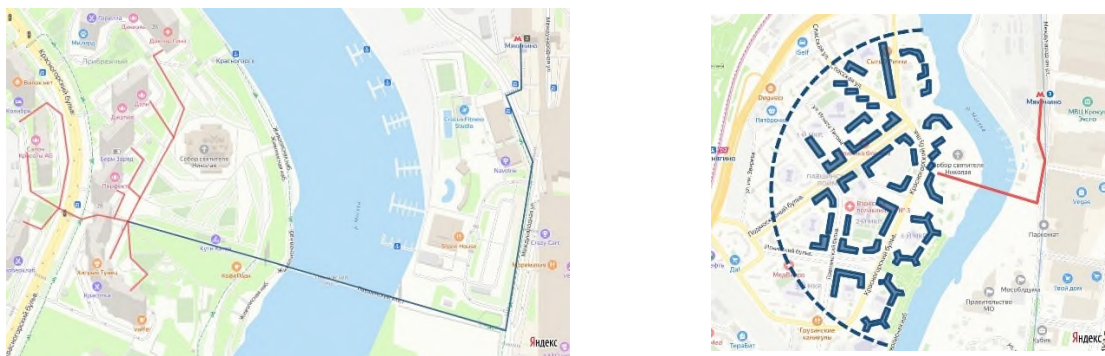


Рисунок 35 – ГИС-слой микрорайона Павшинская Пойма

Из представленной на рис. 35 карты видны специфические особенности микрорайона Павшинская Пойма – наличие станции метро на противоположном от жилого массива берегу реки и отсутствие достаточно разветвленной и удобной местной сети наземного пассажирского транспорта общего пользования для связи с линией метро. Для оценки объема генерации спроса на поездки с использованием СИМ (как ТПК) нам необходима информация о:

- численности жителей в жилых домах в секторе с радиусом 3 км (расстояние доступности при использовании электросамокатов, как ТПК. Границы соответствующей территории микрорайона в пределах этого «радиуса досягаемости» обозначена пунктирной линией на рис. 37);
- возрастной и половой структуре части населения микрорайона в пределах «радиуса досягаемости»;
- значениях коэффициентов α готовности использовать СИМ для поездок в режиме ТПК для различных возрастных групп.

Для оценки **общего уровня транспортного спроса** населения в части трудовых поездок необходимо располагать информацией о численности и структуре (возрастной, по половому признаку) населения, проживающего в микрорайоне.

Несколько ресурсов, где можно найти данные о численности и половозрастном составе жителей в конкретном микрорайоне:

-RuMap. Сервис позволяет рассчитать численность населения в радиусе 1, 5 и 10 км от заданной точки, а также узнать количество мужчин и женщин на выбранной территории. Данные подготовлены на основе ежегодных статистических бюллетеней Росстата (digimap.ru);

- «2ГИС Про». В категории «Половозрастной состав населения» можно найти информацию о распределении проживающего в жилых домах населения по полу и возрасту с учётом выбранных фильтров. Данные получены на основе официальной статистики (docs.2gis.com);

- WorldPop. Растровый датасет с численностью населения по ячейкам 100 м или 1 км. В нём есть не только численность населения, но и иная демографическая информация, например, половозрастной состав населения или рождаемость.

Численность работоспособного населения микрорайона принимается исходя из возрастных данных в диапазоне 20–65 лет (приравнивая учащихся высших и средних специальных заведений к работающим). Общая численность населения в пределах рассматриваемого «радиуса досягаемости» составляет 15 000 жителей

В таблице 20 представлены данные о численности и возрастной структуре населения микрорайона.

Таблица 20 – Численность и возрастная структура населения микрорайона
Павшинская Пойма

Возрастной диапазон	Женщины (численность)	Мужчины (численность)
20-30	2127	3045
30-40	1345	2121
40-50	1783	1589
Более 50	1678	1896

Очевидно, что не всё работоспособное население направляется на работу/учебу в утренние «часы пик». В 2024 году, по результатам опроса «Авито. Работа», 69% работающих по стандартному графику пять дней в

неделю россиян предпочитали начинать рабочий день в промежуток с **8:00 до 9:30 часов утра**. Эта информация позволяет в дальнейшем при расчетах использовать поправочный коэффициент β для оценки общего транспортного спроса населения микрорайона в утренние «часы пик».

Дальнейший расчет ведется только в направлении поездок «дом-работа/учеба» для утреннего часа пик (зеленый диапазон), как для периода с наиболее интенсивным спросом на поездки (рис. 36).

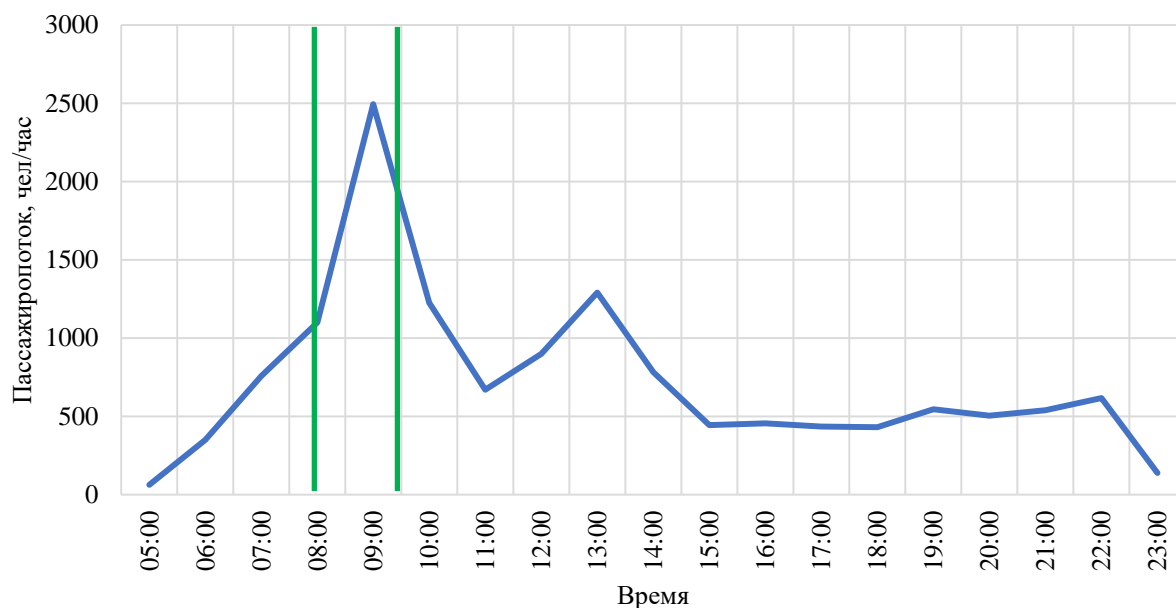


Рисунок 36 – Результаты исследований спроса на поездки

Исходя из представленных данных (рис. 36) общий транспортный спрос населения в этот период может быть оценен в 1000 поездок/час.

Этот транспортный спрос распределяется между использованием для поездок личного автотранспорта (25% пользователей) и пассажирского транспорта общего пользования (75%). При этом определенная группа жителей (около 35–36% от пользователей ОПТ) предпочитает использовать для поездок на работу **наземный** общественный транспорт. Таким образом ожидаемое количество трудовых поездок в утренний «час пик» с использованием метро для рассматриваемого микрорайона Павшинская Пойма может быть оценено величиной 1500 поездок в час. Электросамокаты системы кикшеринга могут выступать в качестве «транспорта первого

километра» для пользователей метро, готовых использовать для своих поездок данный вид ТПК.

Значения коэффициентов готовности использовать электросамокаты в качестве ТПК α для разных возрастных групп представлены в таблице 21 на основе результатов проведенного социологического опроса.

Таблица 21 – Коэффициенты готовности использовать электросамокаты в качестве ТПК

Возрастной диапазон	Женщины	Мужчины
20-30	0,35	0,50
30-40	0,45	0,79
40-50	0,10	0,15
Более 50	0,02	0,05

Общее количество поездок с использованием электросамокатов (СИМ) может быть рассчитано по формуле:

$$N_{nc} = \beta (\sum_i^4 \alpha_{if} N_{if} + \sum_i^4 \alpha_{im} N_{im}) \quad (33)$$

где: N_{if} , N_{im} – соответственно количество женщин и мужчин работоспособного возраста, совершающих трудовые поездки в утренний час пик на метро; α_{if} , α_{im} – соответственно коэффициенты готовности использовать электросамокаты в качестве ТПК для женщин и мужчин определенного возрастного диапазона; β – поправочный коэффициент β для оценки общего транспортного спроса населения микрорайона в утренние «часы пик»; i – число рассматриваемых возрастных групп.

Проведенный расчет по представленной модели генерации поездок показал, что общее число поездок с использованием СИМ в режиме ТПК может составлять 250 поездок/час (табл. 22).

Таблица 22 – Среднее число использований электросамокатами в качестве ТПК

Возрастной диапазон	Женщины, поездок на самокате/час	Мужчины, поездок на самокате/час
20-30	150	200
30-40	190	250
40-50	70	80
Более 50	5	7

На рис. 37 представлена картограмма распределения на территории микрорайона поездок с использованием СИМ в режиме ТПК для поездок на метро, где толщина линий примерно соответствует прогнозируемой потенциальной интенсивности движения СИМ в утренние часы пик (красный цвет линии, рис. 37).

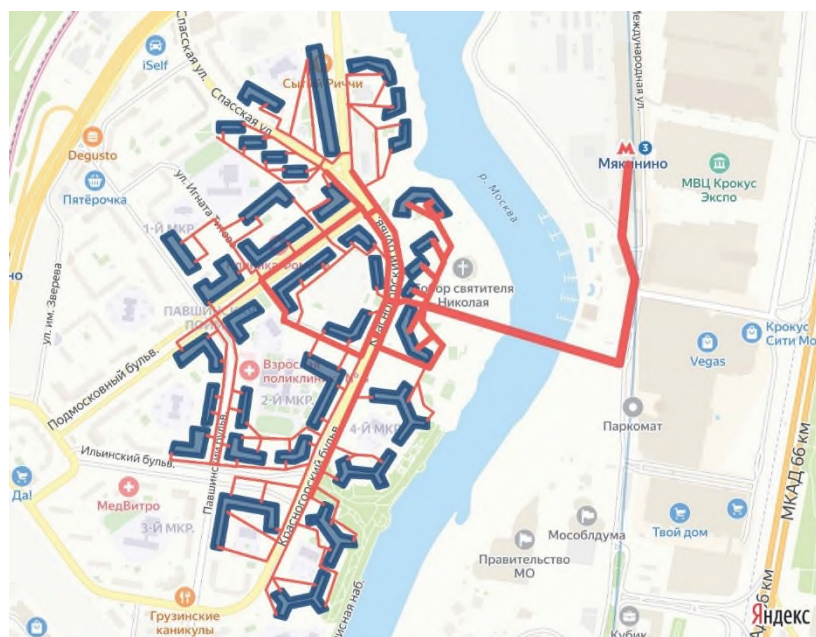


Рисунок 37 – Картограмма распределения на территории микрорайона поездок с использованием СИМ в режиме ТПК для поездок на метро

Проведенные расчеты дают оценку транспортного спроса на поездки на электросамокатах в режиме ТПК. Реальное число поездок может быть ограничено физическим наличием электросамокатов на парковках кикшеринга. В любом случае проведенные расчеты показывают, что

потенциальная интенсивность движения СИМ в пределах улиц Красногорский бульвар, Ильинский бульвар, Подмосковный бульвар и др. и пешеходной инфраструктуры и пешеходного моста является достаточно высокой, что требует выделения на них отдельных полос для движения СИМ/велосипедов. В пределах пешеходной инфраструктуры и УДС микрорайона это должны быть специально обустроенные выделенные полосы вело/СИМ движения. На пешеходном мосту эти полосы могут быть выделены дорожной разметкой.

Анализ данных натурных наблюдений, выполненных в рассматриваемом микрорайоне, подтверждает, что пешеходный поток демонстрирует четко выраженные суточные колебания, характерные для урбанистической среды (рис. 38). Пешеходная активность начинается с 6.00 утра и достигает своего пика в утренние (7.30-9.30) и вечерние (18.00-19.00) часы, что также подтверждается спросом на поездки (рис. 38). Вечерний пик в данное время объясняется маршрутом «работа-дом», а также досуговым использованием рассматриваемых устройств.

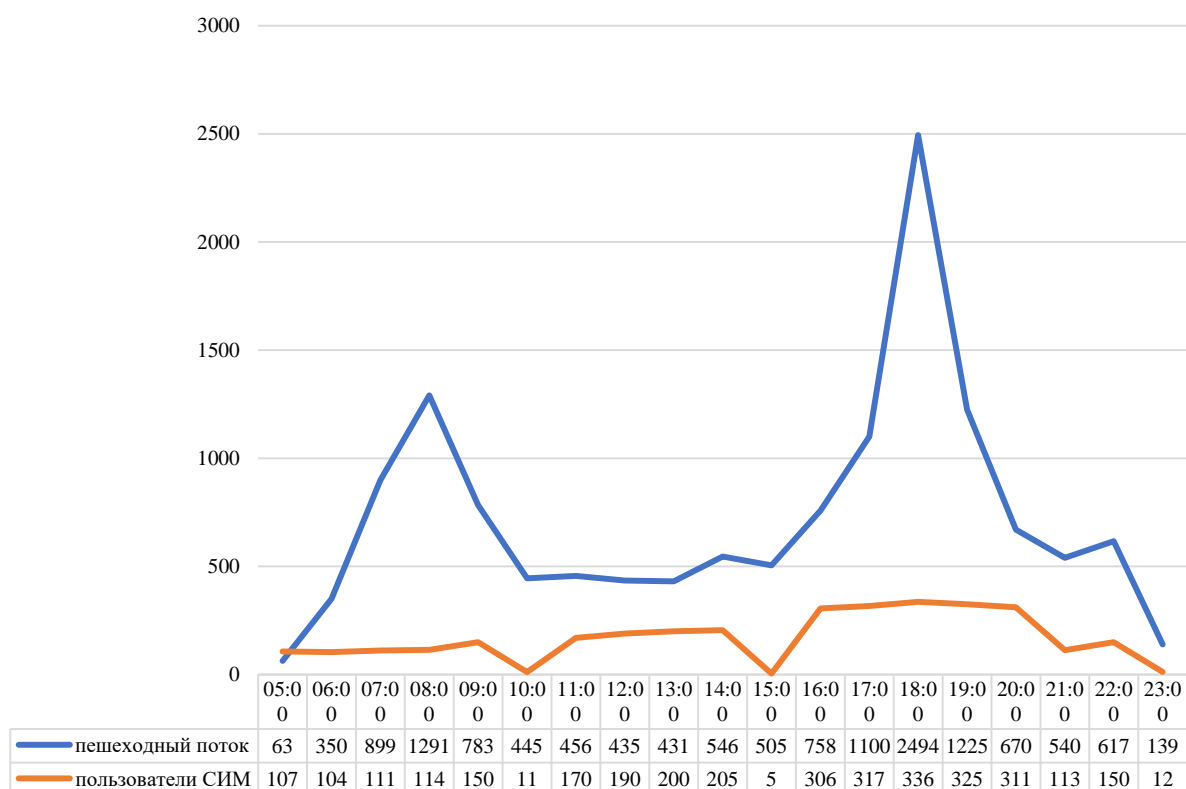


Рисунок 38 – Анализ гексагональной сетки по показателям пешеходного движения и движения СИМ

- В утренние часы (05:00–08:00): пешеходный поток резко возрастает с 63 человек/час в 05:00 до 1291 человек/час в 08:00. Это соответствует времени массовых поездок на работу/учебу, когда люди выходят из дома и направляются к остановкам общественного транспорта для поездок на работу/учебу. Рост пешеходной активности особенно интенсивен между 06:00 и 08:00, что указывает на утренний "пик пешеходной нагрузки".

- 9:00–12:00: После 08:00 наблюдается резкое снижение пешеходного движения - до 783 человек/час в 09:00, что может быть связано с тем, что большинство пешеходов уже достигли своих пунктов назначения. Далее поток стабилизируется в диапазоне 430–460 человек/час до 12:00.

- полуденные и дневные часы (12:00–15:00): с 12:00 начинается постепенный рост, достигающий 546 человек/час в 14:00. Это может быть связано с обеденными передвижениями, посещением кафе, магазинов или прогулками в перерывах.

- вечерний пик (17:00–19:00): Наиболее выраженный пик пешеходной активности приходится на 18:00, когда число пешеходов достигает 2494 человек/час — это максимальное значение за весь день. Этот пик связан с возвращением людей с работы, началом вечерних посещений ресторанов, магазинов и культурных учреждений. Уже в 19:00 наблюдается резкое снижение до 1225 человек/час, что говорит о постепенном уходе людей с улиц.

- вечер и ночь (20:00–23:00): Поток продолжает снижаться: 670 чел./час в 20:00, 540 чел./час в 21:00, 617 чел./час в 22:00, и к 23:00 падает до 139 человек/час, что близко к уровню 05:00.

В свою очередь, наблюдения показывают, что интенсивность движения пользователей СИМ в настоящее время демонстрируют иную динамику, отличающуюся от пешеходного потока. Их активность начинается несколько позже и достигает пика в вечерние часы, при возвращении людей с работы.

Это, кстати, может быть связано со следующим фактором – концентрация запаркованных электросамокатов у метро значительно выше, чем на территории жилого микрорайона. Поэтому пользователи СИМ со значительно большей вероятностью могут рассчитывать на аренду электросамоката при возвращении с работы у станции метро, чем утром при начале поездки на работу/учебу.

Ранние утренние часы (05:00–08:00): Количество пользователей СИМ остается относительно стабильным — от 107 до 114 ед./час, что значительно ниже пешеходного потока. Это может означать, что сейчас СИМ редко используются в качестве ТПК в очень ранние часы.

9:00–12:00: наблюдается плавный рост с 150 ед./час в 09:00 до 200 ед./час в 12:00, что указывает на вовлечение СИМ в утренние и дневные поездки, возможно, связанные с работой, учебой или шопингом.

Дневные часы (13:00–16:00): Активность продолжает расти: 205 ед./час в 14:00, 306 ед./час в 16:00. Это свидетельствует о росте спроса на микротранспорт в течение дня.

Вечерний пик (17:00–19:00): Максимальная активность пользователей СИМ приходится на 18:00 (336 человек/час). Это наиболее интенсивный период использования СИМ. Интересно, что пик СИМ совпадает с пиком пешеходного потока, но не достигает его масштабов. В 18:00 пешеходов в 7 раз больше, чем пользователей СИМ.

19:00–22:00: После 18:00 наблюдается небольшое снижение до 325 ед./час в 19:00 и 311 ед./час в 20:00, но активность остается высокой. Это может говорить о том, что СИМ активно используются для вечерних поездок, связанных с досугом, встречами, посещением ресторанов.

23:00: Резкое падение до 12 ед./час, что указывает на почти полное прекращение использования СИМ в позднее время.

В общем виде график демонстрирует существующие сейчас различия в поведении пешеходов и пользователей СИМ, отражая их разные цели и временные предпочтения. Пешеходы активны с утра и до позднего вечера, в

то время как СИМ используются преимущественно в дневные и вечерние часы, достигая пика в 18:00.

Таким образом с учетом плотности пешеходного потока 0,7-0,8 (чел/м²) в часы пик и спросом на СИМ – более 300 ед/ч – ранее полученные данные (рис. 33) подтверждают зависимость плотности пешеходного потока и спросом на СИМ со средней скоростью движения СИМ, которая согласно выполненным расчетам по условиям безопасности дорожного движения не должна превышать значения 13 км/ч.

Полученные результаты моделирования и их сопоставления с натурными наблюдениями показывают корреляцию интенсивности пешеходного потока и его плотности, особенно в пиковые периоды, со спросом на поездки с использованием СИМ в качестве «транспорта последнего километра». Потенциально это влечет увеличение вероятности транспортных конфликтов между пешеходами и пользователями СИМ на пешеходной инфраструктуре. Даже с учетом снижения расчетной скорости СИМ (исходя зависимости скорости движения СИМ от плотности пешеходного потока (формула 24)) прогнозируемая ситуация требует изменения методов ОДД, в частности, организации выделенной инфраструктуры для движения СИМ и велосипедов.

5.2 Разработка проекта отдельно выделенной полосы для движения СИМ на инфраструктуре Брестской улицы (г. Москва)

На основании выполненных исследований установлено, что движение СИМ в ГТС, в частности при движении по тротуарам представляет определенную опасность, что связано с высоким риском наезда на пешехода и его травмированием.

С целью оценки экономической эффективности создания отдельной выделенной инфраструктуры для движения СИМ и велосипедов был выполнен расчет на основе результатов, представленных в предыдущих главах

(оценка вероятности возникновения ДТП), с учетом стоимостной оценки ущерба от одного происшествия и стоимости выполняемых работ. В качестве объекта исследования определена одна из интенсивно загруженных улиц г. Москвы – 1-я Брестская улица (рис. 39).

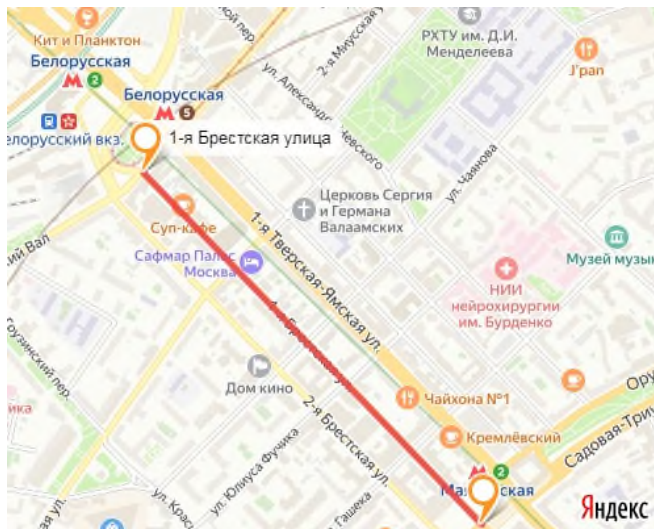


Рисунок 39 – Обозначение исследуемой улицы – 1-я Брестская улица (г. Москва) с использованием конструктора карт Яндекс. Карты

Протяженность исследуемой улицы составляет 1 км, на рассматриваемом участке находится 5-ть регулируемых пешеходных переходов, оборудованных светофором. Интенсивность транспортного и пешеходного потока в течение недели довольно высока, расположенные вблизи парковки электросамокатов и наблюдаемая динамика их пользования, свидетельствует о высокой активности. Результаты выполненных исследований по динамике движения СИМ были представлены в главе 2. Натурные исследования по плотности пешеходного потока выполнялись в весенне-летний период 2022 года.

С учетом выполненных ранее натурных исследований имеет следующие значения входных переменных для расчета:

1. Длина участка (L) – 1 000 м;
2. Плотность (линейная) пешеходного движения (q) (в одну сторону- 0,15 чел./пог.м);
3. Средняя скорость пешеходов ($v_{\text{пеш}}$) – 5 км/ч = 1,39 м/с;

4. Средняя скорость пользователя СИМ, в частности самоката ($v_{\text{СИМ}}$) – 8 км/ч = 2,224 м/с.

Тогда для одного пользователя самоката среднее количество ожидаемых обгонов на участке 1 000 м составит 56:

$$N_i = D_i \cdot (v_c - v_{\text{п}}) * L_i / v_c \quad (34)$$

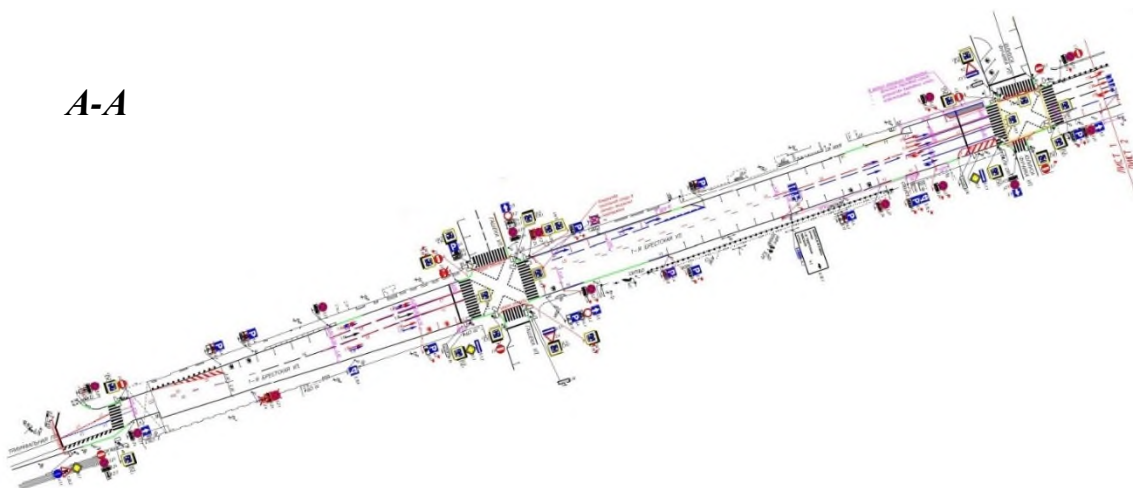
Если интенсивность движения самокатов составляет 15 сам./час в одну сторону, то по формуле (31) получим 840 обгонов пешеходов в час:

$$N_{\Sigma i} = D_i * (v_c - v_{\text{п}}) * L_i / v_c * N_c \quad (35)$$

Учитывая значение $K_c=0,01$ для данного участка и принимая значение $\gamma=0,001$ получаем ожидаемое количество наездов на пешеходов равное 0,017 в час. С учетом данных полученных в ходе натурных исследований получаем 514 часов активного пользования электросамокатами в год (6 месяцев: апрель-сентябрь, 5 дней в неделю: среда-воскресенье, в среднем 4 часа в день) что позволяет получить около 4 вероятных наездов в год в одном направлении. С учетом движения в прямом и обратном направлении получаем 8 наездов в год с учетом движения в двух направлениях, которые характеризуются разной степенью травмирования пешеходов.

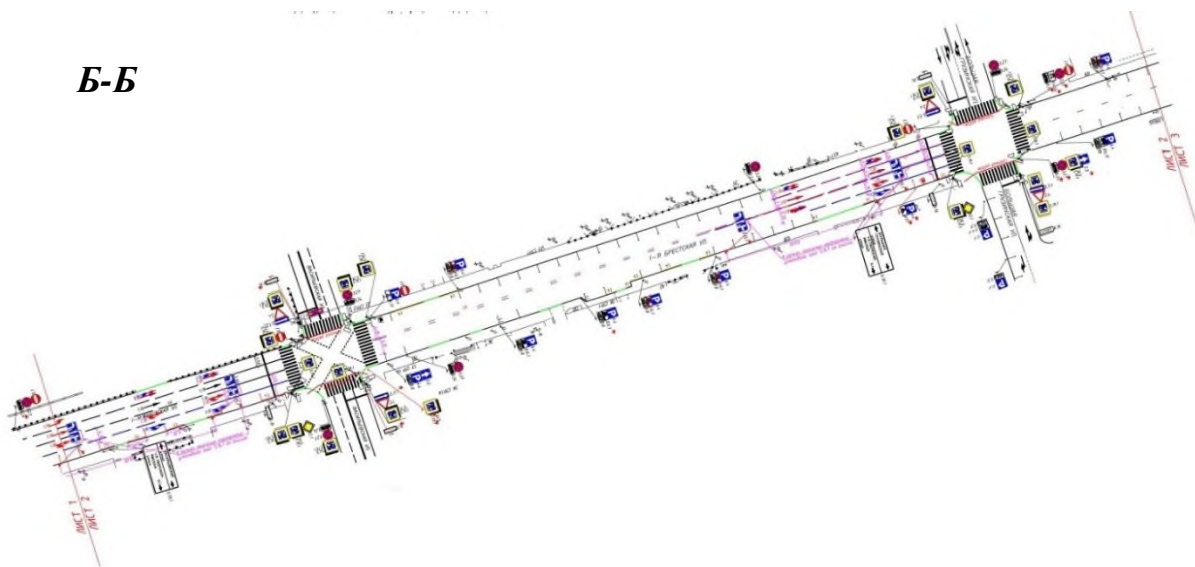
Для снижения риска наездов на пешеходов и предотвращения ДТП на исследуемой улице предложено спроектировать отдельную выделенную полосу для движения СИМ и велосипедистов. Данное решение позволит полностью изолировать поток СИМ от пешеходов, что существенно снизит вероятность ДТП и создаст безопасные условия для всех участников движения. Графическая схема исследуемой улицы представлена на рис. 40 (а-в).

A-A



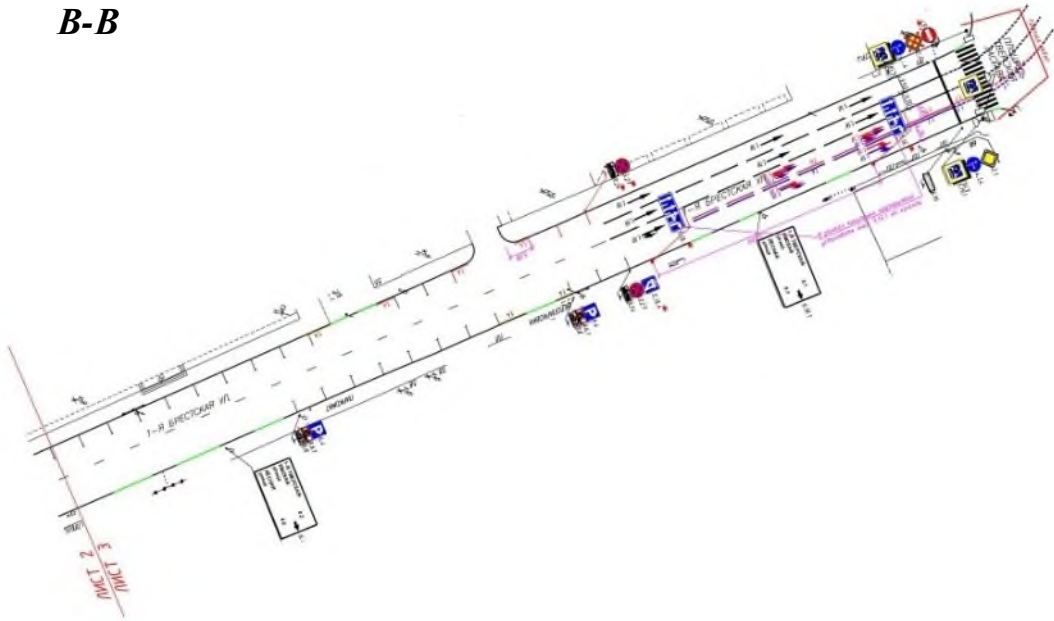
а) существующая геометрическая схема исследуемой улицы (А-А)

Б-Б



б) существующая геометрическая схема исследуемой улицы (Б-Б)

В-В

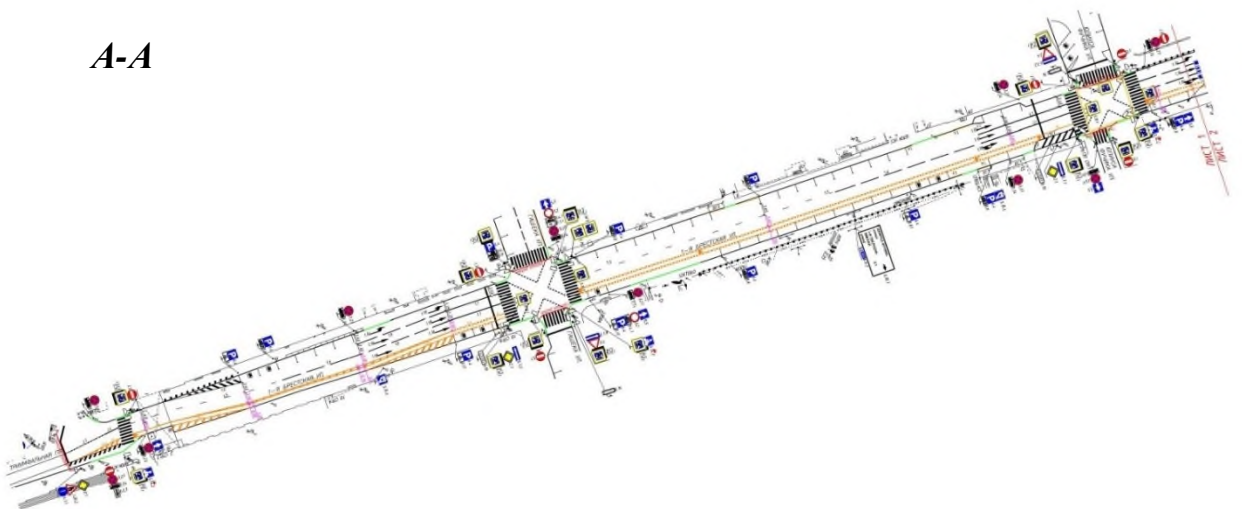


в) существующая геометрическая схема исследуемой улицы (В-В)

Рисунок 40 – Существующая геометрическая схема объекта исследования –
1-я Брестская улица (г. Москва)

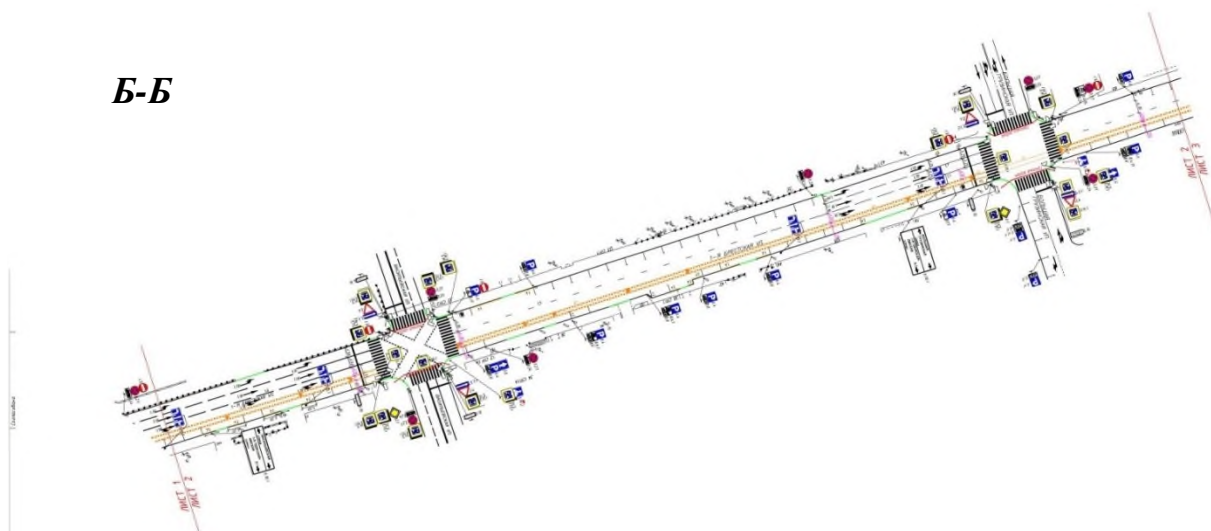
С учетом требований НПА, существующая ширина ПЧ позволяет организовать специализированную полосу для движения СИМ, что наглядно представлено на рис. 41 (а-в).

А-А



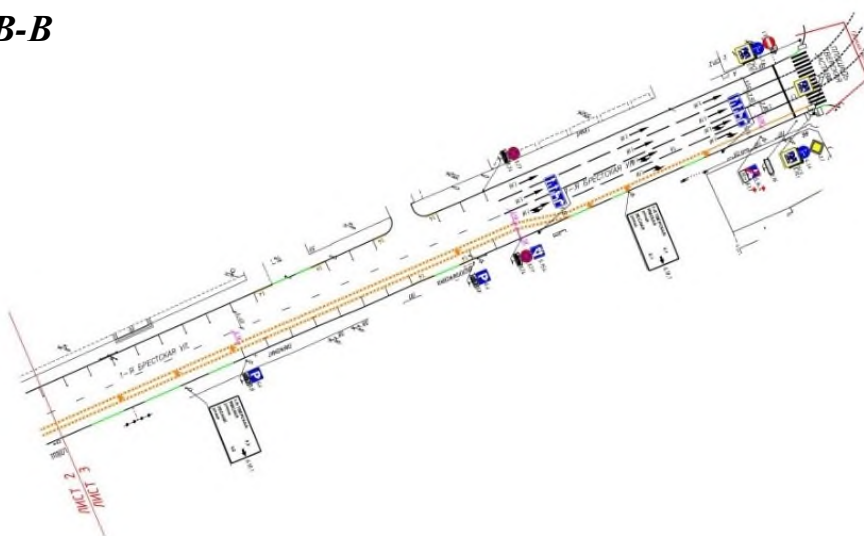
а) предлагаемая геометрическая схема исследуемой улицы (А-А)

Б-Б



б) предлагаемая геометрическая схема исследуемой улицы (Б-Б)

В-В



в) предлагаемая геометрическая схема исследуемой улицы (В-В)

Рисунок 41 – Предлагаемая геометрическая схема объекта исследования – 1-я Брестская улица (г. Москва)

Для оценки стоимости предлагаемого мероприятия, выполнено технико-экономическое обоснование разрабатываемого проекта по организации дорожного движения – отдельно выделенной полосы для движения СИМ.

5.3 Оценка эффективности разработки отдельно выделенной инфраструктуры для движения СИМ (на примере Брестской улицы, г. Москва)

В соответствии с нормативным документом [106], определены основные виды работ, необходимых для выполнения по выделению специализированной полосы для движения, к которым относится:

1. Демаркировка дорожной разметки;
2. Нанесение разметки;
3. Нанесение разметки (отделение полосы для движения СИМ);
4. Дорожные знаки (I этап);
5. Дорожные знаки (II этап).

С учетом индексации коэффициентов пересчета для выполнения расчета сметной стоимости, по состоянию на 2023 год [106], был выполнен расчет стоимости реализации предлагаемой схемы ОДД на объекте исследования. Результаты сметного расчета приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет стоимости обустройства выделенной полосы для движения СИМ на объекте исследования

№ п/п	Наименование сметного раздела	Стоимость работ с учетом коэффициентов индексации, руб.
1	Демаркировка дорожной разметки	198 249,93
2	Нанесение разметки	325 627,25
3	Нанесение разметки (отделение полосы для движения СИМ)	349 516,56
4	Дорожные знаки (I этап)	143 370,15+18 539,19
5	Дорожные знаки (II этап)	18 539,19
Всего		1 035 303,08

В результате выполненных расчетов была определена стоимость создания отдельно выделенной инфраструктуры для движения СИМ на исследуемой улице, протяженностью 1 км, которая составила 1 035 тыс. руб.

Для оценки эффективности предлагаемого мероприятия, в рамках данной главы выполнен расчет стоимостных потерь в результате ДТП с участием СИМ по методике оценки стоимостных потерь от ДТП [107] (табл. 24).

В общем виде расчет ущерба от ДТП определяется по формуле:

$$C_{\text{ДТП}}^{\text{сущ}} = \sum (n \cdot \Pi) + \sum (a \cdot M) \quad (36)$$

где n - количество пострадавших людей по i -ому виду травмы (гибель, ранение); Π - потери по одному человеку с i -ой травмой, руб; a - количество ДТП; M - материальный ущерб от 1 ДТП, руб. (табл. 25).

Таблица 24 – Исходные данные проведенного технико-экономического анализа для движения СИМ

Показатель	Значение
Количество прокатных самокатов в Москве (2022)	45 000 шт.
Средний пробег одного самоката в год	100 км
Общий годовой пробег самокатов по Москве	4 500 000 самоката/км
Годовой пробег самокатов на исследуемом участке	15 420 самоката/км
Общее количество погибших	12
Интенсивность движения самокатов на участке сам./ч	10
Длина участка, км;	1
Средняя плотность пешеходного движения в рассматриваемые часы, чел./пог.м	2
Разность средних скоростей самоката и пешехода, км/ч	8
Показатель опасности движения СИМ на участке K_c	0,08

Таблица 25 – Стоимостная оценка последствий ДТП [106]

Вид травмы	Потери, руб
Гибель	9952000
Ранение	304000

По результатам 2022 года известно, что в г. Москве ежедневно использовалось 45 000 прокатных самокатов, каждый из которых проехал в среднем 100 км в год, тогда имеем 4 500 000 самоката*км в год. Сравниваем исследуемый участок – на нем интенсивность движения СИМ составляет в среднем 30 сам/ час *514*1 км=15 420 сам*км, т. е. это 0,00343 от суммарного

пробега по Москве, где 514 среднее число использований самокатов в часах за год. Если условно принять идентичными все условия эксплуатации самокатов в городе, то на этом участке могло бы быть 0,01 погибшего в год и 0,05 раненого (согласно данным по аварийности НЦ БДД), которые исключаются в результате обустройства отдельно выделенной полосы. Тогда средняя стоимость сокращенного ущерба от наезда на пешехода с учетом данных таблицы 26 составит 115 200 рублей, что и представляет собой экономию в первый год.

Таким образом, экономия в первый год эксплуатации предложенного мероприятия будет определена по формуле:

$$\mathcal{E}_1 = K - C_{\text{ДТП}} \quad (37)$$

где \mathcal{E}_1 – экономия в первый год реализации проекта; K – капитальные вложения в проект.

$$\mathcal{E}_1 = 1\,035\,303 - 115\,200 = 920\,103 \text{ руб.}$$

Тогда срок окупаемости ($T_{\text{ок}}$) - период, за который окупаются общие капитальные вложения в разработку и реализацию проекта (без учета разновременности затрат):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\mathcal{E}_1} = \frac{1\,035\,303}{920\,103} = 1,1 \text{ года}$$

В результате расчета определено, что при возможных условных показателях аварийности с участием СИМ одним из наиболее эффективных мероприятий будет являться создание отдельно выделенной инфраструктуры для движения СИМ, что минимизирует риск возникновения происшествий с их участием (табл. 26).

Таблица 26 – Результаты проведенного технико-экономического анализа для движения СИМ

Ожидаемый риск гибели пешехода на участке.	0,01 в год
Ожидаемый риск ранения пешехода на участке	0,05 в год
Средняя стоимость сокращенного ущерба	115 200 руб.

Проведенные исследования показывают, что в условиях сложившейся ситуации с аварийностью СИМ в Москве создание специализированной выделенной транспортной инфраструктуры является одним из самых действенных решений. Формирование отдельной инфраструктуры позволит существенно снизить количество ДТП с участием средств индивидуальной мобильности, особенно в местах пересечения проезжих частей и на пешеходных перекрестках, где происходит наибольшее число происшествий. Таким образом, реализация данного мероприятия является оптимальным решением для повышения БДД и интеграции СИМ в существующую ГТС.

Выполненное исследование позволило определить основные виды мероприятий, способствующие снижению аварийности, к которым относится снижение скорости движения СИМ с учетом особенностей городской инфраструктуры, до скорости 20 км/ч, снижение скорости движения СИМ в пределах инфраструктуры, предназначенной для движения пешеходов, до скорости 13 км/ч и создании отдельно выделенной инфраструктуры в случаях увеличивающегося пешеходного движения и соответственно спроса на СИМ что значительно минимизирует возможные риски наезда СИМ на пешеходов.

По результату выполненных исследований был сформулирован ряд рекомендаций, направленных на повышение БДД такого вида «транспорта последнего километра», как СИМ. Данные рекомендации были направлены в Минтранс России для подготовки соответствующих решений и изменений в нормативно-правовой базе.

5.4 Разработка рекомендаций по повышению активной и пассивной безопасности использования СИМ в городах Российской Федерации

Безопасность использования СИМ рассматривается как комплексная система, включающая: конструктивные особенности устройства; характеристики дорожной инфраструктуры; поведение участников движения

(водитель СИМ, пешеход); организация движения и нормативное регулирование.

В целом, системный подход фокусируется на двух ключевых аспектах:

1. Активная безопасность — предотвращение ДТП (условно безопасная скорость движения – обоснование условно безопасной скорости движения СИМ с учетом риска гибели пешехода в результате наезда СИМ и ограничение скорости по условиям ровности дорожного покрытия)

2. Пассивная безопасность — снижение тяжести последствий при аварии (пассивная защита пешеходов – создание отдельно выделенной инфраструктуры).

Следует отметить, что по аналогии с классической системой «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС), следует рассматривать новую систему «водитель-СИМ-дорога-среда», согласно которой обязательно должны рассматриваться безопасность отдельно выделенного элемента улично-дорожной сети, что позволит обеспечить безопасность всей системы. Таким образом, методы повышения БДД необходимо направить на обеспечение безопасности как самих устройств, так и инфраструктуры для их движения. В связи с этим предложен ряд мероприятий, сформированных в результате выполненного исследования:

1. Определение обязательных требований к надежности эксплуатации СИМ и совершенствование их конструкции. Такие виды СИМ как электросамокаты должны проектироваться, изготавливаться, ввозиться в страну (доля импорта критически высока), и обслуживаться, в первую очередь, с учетом требований безопасности. Производители в целом заинтересованы в безопасности своих изделий, но не все технические решения им подвластны. Например, очевидной проблемой является возможность для частных пользователей снять ограничения по мощности двигателя (модифицировать заводскую прошивку блока управления) – это настоящий вызов для безопасности, поскольку личный электросамокат практически невозможно контролировать. Борьба с таким явлением возможно пока лишь методом

убеждения, пользователи должны следовать правилам безопасности, чтобы не навредить себе и другим.

2. Разработка рекомендации в отношении согласованных на международном уровне технических стандартов для электросамокатов и правил их использования.

3. Развитие инфраструктуры для СИМ. Разделение видов транспорта – это безусловный приоритет для повышения безопасности движения СИМ и самый эффективный способ уменьшить число аварий с пешеходами. Если отдельной инфраструктуры для СИМ не существует, водители СИМ будут ехать туда, где они чувствуют себя в безопасности. По сути, решение проблемы можно разделить на 2 части – приспособление и использование существующих возможностей, и формирование (в некоторых случаях, с нуля) выделенной дорожной инфраструктуры для данного вида транспорта, чаще всего совмещаемой с велосипедной инфраструктурой.

4. Совершенствование методики сбора данных об авариях с участием СИМ. Сбор качественных данных абсолютно необходим для определения и расстановки приоритетов, выбора соответствующих контрмер для устранения проблем, представляющих высокий риск для уязвимых участников дорожного движения. Данные также имеют решающее значение для принятия обоснованных регулятивных положений.

5. Совершенствование правоприменения. Возможность привлечения к ответственности лиц, управляющих СИМ, является ключевым элементом в борьбе с возможными (и происходящими!) правонарушениями. Наблюдаемое в настоящее время бесконтрольное использование электросамокатов на УДС городов и рост аварий с их участием можно остановить лишь путем четкой регламентации правил вождения и введения неотвратимой ответственности за их несоблюдение.

6. Обучение водителей СИМ и других участников ДД, информационные и просветительские мероприятия. Появление нового вида транспорта неизбежно порождает новые страхи со стороны общественности, которая не

знает, чего ожидать от незнакомых устройств. Тем более ситуацию подогревают публикации, где СИМ и их пользователи представлены в негативном свете. Скептическое отношение к праву со стороны некоторых участников дорожного движения, вплоть до полного неверия в его возможности, ухудшает восприятие микромобильности. Необходима точная и достоверная подача информации для общественности, в которой честно сообщается о проблемах, но не сгущаются краски и предлагаются конкретные меры по профилактике аварийности с участием СИМ. Как уже говорилось ранее, действительно эффективной мерой может стать только система реально работающих правовых, правоприменительных, организационных и технических механизмов, основанных на принципах законности, целесообразности и неотвратимости ответственности.

В общем виде реализация всех перечисленных выше методов позволит обеспечить интеграцию СИМ в ГТС.

5.5 Выводы по главе 5

В результате работ выполненных в главе 5 была обоснована эффективность мероприятий по внедрению средства индивидуальной мобильности как транспорта последнего километра в городской транспортной системе, что подтверждается следующими результатами:

1. Натурно-экспериментальным методом установлена прямая зависимость между спросом на средство индивидуальной мобильности и плотностью пешеходного потока;
2. На основании технико-экономического обоснования разработана технология строительства отдельной выделенной полосы – проект для безопасного движения средства индивидуальной мобильности на улично-дорожной сети городской транспортной системы;

3. Обоснована безопасная скорость движения средства индивидуальной мобильности на выделенной полосе УДС которая не должна превышать 20 км/ч с учетом инженерного обустройства улично-дорожной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных исследований была решена научная задача, заключающаяся в повышении эффективности и безопасности движения средств индивидуальной мобильности как компонента городской транспортной системы, что подтверждено следующими результатами:

1. Обосновано место и роль средств индивидуальной мобильности как транспорта последнего километра в городской транспортной системе.

2. Определены основные факторы, обуславливающие активную и пассивную безопасность средств индивидуальной мобильности в городских транспортных системах.

3. В результате расчетно-экспериментальных исследований была разработана математическая модель оценки риска наезда на СИМ на пешехода, напрямую связанная с вероятностью $P(A) = -3,0628 \cdot D_{\text{п}}^2 + 11,481 \cdot D_{\text{п}} - 10,133$, установлена зависимость между средней скоростью движения СИМ ($\overline{v_{\text{СИМ}}}$, км/ч) и плотностью пешеходного потока ($q_{\text{пеш}}$), пеш/м², что позволило получить расчетную зависимость ожидаемой частоты наезда СИМ на пешехода от средней плотности пешеходного движения.

4. В результате выполненных модельных экспериментов установлено, что значение критерия травмирования головы (НГС) является ключевым показателем оценки тяжести последствий ДТП с участием СИМ. Обоснован выбор условно безопасной скорости движения СИМ при движении в пешеходной инфраструктуре. Установлено что для обеспечения безопасности всех участников движения, особенно детей, скорость СИМ на пешеходной инфраструктуре должна быть ограничена значением не более 13 км/ч. Такое ограничение обусловлено результатами моделирования, которое оценивало вероятность летального исхода при столкновении с пешеходом/ребенком в условиях смешанного движения, учитывая, как скорость наезда, так и полную массу электросамоката (с учетом пользователя).

Установлено, что при движении СИМ по тротуару и пересечении проезжей части с возможным наездом на выступающий элемент инфраструктуры – бордюр, высотой 4 см, установлено, что в более чем 70% случаев происходит падение взрослого человека среднего телосложения при скоростях движения более 20 км/ч.

5. Обоснована эффективность мероприятий по внедрению средств индивидуальной мобильности как транспорта последнего километра в городской транспортной системе.

Выполненная работа является первой системной проработкой вопроса, связанного с определением безопасных условий использования СИМ в городской среде, и определением места СИМ в транспортной системе городов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ТПК – транспорт последнего километра

УДС – улично-дорожная сеть

ТС – транспортное средство

ГТС – городские транспортные системы

ОДД – организация дорожного движения

БДД – безопасность дорожного движения

ТП – транспортный поток

СИМ – средства индивидуальной мобильности

США – Соединенные Штаты Америки

НПБ – нормативно-правовая база

НПА – нормативно-правовые акты

ОПТ – общественный пассажирский транспорт

ITF – International Transport Forum

СМИ – средства массовой информации

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

СИЗ – средства индивидуальной защиты

ПЧ – проезжая часть

РФ – Российская Федерация

НЦ БДД – Научный центр безопасности дорожного движения

ДД – дорожное движение

ПДД – правила дорожного движения

КоАП – Кодекс об административных правонарушениях

УДД – участник дорожного движения

ТСИМ - технические средства индивидуальной мобильности

ПКРТИ – программа комплексного развития транспортной инфраструктуры

КСОДД – комплексная схема организации дорожного движения

КГ – крупный город

ТУ – транспортный узел

СДП – средняя дальность поездки
БКЛ – большая кольцевая линия
МЦК – московское центральное кольцо
МЦД – московские центральные диаметры
ТПУ – транспортно-пересадочные узлы
ЕТК – единая транспортная карта
СУТ – системы управления транспортом
МКАД – московская кольцевая автомобильная дорога
ИТС – интеллектуальные транспортные системы
ИИ – искусственный интеллект
ЕПС – единая платежная система
ЕС – Европейский Союз
ТЛП – транспортно-логистические процессы
ГАИ – государственная автомобильная инспекция
ПО – программное обеспечение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Developing micromobility in urban areas: network planning criteria for e-scooters and electric micromobility devices / M. Ignaccolo, G. Inturri, E. Cocuzza [et al.] // *Transportation Research Procedia*. – 2022. – Vol. 60. – P. 448-455. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.12.058.
2. Implementation of a Low-Cost Data Acquisition System on an E-Scooter for Micromobility Research / A. M. Pérez-Zuriaga, D. Llopis-Castelló, V. Just-Martínez [et al.] // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, No. 21. – P. 8215. – DOI 10.3390/s22218215.
3. Psarrou Kalakoni, A. M. A novel methodology for micromobility system assessment using multi-criteria analysis / A. M. Psarrou Kalakoni, Z. Christoforou, N. Farhi // *Case Studies on Transport Policy*. – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 976-992. – DOI 10.1016/j.cstp.2022.03.010.
4. Research on the Impact of COVID-19 on Micromobility Using Statistical Methods / V. Štefancová, A. Kalašová, K. Čulík [et al.] // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2022. – Vol. 12, No. 16. – P. 8128. – DOI 10.3390/app12168128.
5. Data-driven micromobility network planning for demand and safety / P. Folco, L. Gauvin, M. Tizzoni, M. Szell // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. – 2023. – Vol. 50, No. 8. – P. 2087-2102. – DOI 10.1177/23998083221135611.
6. Delivering in Urban Areas: A Probabilistic-Behavioral Approach for Forecasting the Use of Electric Micromobility / M. Castiglione, A. Comi, R. De Vincentis [et al.] // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14, No. 15. – P. 9075. – DOI 10.3390/su14159075.
7. New Micromobility Means of Transport: An Analysis of E-Scooter Users' Behaviour in Trondheim / M. Pazzini, L. Cameli, C. Lantieri [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, No. 12. – P. 7374. – DOI 10.3390/ijerph19127374.

8. Orozco-Fontalvo, M. Dockless electric scooters: A review of a growing micromobility mode / M. Orozco-Fontalvo, L. Llerena, V. Cantillo // *International Journal of Sustainable Transportation*. – 2023. – Vol. 17, No. 4. – P. 406-422. – DOI 10.1080/15568318.2022.2044097.
9. Skid Resistance Analysis of Urban Bike Lane Pavements for Safe Micromobility / M. López-Molina, D. Llopis-Castelló, A. M. Pérez-Zuriaga [et al.] // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, No. 1. – P. 698. – DOI 10.3390/su15010698.
10. Arias-Molinares, D. Micromobility services before and after a global pandemic: impact on spatio-temporal travel patterns / D. Arias-Molinares, Ju. C. García-Palomares, Ja. Gutiérrez // *International Journal of Sustainable Transportation*. – 2023. – Vol. 17, No. 9. – P. 1058-1073. – DOI 10.1080/15568318.2022.2147282.
11. Factors influencing user behaviour in micromobility sharing systems: A systematic literature review and research directions / M. G. Elmashhara, J. Silva, E. Sá [et al.] // *Travel Behaviour and Society*. – 2022. – Vol. 27. – P. 1-25. – DOI 10.1016/j.tbs.2021.10.001.
12. A Micromobility Buffet: E-Scooters in the Context of Multimodal Spaces and Practices in Greater Manchester / G. Sherriff, M. J. Lomas, L. Blazejewski, H. Larrington-Spencer // *Regular Issue*. – 2023. – Vol. 3, No. 1. – DOI 10.16997/ats.1194.
13. Hong, D. Investigation of shared micromobility preference for last-mile travel on shared parking lots in city center / D. Hong, S. Jang, Ch. Lee // *Travel Behaviour and Society*. – 2023. – Vol. 30. – P. 163-177. – DOI 10.1016/j.tbs.2022.09.002.
14. Badia, H. Shared e-scooter micromobility: review of use patterns, perceptions and environmental impacts / H. Badia, E. Jenelius // *Transport Reviews*. – 2023. – Vol. 43, No. 5. – P. 811-837. – DOI 10.1080/01441647.2023.2171500.
15. Fong, B. Sustainable Micromobility Management in Smart Cities / B. Fong, A. C. M. Fong, G. Y. Hong // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation*

Systems. – 2023. – Vol. 24, No. 12. – P. 15890-15896. – DOI 10.1109/tits.2023.3292377.

16. Switzerland Mobility [Электронный ресурс]. URL: <https://www.schweizmobil.ch/en/hiking-in-switzerland.html> (дата обращения: 30.06.2023).

17. Донченко, В. В. Анализ основных классификационных систем средств индивидуальной мобильности / В. В. Донченко, В. А. Купавцев // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 252-263. – DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-3-525-263.

18. Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/> (дата обращения: 21.05.2024).

19. Ассоциация операторов микромобильности [Электронный ресурс]: исследование рынка коммерческой микромобильности в регионах. URL: <https://assets.kept.ru/upload/pdf/2023/07/ru-commercial-micro-mobility-in-megacities-kept-survey.pdf> (дата обращения: 15.10.2024).

20. Единый транспортный портал [Электронный ресурс]: ЦОДД аналитика: кикшеринг в 2021 году. URL: <https://i.transport.mos.ru/flyover/kicksharing> (дата обращения: 19.05.2022).

21. Яндекс [Электронный ресурс]: Яндекс представил новое поколение самокатов собственной разработки. URL: <https://yandex.ru/company/news/01-11-03-2025?ysclid=mdbxsekw2l831941112> (дата обращения: 11.05.2025).

22. Юрент [Электронный ресурс]: МТС Юрент – шеринг самокатов и велосипедов. URL: <https://urent.ru/?ysclid=mdbxv8lamr727616940> (дата обращения: 10.03.2024).

23. Шелмаков, С. В. Немоторизованная мобильность: терминология и классификация / С. В. Шелмаков, А. Б. Галышев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2025. – № 1(43).

24. Шелмаков, С. В. Немоторизованная мобильность / С. В. Шелмаков, А. Б. Галышев. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2020. – 180 с.
25. Юнг, А. А. Обзор основных индивидуальных средств передвижения в городской среде / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова, Н. В. Голубенко // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики : материалы Международной научно-методической конференции, Оренбург, 23 марта 2021 года / Оренбургский институт путей сообщения. – Оренбург: Оренбургский институт путей сообщения – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет путей сообщения", 2021. – С. 195–200.
26. Юнг, А. А. Анализ рынка распространенных моделей средств индивидуальной мобильности / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова, Е. А. Новописный // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 13 мая 2021 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. – С. 84–88.
27. McKenzie, G. Urban mobility in the sharing economy: A spatiotemporal comparison of shared mobility services / G. McKenzie // Comput. Environ. Urban Syst. – 2020. - №79. – pp. 101418. - DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2019.101418.
28. Nocerino, R. E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots / R. Nocerino, A. Colorni, F. Lia, A. Luè // Transp. Res. Procedia. – 2016. - № 14. – pp. 2362–2371.
29. Мишина, Ю. В. Проблемы определения административно-правового статуса лиц, использующих для передвижения электросамокаты, сегвеи и иные современные технические средства // Проблемы экономики и юридической практики. 2020. № 4. С. 321-325.

30. Мишина, Ю. В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной мобильности // Правопорядок: история, теория, практика. 2020. № 1 (24). С. 44-46
31. International Transport Forum [Электронный ресурс]: Safe Micromobility. URL: <https://www.itf-oecd.org/safe-micromobility> (дата обращения: 11.05.2024).
32. Hasegawa, Y. Modeling pedestrians' subjective danger perception toward personal mobility vehicles / Y. Hasegawa, C. Dias, M. Iryo-Asano, H. Nishiuchi // Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav. – 2018. - №56. – pp. 256–267.
33. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». – 2024. – 154 с.
34. King, C.C.S. Injury patterns associated with personal mobility devices and electric bicycles: an analysis from an acute general hospital in Singapore / C.C.S. King, M.L. Mcem, S.P. Gdfm, T.T.G. Fcem // Singap. Med. J. – 2019. - № 1 – pp. 14.
35. Kim, Y.W. The New Recreational Transportation on the Street: Personal Mobility, Is It Safe? / Y.W. Kim, W.B. Park, J.S. Cho, S.Y. Hyun, G. Lee // J. Trauma Inj. – 2018 - № 31. – pp. 125–134.
36. Верещак, С.Б. Средства индивидуальной мобильности: проблемы правового регулирования участия в дорожном движении и административной ответственности / С. Б. Верещак, А. В. Верещак, Л. А. Абрамова // Право и практика. – 2020. - № 4. – С. 75–78
37. Сойников, С.А. Особенности определения административно-правового статуса участников дорожного движения, использующих современные технические средства передвижения (средства индивидуальной мобильности) / С. А. Сойникова // Вестник экономической безопасности. – 2020. - № 1. – С. 216–219.

38. Волков, П.А. Средства индивидуальной мобильности: вопросы теории и практики использования / П. А. Волков, Ю.В. Кеменяш // Вестник Белгородского юридического института МВД России имени И. Д. Путилина. - 2021. - № 1. – С. 51–55.\
39. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях" от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 09.03.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 27.03.2021)
40. Низамутдинов, М. М. Пространственная мобильность населения России: кластерный и факторный анализ / М. М. Низамутдинов, В. В. Орешников // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2019. – № 3. – С. 61-68. – DOI 10.31040/2222-8349-2019-0-3-61-68.
41. Черкашина, Т. Ю. Пространственная мобильность населения внутри и за пределы региона: социальные и инфраструктурные факторы неравенства / Т. Ю. Черкашина, Н. Л. Мосиенко // Регион: Экономика и Социология. – 2020. – № 4(108). – С. 44-77. – DOI 10.15372/REG20200403.
42. Завалишин, И. С. Планировочная структура крупного города на основе транспортной схемы метрополитена (линейный город) / И. С. Завалишин, Н. И. Завьялова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 1. – С. 17-19.
43. Шевелев, В. П. Транспортно-планировочная структура города / В. П. Шевелев, А. О. Гольянова // Архитектурные исследования. – 2019. – № 2(18). – С. 110-120.
44. Бурмина, Е. Н. Планировочная структура города / Е. Н. Бурмина, А. В. Томаля, К. Д. Лобынцева // Студенческий научный поиск - науке и образованию XXI века : Материалы XIV Международной студенческой научно-практической конференции, Рязань, 22 апреля 2022 года / Под редакцией А.Г. Ширяева, А.Д. Кувшиновой. – Рязань: Автономная некоммерческая организация высшего образования "Современный технический университет", 2022. – С. 46-51.

45. Савина, Ю. Ю. Транспортная освоенность и транспортная доступность территории как фактор агломерированности городов / Ю. Ю. Савина // Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Экономика, Новосибирск, 16–20 апреля 2016 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2016. – С. 115-116.

46. Рублева, П. А. Транспортная доступность, транспортная обеспеченность, транспортный потенциал / П. А. Рублева, А. А. Кошкина, Т. К. Свилева // Развитие инфраструктуры внутреннего водного транспорта: традиции, инновации (РИВВТ-2023) : Сборник трудов межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 05 декабря 2023 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2024. – С. 108-113.

47. Ерошин, С. Транспортная Доступность / С. Ерошин // Автомобильные дороги. – 2024. – № 6(1111). – С. 8-13.

48. Кырчанова, Л. В. Транспортная система Г. Москвы (проблемы и перспективы развития) / Л. В. Кырчанова // Наука на благо человечества - 2016 : Материалы ежегодной всероссийской научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и студентов посвященной 85-летию МГОУ: Географо-экологический факультет, Москва, 01–29 апреля 2016 года / Ответственный редактор З.Н. Ткачева. – Москва: Московский государственный областной университет, 2016. – С. 55-60.

49. Пушкарева, Е. О. Развитие транспортно-логистической системы в Московском регионе и логистические принципы их организации / Е. О. Пушкарева, С. А. Макаренко // Экономические аспекты развития российской индустрии в условиях глобализации : Материалы Международной научно-практической конференции кафедры «Экономика и организация

производства», Москва, 25 ноября 2014 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Научный консультант", 2014. – С. 216-219.

50. Развитие наземного транспорта в городе Москве / С. В. Егоров, А. С. Хомутов, П. В. Шационок [и др.] // Транспортное дело России. – 2023. – № 1. – С. 275-278. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_275.

51. Государственная программа города Москвы по развитию транспортной системы / С. В. Егоров, А. С. Хомутов, П. В. Шационок [и др.] // Транспортное дело России. – 2023. – № 1. – С. 313-315. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_313.

52. Транспортная система Москвы станет "умной" к 2030 году // Открытые системы. СУБД. – 2018. – № 2. – С. 3-9у.

53. Веселова, Ю. В. Цифровизация транспорта: оценка и перспективы развития / Ю. В. Веселова, П. В. Гущина, И. Ф. Шакирзянова // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ-2024) : электронный сборник трудов II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–16 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. – С. 130-132.

54. Силенко, А. Н. Цифровизация транспорта города Москвы / А. Н. Силенко, Н. С. Мажуга // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 4-3(91). – С. 45-51. – DOI 10.24412/2500-1000-2024-4-3-45-51.

55. Терехин, И. С. Цифровизация транспорта / И. С. Терехин // Актуальные проблемы управления - 2023 : Материалы 28-й Международной научно-практической конференции, Москва, 08–09 ноября 2023 года. – Москва: Государственный университет управления, 2023. – С. 404-407.

56. Трофименко, Ю. В. Транспортное планирование : формирование эффективных транспортных систем крупных городов / Ю. В. Трофименко, М. Р. Якимов. – Москва : Издательский дом "Логос Пресс", 2013. – 464 с. – ISBN 978-5-98704-709-5.

57. Трофименко, Ю. В. Модель формирования эффективной транспортной системы крупного города / Ю. В. Трофименко, М. Р. Якимов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2011. – № 4(4). – С. 8-16.
58. Якимов, М. Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов / М. Р. Якимов, Ю. В. Трофименко. – 2-е издание. – Пермь : Агентство РАДАР, 2022. – 536 с. – ISBN 978-5-6048401-0-8.
59. Cai, Q. Macro-level pedestrian and bicycle crash analysis: Incorporating spatial spillover effects in dual state count models / Q. Cai, J. Lee, N. Eluru, M. Abdel-Aty // Accident; Analysis and Prevention. – 2016. - № 93. – pp. 14–22.
60. Hertach, P. Characteristics of single vehicle crashes with e-bikes in Switzerland / P. Hertach, A. Uhr, S. Niemann, M. Cavegn // Accident Analysis & Prevention. – 2018. №117. – pp. 232–238.
61. Huang, H. Macro and micro models for zonal crash prediction with application in hot zones identification / H. Huang, B. Song, P. Xu, Q. Zeng, J. Lee, M. Abdel-Aty // Journal of Transport Geography. – 2016. - № 54. pp. 248–256.
62. Badeau, A. Emergency department visits for electric scooter-related injuries after introduction of an urban rental program / A. Badeau, C. Carman, M. Newman, J. Steenblik, M. Carlson, T. Madsen // The American Journal of Emergency Medicine. – 2019. - № 37(8). - pp. 1531–1533.
63. Sikka, N. Sharing the sidewalk: A case of E-scooter related pedestrian injury / N. Sikka, C. Vila, M. Stratton, M. Ghassemi, A. Pourmand // The American Journal of Emergency Medicine. – 2019. – № 37(9). – 1807.e5–1807.e7.
64. Tin, S. T., Completeness and accuracy of crash outcome data in a cohort of cyclists: A validation study / S.T. Tin, A. Woodward, S. Ameratunga // BMC Public Health. – 2013. - № 13(1). – pp 420.

65. De Ceunynck, T. «Crashing the gates» - selection criteria for television news reporting of traffic crashes / T. De Ceunynck, J. De Smedt, S. Daniels, R. Wouters, M. Baets // *Accident Analysis & Prevention*, 80, 142–152
66. Shah, N. R. Comparison of motor vehicle-involved e-scooter and bicycle crashes using standardized crash typology / N.R. Shah, S. Aryal, Y. Wen et al Cherry // *Journal of Safety Research*. – 2012. - № 77, pp. 217–228.
67. Слободчиков, Н. А. Перспективное развитие новых услуг сервиса в городском транспортном потоке / Н. А. Слободчиков, А. И. Дергачев, О. Н. Куранова // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – 2023. – Т. 20, № 2. – С. 279-289. – DOI 10.20295/1815-588X-2023-2-279-289.
68. Slobodchikov, N. A. Prospective Development of New Service Offerings in the Urban Traffic Flow / N. A. Slobodchikov, A. I. Dergachev, O. N. Kuranova // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. – 2023. – No. 3(35). – P. 60-67. – DOI 10.24412/2413-2527-2023-335-60-67.
69. Горбунова, А. Д. Развитие средств индивидуальной мобильности как транспорта «последней мили» / А. Д. Горбунова, И. А. Анисимов // *Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, 03–04 декабря 2020 года*. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 132–135.
70. 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.
71. Калюжный, Ю. Н. Активная и пассивная безопасность транспортных средств в свете технического регламента о безопасности

колесных транспортных средств / Ю. Н. Калюжный, С. Н. Кириленко // Вестник Орловского государственного университета. Серия: Новые гуманитарные исследования. – 2015. – № 1(42). – С. 48-50.

72. Зориков, Д. А. Активная и пассивная безопасность транспортных средств и требования к ее обеспечению / Д. А. Зориков, В. Н. Хабардин // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 90-летию Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 14–15 марта 2024 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 418–424.

73. Чепелов, А. В. Активная и пассивная безопасность транспортных средств / А. В. Чепелов, А. А. Войнов // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : сборник статей IX Всероссийской научно-производственной конференции / МНИЦ ПГСХА ; Под общей редакцией В.В. Салмина : Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – С. 102-105.

74. Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 N 877 (ред. от 21.06.2019) "О принятии технического регламента Таможенного союза "О безопасности колесных транспортных средств" (вместе с "ТР ТС 018/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств")

75. Пассивная безопасность транспортных средств / Е. Д. Паникленко, Н. Д. Лобанов, С. С. Семин, Ю. В. Смирняков // Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое, будущее : сборник статей Международной научно-технической конференции, Курск, 17 мая 2019 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 129-131.

76. Рябчинский, А. И. Пассивная безопасность российских колесных транспортных средств: состояние, проблемы, перспективы / А. И. Рябчинский // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 5-8.

77. Хромов, В. Н. Пассивная безопасность транспортных средств / В. Н. Хромов // Наука и практика. – 2015. – № 1(62). – С. 107-109.
78. Государственная инспекция безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]: Сведения о состоянии безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru> (дата обращения: 10.02.2025).
79. Купавцев, В. А. Исследование конфликтных ситуаций с участием средств индивидуальной мобильности / В. А. Купавцев, В. В. Донченко // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы Международной научно-технической конференции: в 2 томах, Тюмень, 21 апреля 2022 года. Том II. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 91-95. – EDN NCQSFJ.
80. Ляхов, П. В. Исследование дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности / П. В. Ляхов, В. А. Купавцев // Современная наука. – 2023. – № 4. – С. 37-42.
81. Шевцова, А. Г. Виды дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности / А. Г. Шевцова, А. А. Юнг, Д. С. Сбоева // Перспективы развития транспортного комплекса : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Минск, 12–14 сентября 2023 года. – Минск: Белорусский научно-исследовательский институт транспорта "Транстехника", 2023. – С. 111-112.
82. Юнг, А. А. Анализ аварийности с участием средств индивидуальной мобильности / А. А. Юнг, И. С. Мурзина, А. Г. Шевцова // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств : Сборник научных трудов по материалам XVI Международной научно-технической конференции, Саратов, 16 апреля 2021 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2021. – С. 23-28.
83. Шевцова, А. Г. Оценка аварийности с участием средств индивидуальной мобильности с учетом сезонности / А. Г. Шевцова, А. А. Юнг // Наукоемкие технологии и инновации (XXIV научные чтения) : Сборник

докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 21–22 октября 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 238-241.

84. Юнг, А. А. Оценка аварийности средств индивидуальной мобильности в различных условиях движения / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова // Современная наука. – 2021. – № 2. – С. 31-36. – DOI 10.53039/2079-4401.2021.4.2.007.

85. Reid, J. D. LS-DYNA A Computer Modeling Success Story / J. D. Reid, M. W. Hargrave, S. L. Paulson // Public Roads. – 2001. – Vol. 64, No. 4. – P. 21-25.

86. Gossling, S. Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change / S. Gossling // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2020. – vol. 79. – p. 102230.

87. Определение степени влияния факторов на вероятность возникновения ДТП / В. А. Корчагин, В. Э. Клявин, В. А. Суворов, М. В. Зеленцов // Транспортные и транспортно-технологические системы : Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 14 апреля 2010 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2010. – С. 185-189.

88. Энглез, И. П. Исследование влияния параметров транспортных потоков на вероятность возникновения ДТП / И. П. Энглез // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 9. – С. 27-31.

89. Бабков, В.Ф. Современные автомобильные магистрали / В.Ф. Бабков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1974. - 279 с.

90. Близниченко, С. С. Совершенствование метода коэффициентов аварийности / С. С. Близниченко, Е. А. Крапивина, А. Р. Оветченко // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Омск, 26–27 апреля

2012 года. Том Книга 1. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2012. – С. 43-48.

91. Mamutov, A. V. Finite element simulation of sheet metal forming using LS-DYNA code / A. V. Mamutov, V. S. Mamutov // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, St. Petersburg, 06–12 июня 2005 года / sponsors: SPIE Russie Chapter. Vol. 6253. – St. Petersburg: S P I E - International Society for Optical Engineering, 2006. – P. 62530G. – DOI 10.1117/12.676397

92. Муйземнек, А. Ю. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA : учеб. пособие / А. Ю. Муйземнек, А. А. Богач ; А. Ю. Муйземнек, А. А. Богач ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Пенз. гос. ун-т. – Пенза : ИИЦ ПГУ, 2005

93. Simulation of the nuclear fuel assembly drop test with LS-Dyna / P. Petkevich, V. Abramov, V. Yuremenko [et al.] // Nuclear Engineering and Design. – 2014. – Vol. 269. – P. 136-141. – DOI 10.1016/j.nucengdes.2013.08.019

94. Кройтор, О. К. Моделирование удара в программе LS-DYNA / О. К. Кройтор // Аллея науки. – 2017. – Т. 2, № 10. – С. 251-255.

95. Селезнев, Е. А. Оценка воздействия ударной перегрузки на голову человека с помощью кривой, построенной в координатах «скорость, потерянная при ударе, - скорость нарастания перегрузки» / Е. А. Селезнев // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. – 2020. – № 3. – С. 38-44.

96. Новиков, А. Н. Оценка индекса травмирования НИС при реконструкции попутных задних столкновений и наездов в экспертизе ДТП / А. Н. Новиков, Д. С. Михалева // Современные машиностроительные системы, технологии и инновации : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Воронеж, 06 марта 2025 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 222-228.

97. Долгова, О. Б. Научно-методическая основа обеспечения качества судебно-медицинской экспертизы механической травмы / О. Б. Долгова, П. О. Ромодановский // Уральский медицинский журнал. – 2023. – Т. 22, № 6. – С. 136-150. – DOI 10.52420/2071-5943-2023-22-6-136-150.
98. Комаров, Ю. Я. Исследование параметров оценки пассивной безопасности автомобиля при фронтальном краш-тесте / Ю. Я. Комаров, Д. Д. Сильченков, Ю. А. Суханосова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2011. – Т. 4, № 12(85). – С. 88-90.
99. Новиков, И. А. Анализ показателей конструктивной безопасности транспортных средств / И. А. Новиков, Е. А. Новописный, Е. А. Ковалева // Инновационная наука. – 2016. – № 12-2. – С. 87-92.
100. Загарин, Д. А. Исследование процесса удержания автомобиля дорожным ограждением и механизма защиты человека при данном ДТП / Д. А. Загарин, А. А. Барашков, М. В. Лыуров // Журнал автомобильных инженеров. – 2010. – № 2(61). – С. 50-54.
101. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 20 сентября 2019 г. n 560/пр об утверждении изменения N 1 к СП 82.13330.2016.
102. ГОСТ 52875 – 2018 Указатели тактильные наземные для инвалидов по зрению. Технические требования.
103. ГОСТ 6665 – 91 Камни бетонные и железобетонные бортовые. Технические условия
104. ГОСТ Р 52605 – 2006 Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения
105. ГОСТ Р 50597 – 2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля

106. Приказ от 25.08.2023 № МКЭ-ОД/23-91 «Об утверждении Сборника коэффициентов (индексов) пересчета в текущий уровень цен сметной стоимости строительно-монтажных работ, определенной в нормах и ценах ТСН-2001. Выпуск 203. Сборник № 08/2023, август 2023 года.»

107. Оценка ущерба от гибели людей в дорожно-транспортных происшествиях / А. А. Белогребень, О. Ю. Матанцева, И. В. Спирин, А. Е. Титов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 11. – С. 31-39. – DOI 10.36535/0236-1914-2020-11-6.

108. Белогребень, А. А. Методика оценки социально-экономического эффекта от реализации проектных решений в области организации дорожного движения / А. А. Белогребень, В. В. Донченко, О. Н. Съедин // Научный вестник автомобильного транспорта. – 2020. – № 1. – С. 20-34.

109. Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий» (Р 3112199-2502-00).

ПРИЛОЖЕНИЯ



ОГРН 1157746107936 / ИНН 7724305345 / КПП 772401001

Адрес: 115201, г. Москва, 1-й Котляковский пер., д. 3

Тел.: +7 (495) 225-50-87

e-mail: info@spetsdor.ru

сайт: www.spetsdor.ru

от «14» марта 2024 г.

Исх. № 195

По месту требования

СПРАВКА

О внедрении результатов диссертационной работы аспиранта ОАО «НИИАТ» Купавцева В.А.

Общество с ограниченной ответственностью «СПЕЦДОРПРОЕКТ» подтверждает, что при выполнении работ по подготовке материалов по организации дорожного движения по обособлению выделенной полосы для движения средств индивидуальной мобильности на 1-ой Брестской улице использовались результаты исследований, полученные аспирантом ОАО «НИИАТ» Купавцевым Владимиром Анатольевичем. По итогам реализации данного проекта принято решение по дальнейшему использованию предложений В.А.Купавцева при организации движения средств индивидуальной мобильности на улицах города Москвы.

Руководитель проекта Отдела планирования,
моделирования и проектного обеспечения
организации дорожного движения

Д.П.Корчагин

Исп.:

М. А. Приходько

Тел.: 8 (906) 726-83-01

e-mail: mprikhodko@spetsdor.ru



**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНТРАНС РОССИИ)**

Рождественка ул., д. 1, стр. 1, Москва, 109012
тел.: (499) 495-00-00, факс: (499) 495-00-10
info@mintrans.ru, www.mintrans.gov.ru

По месту требования

04.03.2024 № ДЗ/6231-УС

На № _____ от _____

СПРАВКА

**о внедрении результатов научных исследований аспиранта ОАО «НИИАТ»
Купавцева В.А.**

Департамент государственной политики в области автомобильного и городского пассажирского транспорта Министерства транспорта Российской Федерации подтверждает, что результаты исследований по тематике безопасности движения средств индивидуальной мобильности в городской среде, полученные аспирантом ОАО «НИИАТ» Купавцевым Владимиром Анатольевичем, использованы при подготовке плана мероприятий («дорожной карты»), направленных на дополнительное нормативно-правовое регулирование развития средств индивидуальной мобильности и обеспечение безопасности дорожного движения при их использовании, утвержденного Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации Хуснуллиным М.Ш. от 11 октября 2023 г. № 11752-П50-МХ.

Заместитель директора
Департамента государственной
политики в области автомобильного и
городского пассажирского транспорта

В.В. Луговенко

Чередниченко Николай Сергеевич
+ 7 (499) 495 07 14, ДГТ



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

11.10.2024 № 817

на № _____ от _____

По месту требования

СПРАВКА
о внедрении результатов научных исследований аспиранта ОАО «НИИАТ»
Купавцева В.А.

Департаментом транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы подтверждает, что результаты научных исследований Купавцева Владимира Анатольевича были использованы при проведении широкомасштабного социологического опроса для составления по определению профиля пользователя средств индивидуальной мобильности.

Заместитель руководителя
Департамента

А.Ю. Митяев