

На правах рукописи



Гладушевский Илья Сергеевич

**МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ШИН
НА ЗАМЕДЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ КАТЕГОРИИ М1**

Специальность: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного
транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2022

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

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Евтюков Станислав Сергеевич.

Официальные оппоненты: **Новиков Иван Алексеевич,**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»,
транспортно-технологический институт, директор;

Афанасьев Александр Сергеевич
кандидат военных наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский горный университет», кафедра
«Транспортно-технологических процессов и машин»,
заведующий.

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

Защита состоится «04» октября 2022 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория № 220). Тел./Факс: (812) 316–58–73; E-mail: rector@spbgasu.ru

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

Автореферат разослан «29» августа 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. В. Терентьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность выбранной темы. Мировое технологическое развитие влияет на технологии, используемые в автомобилестроении, в том числе развитие шинной промышленности и прогрессирующие системы безопасности оказывают определенное влияние на улучшение управляемости транспортных средств (ТС). Индивидуальные характеристики ТС не позволяют описывать процесс замедления имеющимся математическим аппаратом. Совершенствующиеся технологии, внедряемые в эксплуатируемую технику, нуждаются в определении методов оценки, в частности параметров замедления ТС категории M_1 .

Сезонная смена шин на ТС категории M_1 требует более глубокого исследования ввиду явно выраженного отличия зимних шипованных и нешипованных шин от летних в части характеристик протектора. Используемые в экспертной практике данные для определения замедления ТС категории M_1 должным образом описывают замедление отечественных ТС XX века, и не дают возможность оценить реальные значения замедления современных автомобилей. Таким образом не удастся порой определить техническую возможность предотвращения ДТП водителем ТС.

Применение имеющегося математического аппарата, характеризующего замедление ТС XX века, определяет равные значения установившегося замедления для ТС категории M_1 с различными техническими характеристиками. Определение индивидуальных характеристик ТС, рассматриваемых в диссертационном исследовании сгруппировано по сегментам(классам), в соответствии с классификацией Европейской экономической комиссии.

Определенные значимые факторы, влияющие на значение установившегося замедления, удовлетворяют условиям разделения транспортных средств категории M_1 по сегментам, в соответствии с классификацией Европейской экономической комиссии.

Проведенные экспериментальные исследования по определению установившегося замедления, с использованием деселерометра модели «LWS-2MC», для 52 ТС категории M_1 при различных погодных-климатических условиях для летнего и зимнего (шипованного и нешипованного) типа протектора, показывают отличие полученных значений установившегося замедления, в зависимости от сегментов транспортных средств категории M_1 , от расчетных.

Предварительная проверка технического состояния рассматриваемых ТС позволяла убедиться в их исправности и допуске к эксплуатации на дорогах общего пользования. Соответствие размерности шин рекомендациям заводов производителей проверялась индивидуально для каждого ТС.

В результате проведенных экспериментальных исследований была сформирована база значений установившегося замедления. На основании полученных данных были определены значения установившегося замедления индивидуально для каждого сегмента.

Полученные, в результате математического обоснования, уравнения множественной регрессии, для различных сегментов ТС категории М₁, с учетом эксплуатации летнего и зимнего (шипованного и нешипованного) типа протектора, позволяют должным образом охарактеризовать процесс замедления.

Произведен сравнительный расчет с использованием математического аппарата, применяемого в экспертной практике и предложенного метода. Представлены поправочные коэффициенты, учитывающих индивидуальные характеристики ТС, сезонность и износ протектора шины, корректирующие расчетные значения замедления, полученные в результате применения математического аппарата, применяемого в экспертной практике.

Актуализация значений замедления, формирование расчетной базы для различных типов шин, используемых на легковых ТС категории М₁, учитывая тип протектора, является первоочередной задачей для установления возможности предотвращения ДТП.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами исследования замедления и реконструкцией ДТП занимались зарубежные и отечественные ученые, среди них: А.В. Шемякин, А.И. Рябчинский, А.И. Федотов, А.М. Плотников, А.Н. Новиков, Б.Е. Боровский, В.А. Иларионов, В.А. Пучкин, В.В. Сильянов, В.Д. Кондратьев, В.И. Рассоха, В.Н. Басков, В.Н. Добромиров, В.Э. Клявин, В.Ю. Гиттис, Г. Гинзбург, Д.В. Капский, Е.В. Куракина, И.А. Новиков, Н.В. Подопригора, И.С.Брылев, Н.М. Кристи, П.А. Кравченко, П.А. Пегин, П.А. Стёпина, С.А. Евтюков, С.В. Жанказиев, С.С. Евтюков, Э.Р. Домке, Я.В. Васильев, В.Ф. Бабков, и другие. Несмотря на широкий обзор данной тематики, технологическое развитие требует ежегодного обновления значений установившегося замедления. Использование устаревших значений замедления, в совокупности с современными транспортными средствами, приводит к недостоверным данным, что не позволяет экспертам установить, как начальную скорость торможения, так и фактический тормозной и остановочные пути. Оснащение ТС современными антиблокировочными системами сказывается на отсутствие явных следов торможения. Использование усредненных значений замедления ТС приводит к введению в расчетную модель заниженных показателей, что негативно сказывается на значениях пройденного тормозного пути.

Взаимодействие протектора шины с дорожным покрытием является одним из основных значений при установлении замедления. Мгновенное

нарастание замедления позволяет поддерживать усилие на протяжении всего периода замедления. Ввиду совершенствования техники и применяемых технологий, применение устаревших значений замедления, введенных в прошлом веке, к современным ТС является нецелесообразным и требует дополнительных исследований.

Цель исследования заключается в создании метода оценки замедления ТС категории M_1 , способной повысить точность реконструкции ДТП расчетным методом и обеспечить объективность заключений в ходе экспертных исследований.

Задачи исследования:

1. Анализ применяемых в экспертной практике расчетно-аналитических методов оценки замедления ТС категории M_1 ;
2. Оценка существующих расчетно-аналитических методов определения замедления к современным транспортным средствам;
3. Разработка плана экспериментального исследования с целью обоснования и учета значимо влияющих факторов;
4. Проведение экспериментальных исследований влияния типов протектора шин на величину установившегося замедления ТС категории M_1 ;
5. Разработка метода оценки замедления ТС категории M_1 при движении по различным покрытиям в различных погодных-климатических условиях.

Объект исследования – протекторы шин, установленных на различные транспортные средства категории M_1 .

Предмет исследования – процесс взаимодействия протектора шины транспортного средства с дорожным покрытием при замедлении.

Научная новизна исследования заключается в достижении следующих результатов:

1. Экспериментально обоснованы значимые факторы, влияющие на замедление транспортных средств категории M_1 различных сегментов;
2. Получены статистические уравнения регрессии оценки влияния характеристик шин, позволяющие определить замедление транспортных средств категории M_1 различных сегментов;
3. Усовершенствована методика оценки замедления транспортных средств категории M_1 введением поправочных коэффициентов, учитывающих индивидуальные характеристики.

Теоретическая значимость исследования заключается в: расширении базы значений установившегося замедления, полученных в результате экспериментальных исследований, для транспортных средств категории M_1 , оснащенных различными шинами и эксплуатируемых при различных погодных-климатических условиях; представленных математических моделях,

обеспечивающих учет факторов, позволяющих определить значение замедления ТС категории M_1 .

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в возможности использования разработанного метода оценки, обеспечивающей получение более точных результатов расчетов, основанной на проведенных экспериментальных исследованиях при производстве ДТЭ; имеет прикладной характер, используемый при: подготовке кадров-экспертов, в области автотехнической экспертизы; оценке замедления современных ТС категории M_1 в деятельности автотехнических экспертов, при реконструкции ДТП; использовании сформированной базы данных характеристик замедления транспортных средств категории M_1 при различных погодно-климатических условиях.

Область исследования – соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, п.5 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; **совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы**, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков»; п.7 «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 актуальных статистических данных дорожно-транспортных экспертиз, базисном положении методов, определяющих замедление ТС категории M_1 , применяемых в экспертной практике в России; математических методах планирования полно факторных экспериментальных исследований ТС категории M_1 ; методах обработки результатов экспериментальных исследований, математическими методами моделирования процессов замедления ТС категории M_1 .

Положения, выносимые на защиту.

1. Факторы, влияющие на замедление ТС категории M_1 в зависимости от индивидуальных характеристик транспортных средств;

2. Экспериментально определенные значения замедления для современных ТС категории M_1 в зависимости от обоснованных факторов и погодно-климатических условий;

3. Статистические уравнения регрессии оценки влияния характеристик шин, позволяющие определить замедление транспортных средств категории M_1 для различных сегментов;

4. Усовершенствованная методика оценки замедления транспортных средств категории M_1 с учетом поправочных коэффициентов, учитывающих индивидуальные характеристики транспортных средств категории M_1 .

Обоснованность и достоверность результатов исследования, заключений и рекомендаций обеспечивается корректным математическим расчетом, применением признанных методов, использованием значений исходных данных, полученных экспериментальным путем для решения расчетных задач, анализе и системной оценке полученных данных, использованием поверенного оборудования, сравнении значений расчетных моделей и установленных, в ходе экспериментальных исследованиях, данных.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях:

1. Всероссийский научный семинар «Повышение доступности Арктических регионов, развитие устойчивых, в том числе к климатическим воздействиям, сетей и систем транспорта», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, (Санкт-Петербург, 31 октября 2019 года);

2. VII Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: Irdme-2020» Санкт-Петербургский Горный университет, (Санкт-Петербург, 24–25 апреля 2020 года);

3. VI Международной научно-практической конференции. «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (г. Орел, 19–20 мая 2020 года);

4. International Scientific Conference «2021 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications» (IEEE Conference #51389)», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, (Москва, 16–18 марта 2021 года);

5. VII Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (г. Орёл, 17–20 мая 2021 года);

6. Международной конференции «Транспортная доступность Арктики: сети и системы» («International Conference on Arctic transport accessibility: networks and systems»), АТА-2021, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, (Санкт-Петербург, 2–4 июня 2021 года);

7. Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» – ИИТТ-2022, Липецкий государственный технический университет (г. Липецк, 20–21 апреля 2022 года).

Публикации содержание диссертации отражено в 14 печатных трудах, из них 8 статей – из списка рецензируемых журналов ВАК, 3 статьи – из списка индексируемых журналов SCOPUS, 1 монография.

Структура и объем диссертационной работы. Работа изложена на 204 листах печатного текста, состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка литературы, включающего 97 источников и 11 приложений на 49 листов. В работе представлена 121 формула, 49 таблиц и 53 рисунка.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Факторы, влияющие на замедление ТС категории M_1 в зависимости от индивидуальных характеристик транспортных средств

За 2019 год в России было продано 1 632,4 тыс. шт. легковых автомобилей категории M_1 , что на 2,3% меньше, чем в 2018 году. Подробная динамика продаж новых автомобилей по сегментам, соответствующим классификации Европейской экономической комиссии, за 2019 год представлена на рисунке 1. Представленное разделение по сегментам позволяют различать ТС по массе, габаритам, количеству мест, условному центру тяжести, типу кузова, размеру колес и прочим индивидуальным характеристикам.

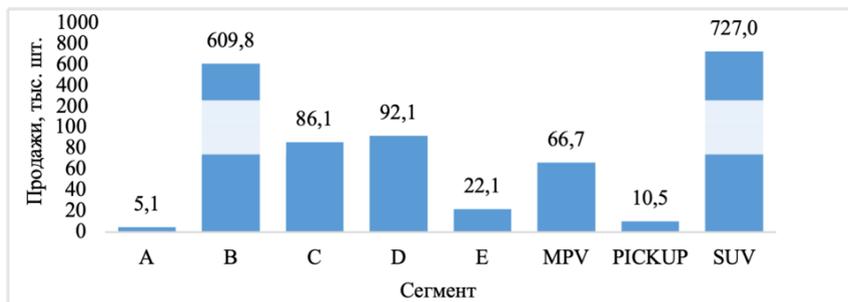


Рисунок 1 - Динамика продаж новых автомобилей по сегментам за 2019 год

На основании проведенных экспериментальных исследований были определены факторы, значимо влияющие на процесс замедления ТС категории M_1 . При исследовании рассматривали транспортные средства отличной массы и оснащенные шинами различной размерности. Экспериментальные исследования проводились по схеме, представленной на рисунке 2.

Стоит отметить, что при достижении скорости в 40 км/ч, а также во время торможения, для более точных результатов исследования, необходимо минимизировать изменение прямолинейного движения.

Результатом проведенных экспериментальных исследований по определению значимых факторов является: отмечена сходимость значений при большей нагрузке на ТС и равномерное изменение значений при изменении нагрузки.

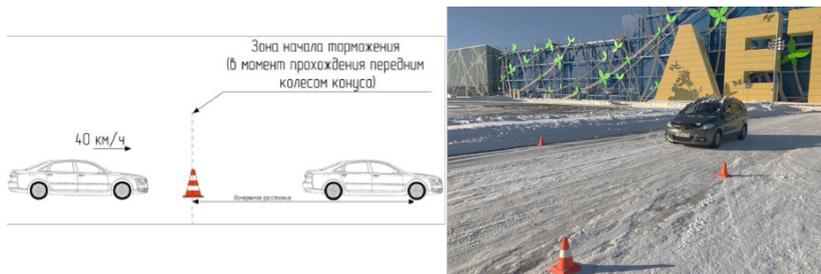


Рисунок 2 – Схема проведения экспериментальных исследований

По результатам проведенных исследований был определен фактор, значимо влияющий на процесс замедления ТС и нуждающийся в изучении, а именно: сегмент ТС. Данный фактор вносит существенные изменения в экспериментальную модель и может быть рассмотрен как отличие массы, так и отличие в размерности шин, установленных на ТС.



Рисунок 3 – Маркировка шины

В соответствии с утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2019 г. № 1958 «Об утверждении Правил маркировки шин средствами идентификации и особенностях внедрения государственной информационной системы мониторинга за оборотом товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации в отношении шин», каждая шина имеет индивидуальные характеристики, представленные на рисунке 3, где обязательными параметрами являются: ширина профиля шины; номинальное отношение высоты профиля шины к его ширине;

номинальный посадочный диаметр обода; индекс нагрузки на шину, числовое значение; категория скорости, буквенное обозначение; сезонность (виды шин) и пр. При дальнейшем проведении экспериментальных исследований предлагается учитывать факторы, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Рассматриваемые факторы

№ п.п.	Название фактора
1	Коэффициент сцепления
2	Высота протектора шины, мм
3	Ширина протектора шины, мм
4	Высота профиля шины, мм
5	Внутренний диаметр шины, дюйм
6	Значение индекс нагрузки шины, кг
7	Значение индекса скорости шины, км/ч
8	Снаряженная масса ТС, кг
9	Наличие шипов и сезонность шины

Где факторы № п.п. 3–9 группируются по сегментам, в соответствии с классификацией Европейской экономической комиссии, представленной в таблице 2, с указанием усредненных характеристик, так как индивидуальные характеристики ТС не позволяют применять шины различных размеров.

Таблица 2 – Классификация Европейской экономической комиссии

Сегмент	Описание	Длина, м.	Ширина, м.	Размерность шин, ср. зн.	Масса, кг. ср. зн.
A:	Особо малый класс или «микроавтомобили»	<3,6	<1,6	15 175×60	900
B:	Малый класс или «компактный класс»	3,6–3,9	1,5 – 1,7	R15 195×60	1175
C:	Низший средний класс или «гольф-класс»	3,9–4,4	1,6 – 1,75	R16 215×50	1350
D:	Средний класс или «семейный класс»	4,4–4,8	1,7 – 1,8	R17 225×50	1475
E:	Высший средний класс или «бизнес-класс»	>4,8	>1,7	R18 235×50	1800
F:	Верхний класс или «представительский класс»	>5	>1,7	R19 245×45	>2000
J:	Практичный спортивный автомобиль или «внедорожники»	–	–	R17 235×60	>1500

Окончание табл. 2

Сегмент	Описание	Длина, м.	Ширина, м.	Размерность шин, ср. зн.	Масса, кг. ср. зн.
М:	Многоцелевые автомобили или «минивэны»	–	–	R16 205×60	>1300
S:	Спортивные купе или «спорткупе»	–	–	R19 245×35	–

Дальнейшие экспериментальные исследования были направлены на определение установившегося замедления легковых ТС различных сегментов, с целью уточнения значений замедления для каждого класса.

Необходимость исследования данной области обоснована отличными характеристиками шин ТС различных сегментов в части размерности.

Условная система «машина – колесо – дорога» является базой для определения замедления, и каждая рассматриваемая подсистема, машина, колесо или дорога, может иметь множество градаций, где определение каждой не является целесообразным из-за большого числа переменных. Целенаправленное упрощение представленной системы позволит определить значение замедления при производстве дорожно-транспортных экспертиз.

2. Экспериментально определенные значения замедления для современных ТС категории М₁ в зависимости от обоснованных факторов и погодных-климатических условий

Экспериментальные исследования проводились в дорожных условиях на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области одним водителем, с использованием деселерометра BRAKE TESTER модели «LWS-2MC», представленного на рисунке 4, включающего в свою конструкцию датчик, крепящийся к лобовому стеклу, представленный на рисунке 5, позволяющий анализировать ход торможения, где целью являлось определение значения установившегося замедления, с учетом характеристик шин и дорожных условий. Деселерометр имеет погрешность измерений установившегося замедления, которая не превышает 4%.

Предварительно, в соответствии с ГОСТ 33997-2016 п. 4.5 Требования к шинам и колесам транспортные средства происходили визуально-технический осмотр шин ТС.

Перед проведением дорожных испытаний фиксировались погодные условия и состояние дорожного покрытия, характеристики ТС, а именно: тип и сезонность шин; размерность колес; марка и модель ТС; глубины протектора шины (по трем точкам); марки и модели шин, характеристики шин; снаряженной массы ТС; наличие действующей диагностической

карты, так как она служит подтверждением исправности АТС и допускает возможности его эксплуатации.



Рисунок 4 – Деселерометр модели «LWS-2МС»

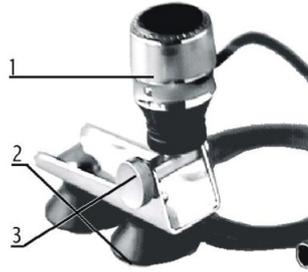


Рисунок 5 – Датчик деселерометра модели «LWS-2МС», где: 1 – датчик ускорения; 2 – основание датчика; 3 – шарнирный механизм

При проведении экспериментальных исследований, ТС устанавливались на проезжей части, датчик замедления, изображенный на рисунке 5, фиксировался в горизонтальном положении по центру лобового стекла внутри автомобиля, а на момент начала движения отклонение датчика не должно превышать от $-0,25$ до $-0,09$ м/с², сведения о значении положения датчика ускорения отображаются на экране деселерометра. Некорректное крепление датчика приводит к срыву экспериментального исследования. Перед началом движения на приборе устанавливалась скорость 40 км/ч, по достижению которой следовал звуковой сигнал обозначающих необходимость совершения экстренного торможения.

По результатам экспериментальных исследований были установлены значения замедления и тормозного пути с установленными летними и зимними шинами размеров для ТС категории М₁ различных сегментов: Kia Picanto, Smart FourTwo, Fiat 500, Peugeot 107, Toyota iQ Volvo S40, Volkswagen Polo, Hyundai Solaris, Ford Fiesta, Kia Rio Audi A3 Sportback, Skoda Octavia, Volkswagen Golf, Opel Astra, Ford Focus Toyota Camry, Lexus IS, Mercedes-Benz C-klasse, Audi A4, BMW 3, Ford Mondeo, Volkswagen Passat Lexus LS, Audi A6, BMW 5 Mercedes-Benz E-klasse, Volvo S80 Audi A8, BMW 750D, Genesis G80, Hyundai Equus, Mercedes-Benz S-klasse Audi Q3, BMW X1,

Mercedes-Benz GLA, Mazda CX-5, Nissan Qashqai, Hyundai Tucson, Honda CR-V, Audi Q5, Mercedes-Benz GLC, BMW X3, BMW X5, Toyota Land Cruiser 150, Mercedes-Benz GL, Audi Q7 Volkswagen Caddy, Opel Combo, Citroen Berlingo, Hyundai H-1, Volkswagen Transporter T6, Opel Zafira, Пример полученных тормозных диаграмм представлен на рисунке 10 и рисунке 11.

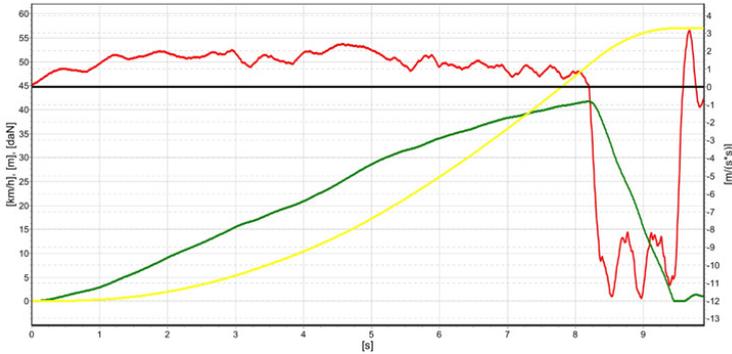


Рисунок 10 – Диаграмма замедления ТС на сухом асфальтобетонном покрытии, где красная линия – замедление, m/s^2 ; зеленая линия – скорость, km/h ; желтая линия – пройденный путь, m .

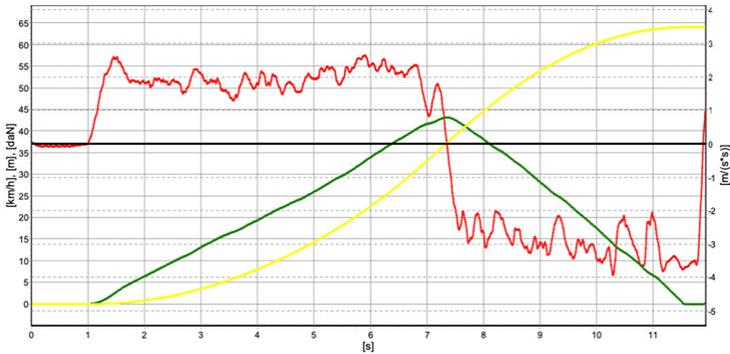


Рисунок 11 – Диаграмма замедления ТС на укатанном снежном покрытии

3. Статистические уравнения регрессии оценки влияния характеристик шин, позволяющие определить замедление транспортных средств категории M_1 для различных сегментов.

Имеющаяся методика оценки замедления ТС категории M_1 (1) не позволяет должным образом определить значение установившегося замедления.

$$J = \frac{\Phi}{K_s} \cdot gP_{\Sigma}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения; φ – значение коэффициента сцепления; K_{Σ} – значение коэффициента эффективности; P_{Σ} – суммарно тормозящая сила.

Представленная формула (1) не описывает индивидуальные характеристики ТС. Имеющийся усложненный расчет, с учетом суммарно тормозящих сил, не учитывает возможное изменение характеристик шин ТС.

Также, при выполнении расчета тормозного пути по формуле (2) для различных ТС будут получены равные значения представленные в таблице 2.

$$S_T = \Sigma S = (t_{п.в.} + t_c + t_n) V_a / 3,6 + V_a^2 / 25,92 \cdot J. \quad (2)$$

Введение поправочного коэффициента в утвержденную расчетную модель замедления легкового ТС позволит проводить сравнение ТС разной массы или же разного сегмента. Рассматривая замедление двух легковых ТС категории М₁, сравнение индивидуальных характеристик представлено в таблице 3, будет установлено отличие как в замедлении, так и в пройденном расстоянии.

Таблица 3 – Сравнение результатов расчета замедления и тормозного пути двух ТС

Марка	Smart	Mersedes-Benz
Модель	Fourtwo	Maybach GLS
Годы выпуска	2014–2021	2019–2021
Снаряженная масса, кг.	935	2785
Габариты, ДШВ, мм.	2695×1663×1555	5205×2030×1838
Размерность колес/шин	185/60/R15	285/45/R22
Замедление, м/с ²	6,86	6,86
Остановочный путь, м	9,63	9,63

Соответственно, имеющийся математический аппарат по определению пройденного пути в момент торможения ТС не позволит корректно определить пройденной расстояние в момент торможения. На это есть несколько оснований: во-первых, отличная масса ТС не позволяет должным образом корректно определить искомый результат; во-вторых, отличие характеристик шин также вносит существенные изменения; в-третьих, необходимо учитывать износ протектора шины.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют получить уравнения, характеризующие процесс замедления каждого из рассматриваемых сегментов. Так, в ходе экспериментальных исследований была составлена таблица уравнений регрессий, таблица 4.

Из полученных данных определено, что нет абсолютной сходимости значений установившегося замедления. Отличные значения замедления определяют различные характеристики ТС, представленные в таблице 2.

Таблица 4 – Уравнения регрессии $J(S)$ для различных сегментов ТС

Сегмент ТС	$J(S)$, м/с ²	Средняя ошибка аппроксимации, %
А	$-0,002S^3 + 0,120S^2 - 2,300S + 19,114$	0,15
В	$-0,001S^3 + 0,107S^2 - 2,206S + 18,990$	0,21
С	$-0,002S^3 + 0,113S^2 - 2,285S + 19,311$	0,19
D	$-0,002S^3 + 0,120S^2 - 2,377S + 19,673$	0,04
Е	$-0,002S^3 + 0,129S^2 - 2,489S + 20,119$	0,11
F	$-0,002S^3 + 0,142S^2 - 2,668S + 20,861$	0,16
J	$-0,002S^3 + 0,150S^2 - 2,754S + 21,164$	0,34
M	$-0,002S^3 + 0,126S^2 - 2,460S + 20,036$	0,13

Соответственно, для упрощения математической модели и расчета, предлагается определять значение установившегося замедления по формулам для каждого сегмента, таблица 5, учитывающей индивидуальные характеристики различных ТС и эксплуатируемых шин с учетом представленных факторов/параметра.

Таблица 5 – Уравнения множественной регрессии, характеризующие замедление отдельно для каждого сегмента с учетом сезонности шин.

Сегмент	Уравнения множественной регрессии		
	для летнего типа шин $J(X_1, X_2)$, м/с ²	для зимних шин $J(X_1, X_2, ш)$, м/с ²	значение параметра ш
А	$J = 0,31 + 9,03X_1 + 9,4X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,09 + 9,29X_1 + (17,9X_2 + 0,3ш)10^{(-3)}$	ш = 1 – нешипованные шины ш = 2 – шипованные шины
В	$J = 0,03 + 9,52X_1 + 10,4X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,02 + 9,55X_1 + (4,4X_2 + 11,6ш)10^{(-3)}$	
С	$J = 0,43 + 9,13X_1 + 14,8X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,01 + 9,74X_1 + (2,5X_2 + 9,9ш)10^{(-3)}$	
D	$J = 0,02 + 9,62X_1 + 0,7X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,01 + 9,56X_1 + (4,7X_2 + 26,8ш) 10^{(-3)}$	
Е	$J = 0,08 + 9,57X_1 + 6,5X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,10 + 9,47X_1 + (11,8X_2 + 7,2ш)10^{(-3)}$	
F	$J = 0,15 + 9,56X_1 + 1,5X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,01 + 9,68X_1 + (2,7X_2 + 11,1ш)10^{(-3)}$	
J	$J = 0,20 + 9,49X_1 + 4,8X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,01 + 9,58X_1 + (0,0007X_2 + 0,0267ш)10^{(-3)}$	
M	$J = 0,21 + 9,42X_1 + 0,8X_2 * 10^{(-3)}$	$J = 0,01 + 9,58X_1 + (0,7X_2 + 26,7ш)10^{(-3)}$	

Представленные формулы описывают факторы из таблицы 1, в соответствии с классификацией Европейской экономической комиссии, представленной в таблице 2. Тогда, на основании полученных уравнений множественной регрессии, корректирующий коэффициент для формулы (1) будет определен как $-K_G$ и определяется из таблицы, в зависимости от характеристик шин и массы ТС, а формула (1) примет вид:

$$J = \frac{\Phi}{K_s + K_G} \cdot g. \quad (3)$$

Соответственно, корректирующий коэффициент для формулы (2) будет определен как $-K_S$ (определяется из таблицы, в зависимости от характеристик шин и массы на ТС), а формула (2) примет вид:

$$S_T = \frac{K_s (V_a - 1,8 \cdot j \cdot t_n)^2}{25,92 \cdot j}. \quad (4)$$

При выполнении расчетов по представленной методике, становится возможным определить индивидуальные значения замедления для ТС, оснащенных различными шинами и имеющими различную массу.

Сравнение полученных расчетных значений в таблице 6 ранее рассматриваемых транспортных средств, таблица 3, становится возможным в результате расчета по представленному методу.

Таблица 6 – Сравнение расчетных значений замедления и тормозного пути двух ТС

ТС	Факторы/Параметры				Замедление
	X_1	X_2	ш	J , м/с ²	
Smart Fourtwo	0,8	5	–	летняя	7,77
Mercedes-Benz Maybach GLS	0,8	5	–	летняя	7,93
Smart Fourtwo	0,7	5	–	летняя	6,32
Mercedes-Benz Maybach GLS	0,7	5	–	летняя	6,48
Smart Fourtwo	0,5	5	–	летняя	4,87
Mercedes-Benz Maybach GLS	0,5	5	–	летняя	5,03
Smart Fourtwo	0,3	5	2	зимняя, шип	2,94
Mercedes-Benz Maybach GLS	0,3	5	2	зимняя, шип	3,1

При производстве ДТЭ определяется возможность предотвращения происшествия и детальное определение истинных причин, с учетом зафиксированных характеристик внешней среды и характеристик транспортного средства, выполнена оценка эффективности, позволяющая оценить результат, полученный по предложенной методике, таблица 7.

Таблица 7 – Оценка эффективности

ТС	Фольксваген Транспортер	Киа Сид	Фольксваген Тигуан
Скорость движения а/м, км/ч	50	40	40
Остановочный путь, по действующей методике, м	32,32	26,51	23,24
J , м/с ² в соответствии с ДТЭ	6,8	5	6,8
Остановочный путь, по предложенной методике, м	30,20	23,95	21,60
J , м/с ² в соответствии с разработанной методикой	7,72	6,31	8,30
Тип покрытия и сезонность шин	Сухой асфальтобетон + 15 °С (летние шины)	Сухой асфальтобетон + 0 °С (зимние шипованные шины)	Сухой асфальтобетон + 15 °С (летние шины)
Результат	В результате проведенного исследования замедления была установлена возможность предотвращения ДТП при соблюдении водителями п. 10.1. Правил дорожного движения РФ.		

4. Усовершенствованная методика оценки замедления транспортных средств категории M_1 с учетом поправочных коэффициентов, учитывающих индивидуальные характеристики транспортных средств категории M_1

На основании представленных уравнений можно определить разницу результатов. Для примера будет рассматриваться замедление двух ТС категории M_1 различных сегментов, оборудованных различным размером шин и массой.

Рассматриваемые транспортные средства: ТС₁ Mercedes-Benz GL-class массой 2360 кг, размерностью летних шин 275×55 R19 с индексом нагрузки 111 и индексом скорости W и ТС₂ Smart Fortwo массой 1005 кг. и размерностью летних шин 185×60 R15 с индексом нагрузки 84 и индексом скорости T. Соответственно два ТС одной категории, легковые ТС категории M_1 , должны иметь одинаковое значение замедления и тормозной путь при торможении со скорости в 40 км/ч, в соответствии с формулой (2). Предположим, что значение замедления на сухом асфальтобетонном покрытии при температуре окружающего воздуха +15 °С, определенное для двух ТС, будет равным 10 м/с² и считаться по формулам: для ТС₁ по формуле (5), а для ТС₂ по формуле (6).

$$J_1 = -0,003 S_1^3 + 0,15 S_1^2 - 2,75 S_1 + 21,16 = 10. \quad (5)$$

$$J_2 = -0,002 S_2^3 + 0,12 S_2^2 - 2,30 S_2 + 19,11 = 10. \quad (6)$$

Тогда, на основании формулы (2), решив уравнения (5) и (6), и имея $J_1 = J_2$, мы получим равные значения тормозного пути S_1 и S_2 . Решения уравнения (5) для $J_1 = J_2 = 10 \text{ м/с}^2$ представлено в формуле (7) и (8).

$$S_1 = (t_{\text{п.в.}} + t_c + t_{\text{н}})V_a / 3,6 + V_a^2 / 25,92 \cdot J_1; \quad (7)$$

$$S_2 = (t_{\text{п.в.}} + t_c + t_{\text{н}})V_a / 3,6 + V_a^2 / 25,92 \cdot J_2. \quad (8)$$

Решив уравнения (7) и уравнение (8) получаем равенство, в котором получим усредненное значение:

$$S_1 = S_2 = 5,44 \text{ м.} \quad (9)$$

Также, решив уравнения (5) и (6) получаем, что:

– для $ТС_1$ при $J_1 = 10 \text{ м/с}^2$ получаем $S_1 = 5,55 \text{ м}$.

– для $ТС_2$ при $J_2 = 10 \text{ м/с}^2$ получаем $S_2 = 5,27 \text{ м}$.

Определенное отличие тормозного пути для $ТС_1$ по формуле (5), а для $ТС_2$ по формуле (6) равно $0,279 \text{ м}$., что составляет $27,9 \text{ см}$.

Соответственно, определенная методика расчета и установленная зависимость $J(S)$, для $ТС$ категории M_1 различных сегментов, подтверждает теорию о различном тормозном пути и позволяет более точно определить ДТС.

Расчет тормозного пути по формуле (2) возможен при применении коэффициента K_s , в зависимости от рассматриваемого сегмента $ТС$.

Соответственно, формула (2) после применения корректирующего коэффициента, учитывающего изменение характеристик $ТС$, где выбор K_s будет зависеть от значения замедления:

$$S_3 = K_s (V_a - 1,8 \cdot J \cdot t_{\text{н}})^2 / 25,92 \cdot J. \quad (10)$$

Возможность применения нескольких моделей расчета позволяет упростить работу эксперта при производстве ДТЭ.

Производя расчет по представленным формулам, с учетом индивидуальных характеристик эксплуатируемых шин, массы $ТС$ и прочих равных, значение замедления на сухом асфальтобетонном покрытии при температуре окружающего воздуха $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ для $ТС_1$ и $ТС_2$, эксплуатации летних шин и неизношенном протекторе будет определено, как:

$$ТС_1: J = 9,71 \text{ м/с}^2; \quad (11)$$

$$ТС_2: J = 9,52 \text{ м/с}^2.$$

На основании представленных данных можно сделать вывод, что значение коэффициента эффективности в формуле (12) может быть актуализировано и приведено к виду (13).

$$J = \frac{\Phi}{K_3} \cdot g; \quad (12)$$

$$J = \frac{\Phi}{K_3 + K_G} \cdot g. \quad (13)$$

Значение коэффициента K_G будет определяться из таблиц для летних и зимних шин соответственно с учетом сегмента ТС категории M_1 .

Представленный коэффициент K_G позволяет производить расчет замедления по формуле (13) с учетом коэффициента учитывающего усредненную размерность шин и массы ТС в зависимости от фактора – Сегмент ТС. В формуле (14) представлен расчет значения замедления на сухом асфальтобетонном покрытии при температуре окружающего воздуха $+15^\circ\text{C}$ для $ТС_1$ и $ТС_2$:

$$\begin{aligned} \text{ТС}_1: J_{K_G} &= \frac{0,8 \cdot 9,81}{1 \cdot 1,034} = 7,59 \text{ м/с}^2; \\ \text{ТС}_2: J_{K_G} &= \frac{0,8 \cdot 9,81}{1 \cdot 1,003} = 7,82 \text{ м/с}^2. \end{aligned} \quad (14)$$

На основании проведенного исследования можно составить результирующую таблицу 8, учитывающую представленные уравнения, описывающие значение замедления и значение тормозного пути.

Таблица 8 – Полученные уравнения

№ п.п.	Полученные уравнения		
1.	Уравнение до введения коэффициента	Коэффициент	Уравнение после введения коэффициента
	$S_3 = (V_a - 1,8j \cdot t_n)^2 / (25,92j)$	K_S	$S_3 = K_S (V_a - 1,8 \cdot j \cdot t_n)^2 / 25,92 \cdot j$
	Результат		
	При равном $j - S_3 = 5,44$ м.	S_3 с учетом K_S для $ТС_1 = 5,55$ м. S_3 с учетом K_S для $ТС_2 = 5,27$ м.	
2.	Уравнение до введения коэффициента	Коэффициент	Уравнение после введения коэффициента
	$J = \frac{\Phi}{K_3}$	K_G	$J = \frac{\Phi}{K_3 + K_G}$
	Результат		
	При Φ равном 0,8: $J = 7,84 \text{ м/с}^2$	При Φ равном 1: J с учетом K_G для $ТС_1 = 7,59 \text{ м/с}^2$ J с учетом K_G для $ТС_2 = 7,82 \text{ м/с}^2$	

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенных экспериментальных исследований замедления определен фактор – «Сегмент ТС», должным образом характеризующий изменяемую размерность шин, ранжированный в соответствии с классификацией, применяемой Европейской экономической комиссией.

В результате проведенного диссертационного исследования, на основании проведенных экспериментальных исследований установившегося замедления 52 АТС, была разработана методика оценки замедления ТС категории M_1 учитывающая индивидуальные характеристики ТС.

Уточнена методика расчета тормозного пути по имеющемуся математическому аппарату, применяемому в экспертной практике. Проведенная оценка разработанной методики подтвердила корректность данных и отсутствие ошибок аппроксимации.

Применяемый фактор «Сегмент ТС» предлагается принять, в целях актуализации имеющейся нормали и применения при планировании целевых программ по обеспечению БДД. На основании представленной градации определены усредненные значения размерности шин для градации рассматриваемого фактора.

В результате расчета по разработанному методу, подтверждено отличие значений тормозного пути ТС категории M_1 различных сегментов, с установленным различным типоразмером шин и различной массой ТС, что противоречит существующим и применяемым методам расчета.

Актуализирована действующая методика оценки замедления транспортных средств категории M_1 применяемая в экспертной практике при производстве ДТЭ.

Расширенная база знаний предлагается к применению для подготовки экспертно-кадрового состава, оценке замедления при работе экспертов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ

1. Гладушевский И.С. Тормозные испытания шин на укатанном снежном покрытии в зимний период / И.С. Гладушевский // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 202–207, (0,9 п.л.).

2. Гладушевский И.С. Оценка взаимодействия протектора шины с асфальтобетонным покрытием в зависимости от погодноклиматических условий / И.С. Гладушевский // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 4 (87). С. 122–126, (0,9 п.л.).

3. Гладушевский И.С. Метод расчета тормозного пути, учитывающий изменение коэффициента сцепления колеса с дорогой в зависимости от скорости / И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. 2018. №6 (71). С. 175–179, (0,5 п.л./0,35 п.л.);
4. Гладушевский И.С. Методика расчета тормозного пути на сухом асфальтобетонном покрытии при движении на шипованных шинах / И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Вестник гражданских инженеров 2019. №2 (73). С. 142–146, (0,5 п.л./0,4 п.л.);
5. Гладушевский И.С. Оценка свойств замедления автомобиля при использовании зимнего типа шин на укатанном снежном покрытии / И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. 2019. №5(76). С. 217–221, (0,5 п.л./0,4 п.л.);
6. Гладушевский И.С. Тормозные испытания шипованной резины на влажном асфальтобетонном покрытии при нулевых температурах / И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 3 (80). С. 173–177. (0,5 п.л./0,3 п.л.);
7. Гладушевский И.С. Совершенствование методики исследования замедления ТС при эксплуатации летних шин с разной высотой протектора / И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 1 (65). С. 72–79 (0,6 п.л./0,4 п.л.);
8. Гладушевский И.С. Тормозные испытания шин на сухом асфальтобетонном покрытии в летний период/ И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5 (82). С. 181–186, (0,5 п.л./0,3 п.л.).

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

9. Gladushevskiy Determination of the steady deceleration for vehicles category M1 depending on the type of tires / I. Gladushevskiy, S. Evtyukov// MATEC Web of Conferences Volume 341. – 2021. – Art 00045, P. 8, (0,5 п.л./0,4 п.л.);
10. I.S. Gladushevskiy Influence of Auxiliary Braking Systems on Deceleration of Vehicles of Category M1 / Gladushevskiy, I.S., Terentyev, A.V., Evtyukov, S.S., Efimenko, D.B. // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings / INSPEC Accession Number: 20592633, (0,55 п.л./0,35 п.л.) электронный ресурс <https://ieeexplore.ieee.org/document/9416091>;
11. I.S. Gladushevskiy Assessing the interaction between M1 vehicle tire tread and a packed snow surface depending on the type of tread / I. Gladushevskiy, S. Evtyukov, E. Kurakina //Transportation Research Procedia Volume 57, 2021, P. 145–153, (0,7 п.л./0,4 п.л.).

Монографии

12. Гладушевский И.С. Методология автотехнической экспертизы на основе математической модели параметров замедления транспортных средств в зависимости от типа протектора /Гладушевский И.С. Евтюков С.С. // СПб.:ИД «Петрополис», 2021 г. 220 с. (ISBN 978-5-9676-1284-8), (11,4 п.л./6,0 п.л.).

В сборниках трудов международных научных конференций

13. Гладушевский И.С. Методика расчета замедления транспортных средств категории M_1 учитывающая технологический прогресс / И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и управление транспортными системами». – Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел. – 2021. С. 24–28 (0,4 п. л./0,3 п. л.);

14. Гладушевский И.С. Выявление факторов, наиболее значимо влияющих на оценку замедления транспортных средств категории M_1 / И.С. Гладушевский, С.С. Евтюков // Материалы VI Международной научно-практической конференции: Информационные технологии и инновации на транспорте. – Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел. – 2020. С. 154–161. (0,5 п.л./0,4 п.л.).

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 15.07.2022. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 120 экз. Заказ 83.

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.