

*На правах рукописи*



**Блиндер Мария Михайловна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ  
ЗАМЕДЛЕНИЯ НЕМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЭКСПЕРТИЗ**

Специальность: 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Евтюков Станислав Сергеевич**

**Официальные оппоненты:** **Шевцова Анастасия Геннадьевна**  
доктор технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный  
технологический университет  
им. В.Г. Шухова», институт дополнительного  
образования и профессионального обучения  
«Высшая технологическая школа БГТУ  
им. В.Г. Шухова», директор института;

**Барнови Наталья Вячеславовна**  
кандидат технических наук,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский  
горный университет», кафедра  
транспортно-технологических  
процессов и машин, доцент;

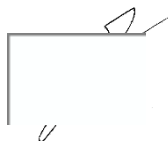
Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет имени И.С. Тургенева».**

Защита состоится «27» мая 2025 г. в 15:30 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.05 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория №220 главного корпуса). Тел./Факс: (812) 316–58–73; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» на сайте <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/blinder-mariya-mihaylovna>

Автореферат разослан «14» апреля 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



С.М. Грушецкий

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность выбранной темы.** Популярность немеханических транспортных средств (НМТС), как и их количество на дорожной сети, с каждым годом растет во всем мире, в том числе и в Российской Федерации (РФ). Развитие инфраструктуры городов для НМТС стоит на повестке дня во многих крупных городах РФ. В последние десятилетия люди все более убеждаются в том, что возможность езды на НМТС – это преимущество для городов, и принимают меры по стимулированию их использования в качестве ежедневного транспортного средства (ТС).

НМТС являются активными участниками дорожного движения (ДД), а также многих дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Важным аспектом предотвращения ДТП является оценка способности НМТС к торможению. Установление истинных причин нарушения правил дорожного движения (ПДД), приведших к ДТП, и способствующих им обстоятельств, одна из важных задач обеспечения безопасности движения и эксплуатации НМТС.

В настоящее время в автотехнической экспертизе ДТП с участием НМТС имеется значительная проблема с определением связи между действиями водителей НМТС и самим происшествием. Для точности расчетов, проводимых экспертами в случаях ДТП крайне важно определить параметры торможения и замедления НМТС. Нерешенными остаются вопросы о действиях водителей НМТС и скорости их движения непосредственно перед ДТП, поскольку неустановленные характеристики замедления и торможения приводят к некорректным исследованиям по установлению вины водителей, ставшими участниками ДТП.

На сегодняшний день в экспертной практике РФ используются значения установившегося замедления НМТС, полученные в прошлом веке и не учитывающие индивидуальные характеристики различных типов НМТС, что приводит к получению одинаковых значений остановочного пути при реконструкции ДТП.

Работа посвящена совершенствованию механизмов оценки индивидуальных характеристик НМТС, в частности велосипедов, на основе теоретико-экспериментальной базы знаний для повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз (ДТЭ).

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами безопасности дорожного движения, а также реконструкции ДТП занимались такие ученые, как: П.А. Кравченко, С.А. Евтюков, А.Н. Новиков, В.В. Сильянов, Э.Р. Домке, Е.В. Куракина, В.Н. Добромиров, В.В. Зырянов, С.С. Евтюков,

В.Э. Клявин, В.И. Рассоха, Л.С. Трофимова, Я.В. Васильев и другие. Однако в РФ в настоящее время существует крайне мало опубликованных источников, в которых бы присутствовали данные о НМТС и ДТП с их участием. В монографии Трофименко Ю.В., Шелмакова С.В., Зега С.О., Шашина Е.В. рассмотрены преимущества и недостатки велосипедного движения и уровень его развития в разных странах, однако не представлены никакие данные о ДТП с участием данных НМТС. В работе Пучкина В. А. представлена таблица с параметрами установившегося замедления велосипедов и мотовелосипедов, однако в связи с активным развитием конструкции подвески, тормозной системы и типов НМТС, требуются актуализация и более детальное рассмотрение факторов, оказывающих влияние на параметры торможения, с целью актуализации баз данных и действующих методик реконструкций ДТП. В работе Иларионова В.А. представлена экспертиза ДТП с участием НМТС, но полнота сведений не позволяет проводить объективную экспертную оценку таких инцидентов.

**Цель исследования** – повышение уровня достоверности ДТЭ с участием НМТС посредством совершенствования метода оценки их замедления.

**Задачи исследования:**

1. Разработать классификацию по типам НМТС, используемых на территории РФ;
2. Определить факторы, влияющие на процесс замедления НМТС и установить значения установившегося замедления в соответствии с разработанной классификацией по типам НМТС;
3. Произвести расчет эмпирических зависимостей для определения установившегося замедления различных типов НМТС;
4. Получить и обосновать корректирующие коэффициенты определения тормозного пути для различных типов НМТС с учетом вариативности коэффициентов сцепления и нагрузок на НМТС.

**Объект исследования** – проведение ДТЭ с участием НМТС.

**Предмет исследования** – способы оценки параметров замедления НМТС.

**Рабочая гипотеза** – учет типов НМТС, нагрузок на них, а также погоднo-климатических условий при определении значений их установившегося замедления может быть использовано в качестве инструментария для повышения эффективности анализа причин возникновения ДТП с участием НМТС.

**Научная новизна исследования заключается в достижении следующих результатов:**

1. Впервые разработана классификация по типам НМТС, используемых на территории РФ;

2. Определены факторы, влияющие на процесс замедления НМТС и установлены значения установившегося замедления в соответствии с разработанной классификацией по типам НМТС;

3. Получены эмпирические зависимости для определения установившегося замедления различных типов НМТС;

4. Разработаны и обоснованы корректирующие коэффициенты определения тормозного пути для различных типов НМТС с учетом вариативности коэффициентов сцепления и нагрузок на НМТС.

**Теоретическая значимость исследования заключается** в обосновании необходимости учета типов НМТС, погодных-климатических условий, а также нагрузок, действующих на них для расчета значения установившегося замедления НМТС при реконструкции механизма ДТП.

**Практическая значимость исследования заключается** в возможности применения автотехническими экспертами при проведении ДТЭ усовершенствованного метода оценки замедления НМТС с учетом их типов, вариативности погодных условий и нагрузок, действующих на них.

**Область исследования** – соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, п.6 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков»; п. 9 «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

**Методология и методы исследования** основаны на анализе статических данных о ДТП с участием НМТС в РФ и других странах, методах, используемых при расследовании ДТЭ с участием НМТС, планировании полного факторного эксперимента, обработке полученных результатов методами математической статистики и применении регрессионного анализа.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Классификация по типам НМТС, используемых на территории РФ;

2. Факторы, влияющие на процесс замедления НМТС и определенные значения установившегося замедления в соответствии с разработанной классификацией по типам НМТС;

3. Эмпирические зависимости для определения установившегося замедления различных типов НМТС;

4. Корректирующие коэффициенты определения тормозного пути для различных типов НМТС с учетом вариативности коэффициентов сцепления и нагрузок на НМТС.

**Личный вклад соискателя заключается** в анализе существующих классификаций НМТС в других странах и разработке такой классификации для РФ, проведении экспериментальных исследований по определению установившегося замедления НМТС, определении факторов, оказывающих влияние на данное замедление, получении регрессионных уравнений для определения установившегося замедления различных типов НМТС, разработке корректировочных коэффициентов установившегося замедления и тормозного пути.

**Степень достоверности результатов** обоснована использованием системного подхода при проведении ДТЭ с участием НМТС; подтверждена результатами проведенного исследования, опубликованными в ряде периодических изданий, рекомендованных ВАК РФ; обеспечена проведенными экспериментальными исследованиями с использованием измерительных приборов, прошедших поверку.

**Реализация результатов исследований.** Используются при производстве ДТЭ с участием НМТС в практике ИБДД СПбГАСУ и учебном процессе СПбГАСУ.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: XV международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах евразийское сотрудничество» (Оренбург, 2020 г.), 74-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» (Санкт-Петербург, 2021 г.), Conference «2021 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications» (Москва, 2021 г.), Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2021 г.), XVI Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств» (Саратов, 2021 г.), The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (Орел, 2021 г.), Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (Липецк, 2022 г.), VIII Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2022 г.).

**Публикации** Основные положения диссертационного исследования отражены в одиннадцати печатных работах, в том числе пять в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Работа изложена на 179 листах печатного текста, состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка литературы, включающего 102 источника, 4 приложений. В работе представлена 59 формул, 39 таблиц и 45 рисунков.

*Во введении* рассмотрена актуальность проводимого исследования, обозначены цель и задачи диссертационного исследования

*В первой главе* проведен анализ аварийности с участием НМТС на территории РФ и за рубежом, а также исследованы особенности их применения на дорожной сети.

*Во второй главе* рассмотрены факторы, оказывающие влияние на ДТП с участием НМТС, изучены существующие методы определения замедления НМТС.

*В третьей главе* разработана классификация НМТС для РФ, проведены экспериментальные исследования по определению установившегося замедления НМТС и определены их значения для различных типов НМТС в зависимости от нагрузки, действующих на них и вариативности погодноклиматических условий.

*В четвертой главе* получены уравнения регрессии по определению установившегося замедления для различных типов НМТС. Разработаны корректирующие коэффициенты тормозного пути и установившегося замедления НМТС при производстве ДТЭ. Выполнена оценка эффективности разработанных решений.

*В заключении* приведены основные выводы диссертационного исследования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. Классификация по типам НМТС, используемых на дорожной сети РФ для повышения достоверности результатов ДТЭ.

Необходимость введения классификации НМТС непосредственно связана с безопасностью дорожного движения. Опыт зарубежных классификаций показывает необходимость разработки и применения классификации данных ТС в РФ для более точной оценки их установившегося замедления в зависимости от типа, погодноклиматических условий, а также нагрузок, действующих на них.

На основании проведенных исследований зарубежных классификаций и анализа рынка на предмет спроса НМТС различных типов в РФ, представленных в диссертационном исследовании, впервые была разработана классификация НМТС для РФ, приведенная в табл. 1.

Табл. 1. Классификация НМТС для РФ

| Категория<br>(Class) | Тип НМТС                                                                   | Особенности эксплуатации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                    | – Детский<br>– Подростковый                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Асфальтированные дороги, не используемые для движения автотранспорта, велосипедные дорожки, дороги, вымощенные гравием, песком или аналогичными материалами, не использующиеся автотранспортом;</li> <li>– Имеют полный контакт с поверхностью;</li> <li>– Не предназначен для прыжков и езды на одном колесе (переднем или заднем);</li> <li>– Водитель должен избегать любого торможения, вызывающего подъем заднего колеса.</li> </ul>                    |
| 1                    | – Складной                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Дороги с твердым покрытием: асфальтированные дороги, велосипедные дорожки, дороги, вымощенные гравием, песком или подобными материалами, мощеные пешеходные тропы с небольшим количеством корней, порогов, камней;</li> <li>– Имеют полный контакт с поверхностью;</li> <li>– Не предназначен для прыжков и езды на одном колесе (переднем или заднем);</li> <li>– Водитель должен избегать любого торможения, вызывающего подъем заднего колеса.</li> </ul> |
| 2                    | – Городской<br>– Комфортный (круизер)<br>– Электровелосипеды (велогибриды) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Дороги с твердым покрытием: асфальтированные дороги, велосипедные дорожки, дороги, вымощенные гравием, песком или подобными материалами, мощеные пешеходные тропы с небольшим количеством корней, порогов, камней;</li> <li>– Не предназначен для прыжков и езды на одном колесе (переднем или заднем);</li> <li>– Водитель должен избегать любого торможения, вызывающего подъем заднего колеса.</li> </ul>                                                 |

Окончание табл. 1

| Категория<br>(Class) | Тип НМТС                                                                          | Особенности эксплуатации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3                    | – Горный                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Асфальтированные дороги, велосипедные дорожки, дороги, вымощенные гравием, песком или подобными материалами, мощеные пешеходные тропы с большим количеством корней, порогов, камней;</li> <li>– Небольшая потеря контакта с поверхностью из-за неровностей;</li> <li>– Не предназначен для прыжков и езды на одном колесе (переднем или заднем);</li> <li>– Водитель должен избегать любого торможения, вызывающего подъем заднего колеса.</li> </ul> |
| 4                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Шоссейный</li> <li>– Трековый</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Асфальтированные дороги и велосипедные дорожки; велосипедные треки</li> <li>– Имеют полный контакт с поверхностью;</li> <li>– Водитель должен избегать любого торможения, вызывающего подъем заднего колеса.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                               |
| 5                    | – Экстремальный («Дерт», «Триал» или «BMX»)                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Официальные спортивные и велосипедные парки</li> <li>– Из-за его тяжелого предназначения использования в конце каждой поездки необходима регулярная проверка велосипеда</li> </ul> <p>Важно! При использовании подножек, брызговиков, багажников, а также велосипедных прицепов область применения модели меняется на классификационную категорию 2.</p>                                                                                              |

## 2. Факторы, влияющие на процесс замедления НМТС и определенные значения установившегося замедления с учетом индивидуальных характеристик НМТС.

При проведении экспериментальных исследований производились измерения замедления НМТС при помощи деселерометра модели «LWS-2МС» (рис. 1.), который предназначен для любых категорий ТС. При проведении исследований на НМТС были установлены деселерометр и датчик

замедления (рис. 2), таким образом, чтобы исключить возможность их смещения (рис. 3–4). Перед каждым проведенным экспериментом с помощью шарнирного механизма проводилась калибровка датчика относительно горизонта. В меню деселерометра до начала проведения эксперимента на НМТС задавалась скорость 20 км/ч, при достижении заданной скорости деселерометр издавал определенный звуковой сигнал, услышав который водитель НМТС применял экстренное торможение. Испытания на торможение проводились при различных нагрузках (50, 70 и 90 кг) на НМТС, с различными высотами протекторов шин НМТС на сухом (САП), влажном (ВАП) и мокром (МАП) асфальтобетонном покрытии, блок-схема процесса проведения экспериментальных исследований с различными типами НМТС приведена на рис. 5.



Рис.1. Измерительный прибор «LWS-2MC»



Рис.2. Датчик измерительного прибора

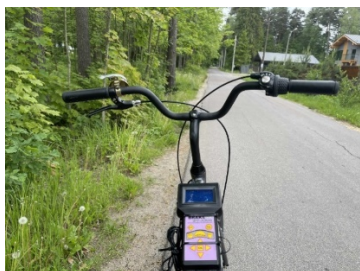


Рис.3. Пример крепления измерительного прибора на НМТС при проведении экспериментальных исследований



Рис.4. Конструкция крепления деселерометра модели «LWS-2MC» (вид сбоку)

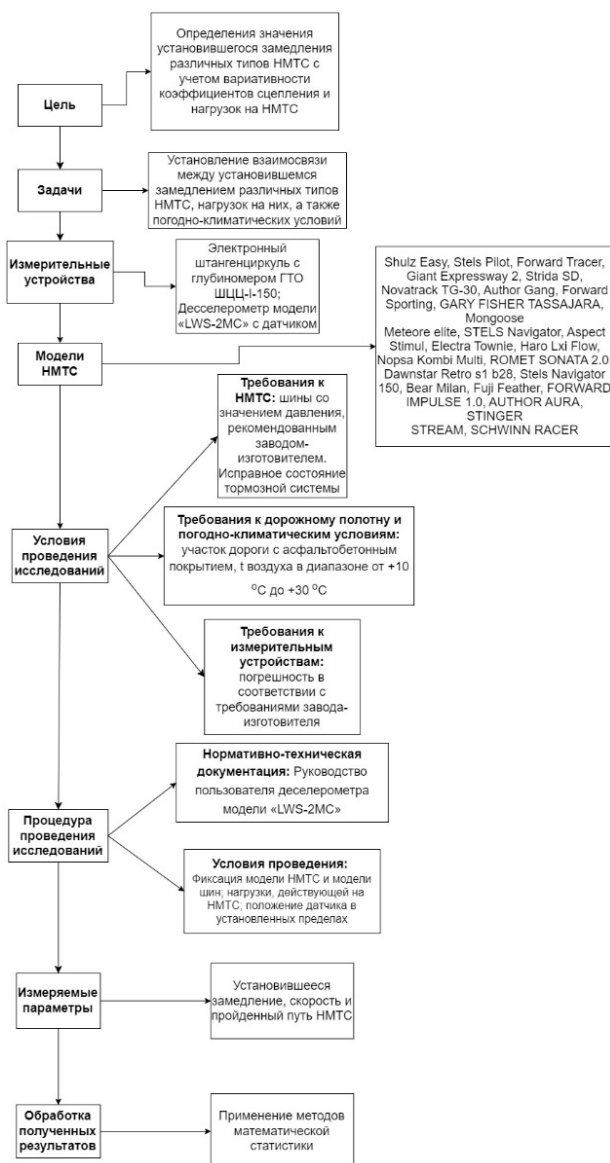


Рис. 5. Блок-схема процесса проведения экспериментальных исследований по определению установившегося замедления различных типов НМТС

При проведении экспериментальных исследований рассматривался ряд факторов, влияющих на процесс замедления НМТС, перечень которых приведен в табл. 2.

Табл. 2. Рассматриваемые факторы

| №<br>п/п | Тип фактора                          | Значение |
|----------|--------------------------------------|----------|
| 1        | 2                                    | 3        |
| 1        | Нагрузка на НМТС (Вес водителя НМТС) | x1       |
| 2        | Высота протектора                    | x2       |
| 3        | Тип тормозов                         | x3       |
| 4        | Тип протектора                       | x4       |
| 5        | Тип рисунка протектора               | x5       |
| 6        | Тип велосипеда                       | x6       |
| 7        | Погодно-климатические условия        | x7       |
| 8        | Значения установившегося замедления  | y        |

Факторы № п.п. 3 – 6 являются со зависимыми и характеризуют фактор №6 – тип велосипеда в соответствии с разработанной для Российской федерации классификацией. Каждый тип НМТС имеет индивидуальные, выделяющие его характеристики, такие как: конструкция рамы, тип тормозов, размер шин, тип и величина протектора [94]. Планированное полно факторного эксперимента ввиду невозможности ранжирования вышеуказанные факторы сводится к виду 33 для каждого типа НМТС, представленных в таблице 3.

В результате предварительных экспериментальных исследований было установлено, что на замедление НМТС оказывают доминирующие влияние три технологических фактора. Эффекта взаимодействия факторов не выявлено (т.е. парный эффект практически отсутствует). Необходимое число опытов в эксперименте  $N = 33 = 27$ .

Соответственно, при дальнейшем исследовании рассматривалось 4 фактора значимо влияющие на результат.

Табл. 3. Факторы, влияющие на процесс замедления НМТС

| №<br>п/п | Тип фактора                            | Значение |
|----------|----------------------------------------|----------|
| 1        | 2                                      | 3        |
| 1        | Нагрузка на НМТС                       | x1       |
| 2        | Тип НМТС (конструктивные отличия рамы) | x2       |
| 3        | Высота протектора                      | x3       |
| 4        | Погодно-климатические условия          | x4       |

На рис. 6 и 7 приведены наглядные схемы определения замедления при экстренном торможении со скорости 20 км/ч на горном и городском НМТС соответственно. При движении и торможении во избежание неточностей в результатах экспериментов, водитель НМТС стремился минимизировать изменение прямолинейного движения.



Рис. 6. Пример проведения экспериментального исследования на горном НМТС на САП



Рис. 7. Пример проведения экспериментального исследования на городском НМТС на САП

Графическое сравнение полученных результатов с результатами расчета по существующему методу приведены на рис. 8–10.

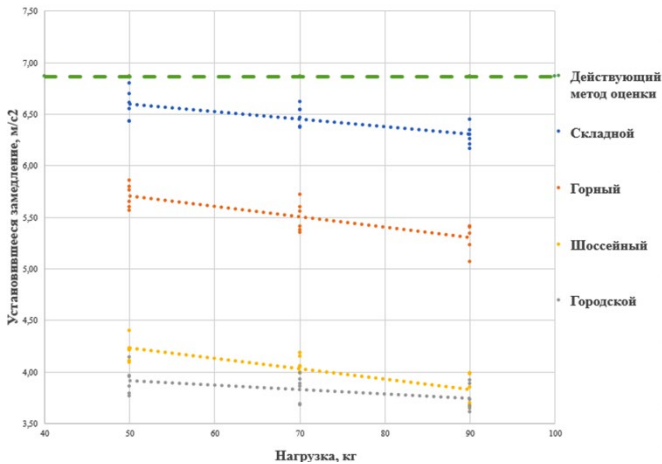


Рис. 8. Сопоставление значений установившегося замедления с результатами расчета по существующему методу на САП для различных типов НМТС и нагрузок, действующих на них

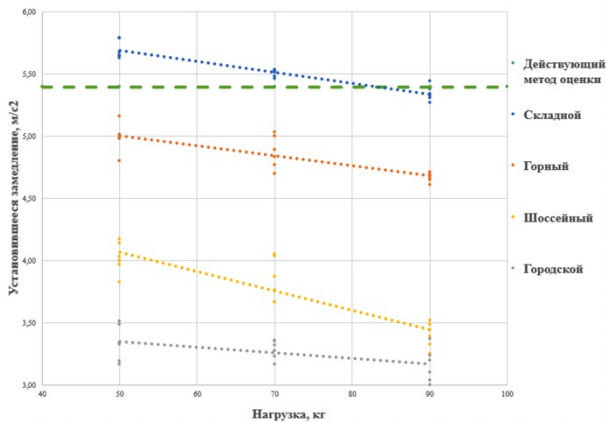


Рис. 9. Сопоставление значений установившегося замедления с результатами расчета по существующему методу на ВАП для различных типов НМТС и нагрузок, действующих на них

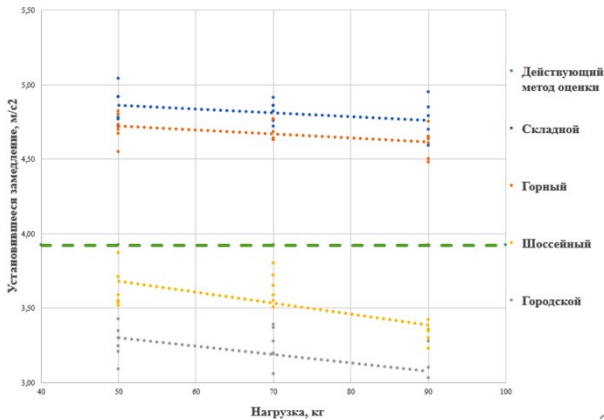


Рис. 10. Сопоставление значений установившегося замедления с результатами расчета по существующему методу на МАП для различных типов НМТС и нагрузок, действующих на них

В результате проведенного сопоставления установлено, что фактические значения установившегося замедления имеют значительное отличие от значений, определенных при помощи существующего метода, что свидетельствует о необходимости учета типа НМТС, нагрузки, действующей на него, а также погодно-климатических условий.

### 3. Эмпирические зависимости для определения установившегося замедления различных типов НМТС.

В результате проведенных исследований были получены уравнения регрессии описывающие средние значения установившегося замедления НМТС в зависимости от тормозного пути, представленные в табл. 4, результаты регрессионного анализа приведены в табл. 5.

Табл. 4. Полученные уравнения регрессии  $J(S)$

| Вид регрессии    | $J(S)$                                      |
|------------------|---------------------------------------------|
| Линейная         | $J(S) = -0.77x + 8.45$                      |
| Квадратичная     | $J(S) = 0.16x^2 - 2.26x + 11.77$            |
| Кубическая       | $J(S) = -0.04x^3 + 0.67x^2 - 4.63x + 15.33$ |
| Степенная        | $J(S) = 14.16x^{-0.72}$                     |
| Показательная    | $J(S) = 9.96 \cdot 0.85^x$                  |
| Логарифмическая  | $J(S) = 10.21 - 3.54 \cdot \ln x$           |
| Гиперболическая  | $J(S) = 1.38 + 15.42/x$                     |
| Экспоненциальная | $J(S) = e^{2.30 - 0.16x}$                   |

Табл. 5. Результаты регрессионного анализа

| Вид регрессии    | Средняя ошибка аппроксимации, % |
|------------------|---------------------------------|
| Линейная         | 2,79                            |
| Квадратичная     | 0,54                            |
| Кубическая       | 0,12                            |
| Степенная        | 0,40                            |
| Показательная    | 1,78                            |
| Логарифмическая  | 1,39                            |
| Гиперболическая  | 0,17                            |
| Экспоненциальная | 1,78                            |

В рамках проведенной работы сделан вывод о том, что кубическое уравнение регрессии демонстрирует минимальную ошибку аппроксимации, что в свою очередь является основанием для выбора кубического уравнения как результирующего. Точность расчетов подтверждается полученной ошибкой аппроксимации, которая составляет менее 0,12%. На рис. 11 приведены зависимости замедления различных типов НМТС от коэффициента сцепления при различных нагрузках, действующих на НМТС. На рис. 12 приведены зависимости замедления различных типов НМТС от нагрузок, действующих на них при различных коэффициентах сцепления.

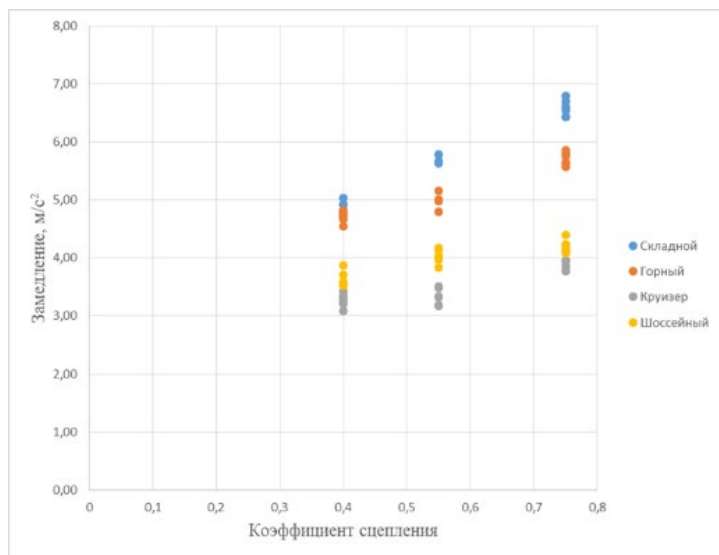


Рис. 11. Зависимость замедления различных типов НМТС от коэффициента сцепления при  $P = 50 \text{ кг}$

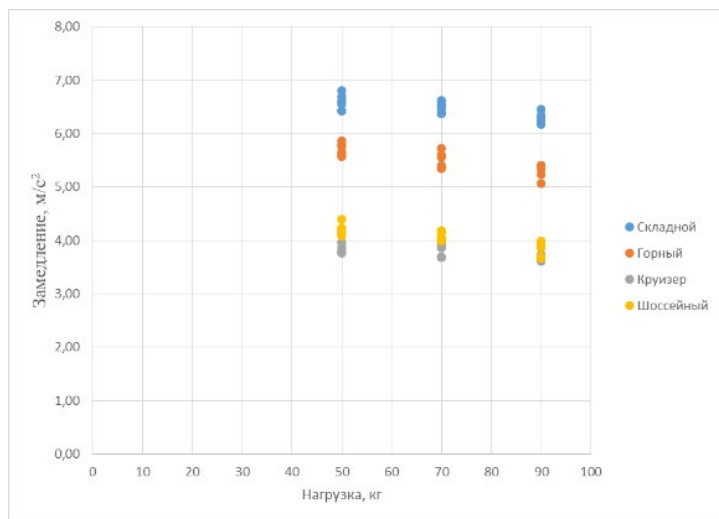


Рис. 12. Зависимость замедления различных типов НМТС от нагрузки при  $\phi = 0,75$

Фактор «тип НМТС», включающий в себя различные характеристики НМТС, оказывает воздействие на значение установившегося замедления, что отчетливо видно на рис. 11–12. Из приведенных зависимостей видно, что для каждого типа НМТС необходимо определить уравнение регрессии, которое будет учитывать факторы, приведенные в табл. 6.

Табл. 6. Факторы, влияющие на установившееся замедление НМТС

| № п.п. | Значение | Название фактора       |
|--------|----------|------------------------|
| 1      | $X_1$    | Коэффициент сцепления  |
| 2      | $X_2$    | Нагрузка на НМТС       |
| 3      | $X_3$    | Высота протектора шины |

С учетом вышеприведенных факторов получены уравнения регрессии для каждого типа НМТС, приведенные в формулах 1-4:

Складной тип НМТС:

$$J = 3,30 + 4,60X_1 - 0,005X_2 + 0,0244X_3 \quad (1)$$

Горный тип НМТС:

$$J = 4,09 + 2,44X_1 - 0,006X_2 + 0,0155X_3 \quad (2)$$

Городской тип НМТС:

$$J = 2,65 + 1,91X_1 - 0,004X_2 + 0,0155X_3 \quad (3)$$

Шоссейный тип НМТС:

$$J = 3,73 + 1,41X_1 - 0,010X_2 + 0,0316X_3 \quad (4)$$

#### **4. Корректирующие коэффициенты тормозного пути и установившегося замедления для различных типов НМТС с учетом вариативности коэффициентов сцепления, высоты протектора шины и нагрузок, действующих на НМТС**

С учетом особенностей различных типов НМТС, нагрузок, действующих на них, высоты протектора шины, а также погоднo-климатических условий, выполнена корректировка формулы замедления посредством добавления в нее коэффициента эффективности, что приведет ее к следующему виду:

$$J = \frac{\varphi}{K_0} \cdot g = \frac{\varphi}{K_{\Sigma} \cdot K_M} \cdot g \quad (5)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления;  $K_{\Sigma}$  – коэффициент эффективности для сухого асфальтобетонного покрытия = 1,1–1,2, для других типов покрытия = 1,0;  $K_M$  – коэффициент массы НМТС из табл. 7, полученный расчетным методом.

Табл. 7. Значение коэффициента  $K_m$  для разных нагрузок, типов покрытия и НМТС

| Тип НМТС  | Характеристика асфальтобетонного покрытия | Нагрузка на НМТС |       |       |
|-----------|-------------------------------------------|------------------|-------|-------|
|           |                                           | 50 кг            | 70 кг | 90 кг |
| Складной  | Сухое                                     | 0,93             | 1,04  | 1,06  |
|           | Влажное                                   | 0,96             | 0,98  | 1,00  |
|           | Мокрое                                    | 0,73             | 0,75  | 0,77  |
| Горный    | Сухое                                     | 1,10             | 1,23  | 1,26  |
|           | Влажное                                   | 1,06             | 1,09  | 1,12  |
|           | Мокрое                                    | 0,74             | 0,77  | 0,79  |
| Городской | Сухое                                     | 1,58             | 1,77  | 1,82  |
|           | Влажное                                   | 1,55             | 1,59  | 1,63  |
|           | Мокрое                                    | 1,10             | 1,14  | 1,18  |
| Шоссе     | Сухое                                     | 1,44             | 1,66  | 1,75  |
|           | Влажное                                   | 1,36             | 1,44  | 1,53  |
|           | Мокрое                                    | 0,93             | 0,99  | 1,06  |

В зависимости от рассматриваемого типа НМТС формулу расчета тормозного пути необходимо дополнить корректирующим коэффициентом  $K_{тп}$ . Из этого следует, что формула расчета тормозного пути примет следующий вид:

$$S_{тп} = K_{тп} (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{v}{3,6} + \frac{v^2}{26 \cdot j} \quad (6)$$

где  $K_{тп}$  – корректирующий коэффициент тормозного пути;  $t_2$  – время срабатывания тормозной системы, с;  $t_3$  – время нарастания замедления, с;  $V$  – скорость НМТС, м/с.

В табл. 8 приведены расчетные значения коэффициента  $K_{тп}$  в зависимости от типа НМТС, погодных-климатических условий при  $P = 50$  кг, действующей на НМТС.

Табл. 8. Значения коэффициента  $K_{тп}$  в зависимости от типа НМТС при  $P = 50$  кг.

| Тип НМТС | Складной | Горный | Городской | Шосейный |
|----------|----------|--------|-----------|----------|
| J        | $K_{тп}$ |        |           |          |
| 2,9      | 0,774    | 0,770  | 0,974     | 0,868    |
| 3,9      | 0,879    | 0,896  | 1,122     | 1,016    |
| 4,7      | 0,934    | 0,969  | 1,189     | 1,096    |
| 5,4      | 0,964    | 1,012  | 1,218     | 1,141    |
| 6,0      | 0,977    | 1,037  | 1,239     | 1,173    |
| 6,5      | 0,982    | 1,052  | 1,248     | 1,192    |

Результаты проведенного исследования с учетом предлагаемых корректирующих коэффициентов приведены в табл. 9.

Табл. 9. Полученные формулы с учетом корректирующих коэффициентов

| № п.п.                                                                                                  |                                                                               |                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.                                                                                                      | Существующая формула                                                          | Разработанный коэффициент                                                                                                                                       | Формула с учетом разработанного коэффициента                                         |
|                                                                                                         | $S_{тп} = (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{v}{3,6} + \frac{v^2}{26 \cdot j}$ | $K_{тп}$                                                                                                                                                        | $S_{тп} = K_{тп} (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{v}{3,6} + \frac{v^2}{26 \cdot j}$ |
|                                                                                                         | Результат                                                                     |                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
|                                                                                                         | При равном $J_1=J_2$ ,<br>$S_{тп}=4,62$ м                                     | $S_{тп}$ с учетом $K_{тп}$ для НМТС <sub>1</sub> = 2,12 м<br>$S_{тп}$ с учетом $K_{тп}$ для НМТС <sub>2</sub> = 4,07 м                                          |                                                                                      |
| 2                                                                                                       | Существующая формула                                                          | Разработанный коэффициент                                                                                                                                       | Формула с учетом разработанного коэффициента                                         |
|                                                                                                         | $J = \frac{\varphi}{K_{\varphi}} \cdot g$                                     | $K_M$                                                                                                                                                           | $J = \frac{\varphi}{K_{\varphi} \cdot K_M} \cdot g$                                  |
|                                                                                                         | Результат                                                                     |                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
|                                                                                                         | При $\varphi$ равном 1:<br>$J = 9,81$ м/с <sup>2</sup>                        | При $\varphi$ равном 1:<br>$J$ с учетом $K_M$ для НМТС <sub>1</sub> = 6,15 м/с <sup>2</sup><br>$J$ с учетом $K_M$ для НМТС <sub>2</sub> = 3,89 м/с <sup>2</sup> |                                                                                      |
| где НМТС <sub>1</sub> – складное НМТС «Shulz Easy», НМТС <sub>2</sub> – городское НМТС «Electra Townie» |                                                                               |                                                                                                                                                                 |                                                                                      |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования получены следующие результаты:

1. Впервые разработана классификация по типам НМТС, используемых на территории РФ с учетом зарубежного опыта;
2. Экспериментальным путем определены значения установившегося замедления для различных типов НМТС в соответствии с разработанной классификацией, а также факторы, оказывающие влияние на данные значения;
3. Для каждого типа НМТС разработаны уравнения регрессии, определяющие значение установившегося замедления и позволяющие повысить точность расчетов тормозного пути в среднем на 11%;
4. Для определения тормозного пути разработаны корректирующие коэффициенты для различных типов НМТС с учетом вариативности коэффициентов сцепления и нагрузок, действующих на НМТС.

## СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

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

1. Блиндер М.М. Факторы, влияющие на формирование установившегося замедления двухколесных транспортных средств // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 6. – С. 186–195. (0,6 п.л.).
2. Блиндер М.М. Реконструкция аварии и оценка травм велосипедиста, полученных при столкновении автомобиля с велосипедом / М.М. Блиндер, С.А. Евтюков, И.С. Брылев // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 2. – С. 208–215. (0,7 п.л./0,3 п.л.).
3. Блиндер М.М. Классификация немеханических транспортных средств // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 4. – С. 105–112. (0,6 п.л.).
4. Блиндер М.М. Оценка влияния транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербург на безопасность дорожного движения велосипедистов / М.М. Блиндер, С.С. Евтюков, И.С. Брылев // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3–2. – С. 76–85. (0,6 п.л./0,3 п.л.).
5. Блиндер М.М. Повышение безопасности дорожного движения велосипедного транспорта в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 1. – С. 114–120 (0,5 п.л.).

**Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Scopus:**

6. Blinder M. Factors affecting the formation of the established deceleration of two-wheeled vehicles / M. Blinder, I. Brylev, S. Evtyukov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering at 2021 IOP Conf. Ser.: Mater.

Sci. Eng. 1159 012058, URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1159/1/012058/pdf>.

7. Blinder M. Estimation of the reaction time of the driver of a two-wheeled vehicle in case of danger /M.Blinder, I. Brylev, S. Evtukov // The VII International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Management of Transport Systems” (ITMTS 2021) URL:<https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2021/10/mateconfitmts202100047/mateconfitmts202100047.html>.

8. Blinder M. Modeling of a road traffic accident using multivariate analysis of injuries in a two-wheeled vehicle collision with a car / M. Blinder, S. Evtukov, I. Brylev, V. Rogov, D. Ptitsyn.// URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9415998>, 2021.

9. Blinder M. Experimental Studies of Bicycle Deceleration on Dry / M. Blinder, S. Evtukov, I. Brylev, V. Rogov, D. Ptitsyn // Moist and Wet Asphalt Concrete Pavement, 2023, URL: Experimental Studies of Bicycle Deceleration on Dry, Moist and Wet Asphalt Concrete Pavement | IEEE Conference Publication | URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9934039>.

#### **В сборниках трудов международных научных конференций**

10. Блиндер М.М. Пути повышения безопасности дорожного движения немеханических транспортных средств в г. Санкт-Петербург/ С.С. Евтюков, И.С. Брылев, М.М. Блиндер // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» – ИИТТ. – Липецк: Изд-во Липецкого гос. техн. ун-та, 2022. – С. 39–48.

11. Блиндер М.М. Факторы, оказывающие влияние на формирование параметров установившегося замедления и времени нарастания замедления двухколесных транспортных средств / М.М. Блиндер, С.А. Евтюков, И.С. Брылев // Сборник статей XV международной научно-практической конференции – Оренбург, 2020. – С. 263–273 (0,2 п.л./0,1 п.л.).

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 21.03.2025. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 120 экз. Заказ 30.

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

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