

На правах рукописи



**ПЕТРОВ Вячеслав Сергеевич**

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИПОВАННЫХ ШИН  
В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Оренбург 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет».

Научный руководитель –

**Захаров Николай Степанович,**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

**Федотов Александр Иванович,**  
Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»,  
заведующий кафедрой автомобильного  
транспорта

**Балакина Екатерина Викторовна,**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный  
технический университет», профессор кафедры  
технической эксплуатации и ремонта  
автомобилей

Ведущая организация –

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
г. Белгород

Защита диссертации состоится 19 марта 2026 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета 24.2.352.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 170215.

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

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. техн. наук, доцент

Хасанов Ильгиз Халилович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Безопасность эксплуатации транспортных средств в зимний период во многом зависит от состояния шин, обеспечивающих устойчивость автомобиля на обледенелых и заснеженных покрытиях. Шипованные шины позволяют компенсировать влияние неблагоприятных климатических факторов и связанных с ними изменений коэффициента сцепления дорожного покрытия, однако, потеря шипов в процессе эксплуатации приводит к ухудшению сцепных свойств, увеличению тормозного пути и ухудшению управляемости автомобиля. Действующие методики контроля состояния шипованных шин характеризуются преимущественно субъективным характером на основе визуального анализа, что затрудняет объективную оценку остаточного ресурса для своевременного принятия решений о замене. Недостаточная точность, отсутствие средств автоматизации диагностики, а также комплексной методики оценки эксплуатационных свойств шипованных шин обуславливают актуальность разработки методики оценки и контроля технического состояния шипованных шин.

**Степень разработанности темы.** Для большинства регионов Российской Федерации характерно значительное изменение климатических и дорожных условий в течение года. Так, в зимний период эксплуатация транспортных средств сопровождается образованием льда и снежного наката, что существенно влияет на сцепные свойства шин. Установлено, что условия эксплуатации, в частности температура воздуха, тип и состояние дорожного покрытия, определяют эффективность работы шипованных шин и интенсивность изнашивания шипов. Эти процессы вызывают значительную вариацию эксплуатационных свойств шин и напрямую влияют на безопасность движения.

Выполненные ранее исследования касались преимущественно оценки сцепных характеристик шин на различных покрытиях и скоростных режимах, а также изучения влияния формы и материала шипа на устойчивость автомобиля. Однако, в большинстве работ рассматриваются отдельные аспекты (например, структура протектора, форма шипа или тип резиновой смеси) без учёта влияния степени остаточной ошиповки на динамические показатели автомобиля. При этом результаты исследований, полученные различными авторами, нередко противоречивы и не позволяют однозначно установить зависимость между количеством шипов и тягово-сцепными свойствами.

В существующих методиках оценки технического состояния шин основное внимание уделяется глубине рисунка протектора, в то время как степень остаточной ошиповки, оказывающая решающее влияние на сцепление с зимним покрытием, учитывается по остаточному принципу без конкретных рекомендаций и ограничений. Отсутствие комплексных моделей, связывающих количество сохранившихся шипов с динамическими характеристиками автомобиля (временем разгона, длиной тормозного пути, параметрами курсовой устойчивости и т.д.), приводит к необъективным выводам при оценке эксплуатационной пригодности шин и определении необходимости замены.

Таким образом, существует актуальная научно-практическая задача, заключающаяся в разработке методов количественной оценки влияния степени остаточной ошиповки на сцепные свойства и динамику автомобиля, а также в создании моделей, позволяющих определять изменение этих свойств по мере изнашивания шин. Решение данной задачи позволит повысить эффективность эксплуатации автомобилей и обеспечить требуемый уровень безопасности движения в условиях динамически изменяющихся дорожных факторов.

**Объект исследования** – процесс взаимодействия шипованных шин с дорожным покрытием в условиях переменных эксплуатационных факторов, к числу которых относятся остаточная доля шипов и состояния дорожного покрытия в зимний период.

**Предмет исследования** – закономерности изменения эксплуатационных свойств шипованных шин в процессе изнашивания, а также методы количественной оценки и контроля их технического состояния.

**Область исследований** соответствует паспорту научной специальности 2.9.5. – *Эксплуатация автомобильного транспорта*, в части пунктов: 2. Совершенствование планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей с использованием программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации. ... 9. Исследования в области безопасности движения с учётом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности. ... 15. Технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта; методы диагностирования технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов.

**Целью работы** является повышение эффективности эксплуатации автомобилей путём разработки методики оценки и контроля технического состояния шипованных шин с учётом остаточной степени ошиповки.

**Для достижения цели решались следующие задачи.**

1. Установить факторы, влияющие на динамические показатели автомобиля с зимними шипованными шинами.

2. Установить закономерности влияния этих факторов на сцепные свойства шипованных шин с различными состояниями дорожного покрытия в зимний период.

3. Разработать многофакторные модели, учитывающие совместное влияние степени ошиповки и сцепных свойств дорожного покрытия на динамические показатели автомобиля.

4. Разработать автоматизированное устройство для диагностики состояния шипованных шин, обеспечивающее объективный контроль их технического состояния.

5. Разработать методику оценки и контроля эксплуатационных свойств шипованных автомобильных шин и оценить её эффективность.

Научную новизну составляют следующие положения, выносимые на защиту.

1. Установленные факторы, влияющие на динамические показатели автомобиля с зимними шипованными шинами.

2. Закономерности влияния остаточной степени ошиповки шин на динамические характеристики автомобиля (время разгона и тормозной путь) для различных типов зимних дорожных покрытий, что позволило выделить данный фактор как самостоятельный и значимый показатель работоспособности зимних шин.

3. Многофакторные математические модели времени разгона и тормозного пути автомобиля, которые, в отличие от известных, базирующихся преимущественно на характеристиках дорожного покрытия, впервые учитывают и степень остаточной ошиповки шин как количественный фактор. Это позволило описать совместное влияние состояния шин и дорожного покрытия на динамические свойства автомобиля с учётом нелинейности их взаимодействия.

4. Конструктивные решения и алгоритмы функционирования автоматизированного устройства для диагностики состояния шипованных шин, позволяющего, в отличие

от известных методов, исключить субъективный фактор и с высокой точностью и минимальными затратами времени определить остаточную долю шипов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость исследования заключается в установлении факторов и закономерностей их влияния на изменения сцепных свойств шипованных шин в эксплуатации. Установлены закономерности времени разгона и тормозного пути от степени остаточной ошиповки и характеристик дорожного покрытия, а также разработаны математические модели, описывающие влияние этих факторов на динамические показатели автомобиля. Полученные зависимости позволяют количественно оценивать изменение эксплуатационных свойств шин в процессах изнашивания и могут быть использованы для обоснования критериев предельного состояния шипованных шин. Практическая значимость заключается в разработке новой методики оценки и контроля эксплуатационных свойств шипованных автомобильных шин. Она позволяет объективно определять техническое состояние шин без демонтажа колеса, прогнозировать изменение сцепных свойств и динамических показателей автомобиля (времени разгона и тормозного пути) при различных уровнях степени ошиповки. Практическое применение разработанной методики обеспечивает повышение точности диагностики, сокращение трудоёмкости контроля, снижение совокупных эксплуатационных затрат и повышение безопасности эксплуатации транспортных средств в зимних условиях.

**Методология и методы исследований.** В качестве общей методологической основы исследования принят системный подход, предусматривающий комплексное рассмотрение взаимодействия шипованных шин с различными типами дорожных покрытий с учётом изменения эксплуатационных факторов. В теоретических исследованиях применялись методы логического анализа, синтеза и обобщения, позволившие сформировать исходные предпосылки и гипотезы о характере влияния степени ошиповки на сцепные свойства шин. Для количественной оценки выявленных зависимостей использовались методы корреляционно-регрессионного анализа, обеспечивающие построение математических моделей, описывающих влияние факторов на динамические характеристики автомобиля. В экспериментальной части исследования применялся активный эксперимент, проведённый в реальных условиях эксплуатации транспортных средств.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность полученных результатов обеспечена корректным построением математических моделей, отражающих физическую сущность процессов взаимодействия шипованных шин с дорожным покрытием при различных эксплуатационных условиях. Адекватность моделей подтверждена статистическими критериями, а также согласованностью расчётных и экспериментальных данных. Научные положения, выводы и рекомендации основаны на совокупности теоретических исследований, лабораторных испытаний и натурных экспериментов, выполненных с применением современных методов измерений и обработки экспериментальных данных, что гарантирует их надёжность и воспроизводимость.

**Апробация результатов.** Основные результаты исследований обсуждались и получили одобрение на международных и национальных научно-практических конференциях: «Проблемы функционирования систем транспорта» (Тюмень, 2024), «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2024, 2025), «Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании» (Тюмень, 2023), «Smart Energy Systems» (Казань, 2021).

**Реализация результатов.** Результаты исследований внедрены в 26 дилерских центрах группы компаний ООО «Автоград-Тюмень».

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 5 статьях, в том числе 2 – в рецензируемых изданиях из Перечня ... ВАК, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, основных результатов и выводов, списка литературы (116 наименования). Объем диссертации составляет 228 страниц (в том числе 34 таблицы, 71 иллюстрацию и 3 приложения).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность исследования, определены цель и задачи работы, объект и предмет исследований, раскрыта научная новизна и практическая значимость, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**Первый раздел** посвящён анализу состояния вопроса. В результате изучения ранее выполненных исследований установлено следующее.

Вопросу обеспечения сцепления шин с дорожным покрытием в зимний период посвящено значительное количество научных работ отечественных и зарубежных исследователей. Существенный вклад в развитие теории взаимодействия колеса с опорной поверхностью внесли исследования Дика А.Б., посвящённые анализу сцепных свойств шин. Фундаментальные основы теории взаимодействия шин с дорожным покрытием, включая формирование продольных и поперечных сил, влияние проскальзывания, деформации протектора и условий контакта, подробно изложены в монографии Х. Н. Пажейки «Tire and Vehicle Dynamics», которая является одной из ключевых работ в области динамики шин и транспортных средств. Представленные в ней модели легли в основу большинства современных исследований сцепных свойств шин и широко применяются при анализе движения автомобиля в условиях пониженного коэффициента сцепления.

Проблема обеспечения надёжного сцепления шин с дорожным покрытием в зимний период также подробно рассмотрена в исследованиях Алаэддина А.М., Гладушевского И.С., Загороднего Н.А., Ле В.Л., Лямзина А.М., Неволина Д.Г., Новикова И.А., Одинцова О.А., Петрова М.А., Попова Н.В., Сорокина В.В., Старостина А.В., Троицкого В.И., Устарова Р.М., Шаратдинова А.Д., Янчевского В.А. и других. В данных работах выявлены факторы, влияющие на коэффициент сцепления шин с различными типами зимних покрытий, установлены закономерности их влияния на сцепные свойства, а также рассмотрены конструктивные и эксплуатационные особенности зимних шин. В работах Федотова А.И. рассмотрены вопросы оценки сопротивления качению, стационарных и динамических характеристик шин при испытаниях на стенде с беговыми барабанами, процессы взаимодействия эластичных шин с опорной поверхностью дороги в различных состояниях и их влияние на активную безопасность автомобилей. В исследованиях Балакиной Е.В. значительное внимание уделяется влиянию элементов шасси, параметров эластичных колес на взаимодействие с опорной поверхностью, определяющие коэффициент сцепления и устойчивость транспортных средств в режиме торможения. В трудах Захарова Н.С. рассмотрено влияние сезонных условий на коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием и на интенсивность их изнашивания.

Большое внимание уделено вопросам влияния климатических и дорожных условий на сцепные характеристики шин. Исследования Ботвинева Н.Ю., Васильева А.А., Васильева Ю.Э., Корнеевой А.С., Лотникова Д.Ю., Озорина С.П. и других показали, что

температура воздуха, структура поверхности и степень увлажнения покрытия существенно влияют на коэффициент сцепления и устойчивость транспортных средств при движении. В работах Малюгина П.Н. и Ковригина В.А. рассмотрены особенности взаимодействия шин с ледяным покрытием. В работах Масленникова В.Г. рассмотрены вопросы торможения на так называемом «чёрном льду». Влияние шипованных шин на коэффициент сцепления изучалось в работах Гулина В.В., Ключникова О.Р., Корнева А.С. и других, в которых отмечено, что эффективность шипованных шин значительно превышает показатели фрикционных шин на поверхностях с низким коэффициентом сцепления, однако постепенно снижается по мере изнашивания шипов.

Особое внимание в ряде исследований уделено составу резиновой смеси и её способности сохранять эластичность при отрицательных температурах. Так, в работах Горшкова Ю.Г., Охотина Н.А., Шмелёва С.А. и других установлено, что сохранение эластичности материала протектора является определяющим фактором для обеспечения сцепных свойств. Гобралёв Н.Н. и Каширников Д.А. отмечают, что основное различие между летними и зимними шинами заключается в их температурной адаптивности, а современные зимние шины подразделяются на два типа – скандинавские и европейские, отличающиеся по составу резиновой смеси и конструкции рисунка протектора.

В ранее выполненных исследованиях установлено, что равномерность распределения и состояние шипов напрямую влияют на тягово-сцепные свойства шин. По данным Шаратинова А.Д., автомобили, оснащённые шипованными шинами, способны проходить повороты на скорости более чем в два раза выше, чем автомобили с фрикционными шинами. В работах Гулина В.В. и Михайлова Ю.Б. показано, что неравномерная ошиповка приводит к снижению сцепления и ухудшению управляемости автомобиля, особенно на льду. Гончарук А.И. установил, что внутренние нагрузки, действующие на шип при взаимодействии с дорожным покрытием, существенно влияют на интенсивность изнашивания протектора.

В исследованиях Андреева В.В. и Гулина В.В. проанализированы конструкционные материалы и технологии изготовления шипов. Рассмотрены металлические, керамические, полимерные и комбинированные конструкции, показаны их особенности и зависимость прочностных свойств от климатических и эксплуатационных условий. Показано, что долговечность шипа определяется как материалом корпуса и сердечника, так и степенью натяга при посадке в протектор.

Вопросы изнашивания и долговечности шипов изучались в работах Гладушевского И.С., Старостина А.В. и Фролова А.А. где установлено, что долговечность шипованных шин определяется сочетанием конструктивных параметров, эксплуатационных режимов и климатических факторов. Снижение степени ошиповки ниже 40 % приводит к резкому падению коэффициента сцепления и росту тормозного пути.

Проанализирована нормативно-правовая база, регулирующая эксплуатацию зимних шин. Основными документами являются ТР ТС 018/2011 «О безопасности колёсных транспортных средств», ГОСТ 33078-2014, ГОСТ Р 54095-2023 и Правила ЕЭК ООН №117. Установлено, что данные документы охватывают отдельные аспекты безопасности, однако не содержат комплексных требований к остаточной высоте шипов, методам контроля их состояния и диагностике шин. Отсутствие единых норм и методик приводит к неоднозначности при оценке технической пригодности шин и необходимости разработки более точных регламентов, учитывающих региональные климатические особенности эксплуатации.

Выполнен анализ существующих методов диагностирования технического состояния шипованных шин. Показано, что визуальные и ручные методы отличаются низкой

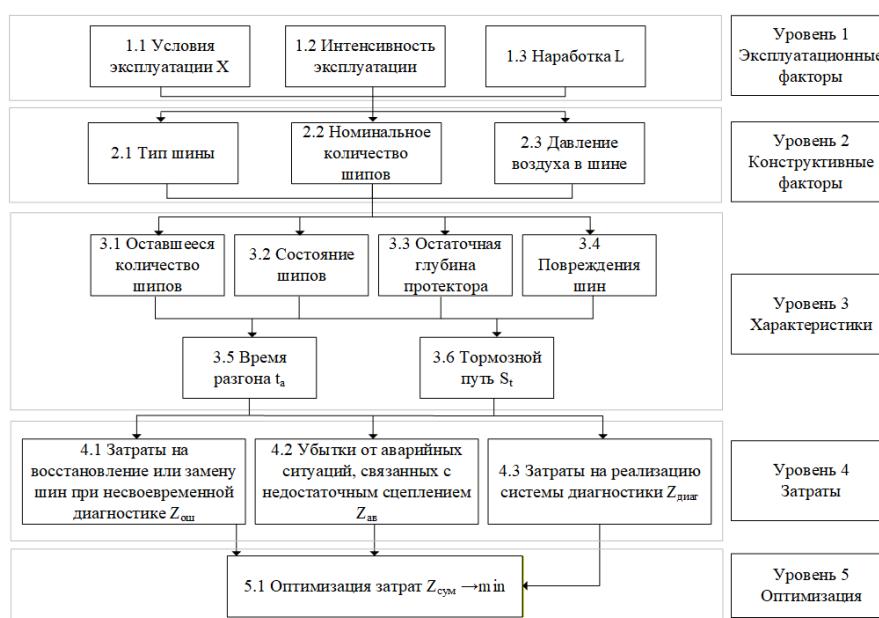
точностью и высокой трудоёмкостью. Эмпирические и аналитические методы определения остаточного количества шипов позволяют оценить эксплуатационную пригодность, однако требуют уточнения и стандартизации. В работах Сахиева А.А. рассмотрены существующие модели изнашивания шипов, разделённые на эмпирические и механистические. Существенный вклад в изучение динамики транспортных средств при эксплуатации зимних шин внесли исследования Кристального С.Р., в которых рассматривались особенности функционирования антиблокировочных тормозных систем при использовании шипованных шин, а также анализировалось их влияние на тормозные характеристики автомобиля. В трудах Иванова А.М. дополнительно изучены вопросы влияния конструктивных параметров шин на динамику транспортных средств и формирование сцепных сил в различных условиях движения.

Отдельное внимание уделено вопросам автоматизации диагностики состояния шин. В работах Гергенова С.М., Жила А.С., Сергеева Н.В. и Сиротина П.В. показано, что использование автоматизированных способов диагностики обеспечивает воспроизводимость результатов и создаёт предпосылки для внедрения комплексных методов мониторинга эксплуатационных характеристик шин в условиях реальной эксплуатации.

Проведённый анализ показал, что существующие подходы к оценке технического состояния шин не обеспечивают достаточной точности и достоверности результатов. Отсутствие математических моделей, связывающих степень остаточной ошиповки с динамическими характеристиками автомобиля, осложняет оценку эксплуатационной пригодности шин. В связи с этим сформулированы цель и задачи дальнейших исследований, направленные на разработку математических моделей, описывающих влияние степени ошиповки и коэффициента сцепления дорожного покрытия на время разгона и тормозной путь, а также на создание методики автоматизированной диагностики технического состояния зимних шин.

**Второй раздел** посвящён теоретическим исследованиям. В качестве целевой функции в исследованиях выбран минимум суммарных затрат, связанных с использованием зимних шипованных шин:

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{вш}} + Z_{\text{ав}} + Z_{\text{диаг}} \rightarrow \min, \quad (1)$$



где  $Z_{\text{вш}}$  – затраты на восстановление шин при несвоевременной диагностике;

$Z_{\text{ав}}$  – убытки от аварийных ситуаций, связанных с недостаточным сцеплением;

$Z_{\text{диаг}}$  – затраты на реализацию системы диагностики.

Для реализации системного подхода произведена декомпозиция изучаемой системы (рис. 1).

Описаны элементы рассматриваемой системы, а также выявлены закономерности их взаимодействия. Все эти закономерности разбиты на 5 уровней: 1 – эксплуатационные факторы; 2

менты рассматриваемой системы, а также выявлены закономерности их взаимодействия. Все эти закономерности разбиты на 5 уровней: 1 – эксплуатационные факторы; 2

- конструктивные факторы; 3 – характеристики, которые зависят от состояния шины; 4 – затраты; 5 – оптимизация.

Для решения первой задачи на основе выполненных ранее исследований сформирован исходный перечень факторов, влияющих на сцепные свойства шин. Затем на основе априорного ранжирования выявлены наиболее важные из них – степень остаточной ошиповки и тип дорожного покрытия (сухой асфальт, укатанный снег, рыхлый снег, лёд).

Для изучения закономерностей влияния этих факторов на время разгона и тормозной путь используется гипотетический метод. Сначала разрабатываются предположения о закономерностях и моделях для их описания, затем они проверяются на основе эксперимента.

На основе анализа ранее выполненных исследований установлено, что неравномерная или сниженная ошиповка существенно ухудшает сцепные свойства шин. По данным Старостина А.В., Степанова А.С., Шаратинова А.Д., сцепные свойства шипованных шин зависят не только от количества шипов и остаточной глубины протектора, но и от типа дорожного покрытия.

При разработке модели влияния остаточной степени ошиповки на время разгона необходимо учитывать, что:

- при номинальной ошиповке ( $n = 1$ ) достигается максимальное сцепление и минимальное время разгона;
- при уменьшении количества шипов снижается эффективность тягового взаимодействия, что ведёт к росту времени разгона;
- при снижении степени ошиповки ниже критического уровня ( $n < 0,4$ ) наблюдается резкое ухудшение сцепления, особенно на льду;
- зависимость носит нелинейный характер и характеризуется ускоряющимся ухудшением параметров при  $n \rightarrow 0$ .

Сформулированы требования к модели:

- адекватность экспериментальным данным;
- отсутствие противоречий физическому смыслу;
- возможность практического использования;

Таким образом, рассматриваемая зависимость может быть как линейной, так и нелинейной.

Рассмотрен ряд вариантов математической модели влияния остаточной степени ошиповки на время разгона автомобиля:

$$– \text{линейная модель: } t_a = a_0 + a_1 n; \quad (2)$$

$$– \text{экспоненциальная модель: } t_a = a_0 e^{a_1 n}; \quad (3)$$

$$– \text{квадратичная модель: } t_a = a_0 + a_1 n + a_2 n^2, \quad (4)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  – эмпирические коэффициенты.

При разработке модели влияния степени остаточной ошиповки на тормозной путь необходимо учитывать следующее:

- при полной ошиповке достигается наименьший тормозной путь для зимних покрытий, особенно на льду;
- уменьшение количества шипов сопровождается снижением сцепления, что ведёт к росту тормозного пути;
- при снижении степени ошиповки ниже критического уровня (обычно в диапазоне 0,3–0,5) наблюдается резкое ухудшение тормозной эффективности, особенно на обледенелых и снежных покрытиях;

– изменения тормозного пути в зависимости от  $n$  носят нелинейный характер: в начальной области изменения незначительны, но при дальнейшем снижении количества шипов эффект резко возрастает;

– при движении по сухому асфальту использование шипованных шин может не улучшать, а иногда даже ухудшать торможение из-за уменьшенной площади контакта и увеличения жёсткости протектора.

Рассмотрен ряд вариантов вида математической модели тормозного пути  $S_t$  от степени ошиповки  $n$ :

$$– \text{линейная модель: } S_t = d_0 + d_1 n; \quad (5)$$

$$– \text{экспоненциальная модель: } S_t = d_0 e^{d_1 n}; \quad (6)$$

$$– \text{квадратичная модель: } S_t = d_0 + d_1 n + d_2 n^2, \quad (7)$$

где  $d_0, d_1, d_2$  – эмпирические коэффициенты.

При разработке модели влияния коэффициента сцепления на тормозной путь необходимо учитывать следующее:

– тормозной путь обратно пропорционален замедлению, которое определяется коэффициентом сцепления по закону динамики торможения;

– при малых значениях  $K_c$  (например, на льду или утрамбованном снегу) тормозной путь возрастает нелинейно – даже незначительное уменьшение коэффициента сцепления вызывает резкое увеличение тормозного пути;

– при достижении коэффициента сцепления  $K_c \approx 0.8$ , характерного для сухого асфальта, тормозной путь минимален и мало изменяется при дальнейшем увеличении сцепления.

Проанализирован ряд вариантов вида математической модели тормозного пути  $S_t$  от коэффициента сцепления  $K_c$ :

$$– \text{линейная модель: } S_t = c_0 + c_1 K_c; \quad (8)$$

$$– \text{экспоненциальная модель: } S_t = c_0 e^{c_1 K_c}; \quad (9)$$

$$– \text{квадратичная модель: } S_t = c_0 + c_1 K_c + c_2 K_c^2, \quad (10)$$

где  $c_0, c_1, c_2$  – эмпирические коэффициенты.

При разработке модели влияния коэффициента сцепления на время разгона автомобиля необходимо учитывать следующее:

– при уменьшении  $K_c$  ниже определённого предела (обычно  $K_c < 0.4$ ) наблюдается резкий рост пробуксовки и, соответственно, увеличение времени разгона;

– зависимость времени разгона от коэффициента сцепления носит нелинейный характер: при малом  $K_c$  небольшие изменения вызывают значительный прирост времени разгона;

– при постоянной мощности двигателя и неизменной массе автомобиля время разгона зависит от максимальной силы тяги, которая пропорциональна  $K_c$ , а значит – от параметров взаимодействия шины с дорогой.

Рассмотрен ряд вариантов вида математической модели времени разгона  $t_a$  от коэффициента сцепления  $K_c$ :

$$– \text{линейная модель: } t_a = b_0 + b_1 K_c; \quad (11)$$

$$– \text{экспоненциальная модель: } t_a = b_0 e^{b_1 K_c}; \quad (12)$$

$$– \text{квадратичная модель: } t_a = b_0 + b_1 K_c + b_2 K_c^2, \quad (13)$$

где  $b_0, b_1, b_2$  – эмпирические параметры.

Ранее установлено, что применение шипованных шин способствует снижению времени разгона и уменьшению тормозного пути автомобиля на скользких покрытиях.

Однако, в известных исследованиях отсутствуют данные о том, при каком проценте сохранившихся шипов шина теряет свою эффективность, а также не представлено модели, комплексно описывающей влияние остаточной степени ошиповки и типа дорожного покрытия на динамические параметры автомобиля. В связи с этим выдвинута гипотеза о возможности описания этих закономерностей многофакторными моделями, учитывающими как степень ошиповки ( $n$ ), так и коэффициент сцепления ( $K_c$ ), который отражает тип дорожного покрытия.

Влияние степени ошиповки на тормозной путь проявляется наиболее значительно на покрытиях с низким коэффициентом сцепления – льду и укатанном снегу. При уменьшении количества шипов снижается эффективность контакта шины с дорогой, что вызывает рост тормозного пути. При этом эффект носит явно нелинейный характер: при остаточной ошиповке менее 0,4 наблюдается резкое ухудшение тормозных свойств, особенно на покрытиях с низким сцеплением. Следовательно, зависимость тормозного пути от степени ошиповки и типа дорожного покрытия может быть описана рядом многофакторных моделей:

вариант 1 – линейная модель со смешанным эффектом

$$S_t = A_0 + A_1 n + A_2 K_c + A_3 n K_c; \quad (14)$$

вариант 2 – экспоненциальная модель

$$S_t = A_0 c_0 e^{A_1 n} e^{c_1 K_c}; \quad (15)$$

вариант 3 – полиномиальная модель второго порядка со смешанными эффектами  
 $S_t = A_0 + A_1 K_c + A_2 n + A_3 K_c n + A_4 K_c^2 + A_5 n^2 + A_6 n K_c^2 + A_7 K_c n^2 + A_8 n^2 K_c^2,$  (16)  
где  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$  – эмпирические коэффициенты.

Влияние остаточной степени ошиповки и коэффициента сцепления на время разгона также может быть описано с использованием аналогичных моделей. С уменьшением количества шипов снижается тяговое взаимодействие шины с поверхностью, что приводит к увеличению времени разгона, особенно на обледенелых и снежных покрытиях. При этом на сухом асфальте, напротив, избыток шипов может не способствовать улучшению разгона из-за уменьшения площади контакта.

Для описания данной зависимости предложены следующие гипотетические виды моделей:

вариант 1 – линейная модель с взаимодействием факторов

$$S_t = A_0 + A_1 + A_2 n + A_3 K_c + A_4 n K_c; \quad (17)$$

вариант 2 – экспоненциальная модель.

$$S_t = A_0 c_0 e^{A_1 n} e^{c_1 K_c}; \quad (18)$$

вариант 3 – полиномиальная модель второго порядка со смешанными эффектами  
 $S_t = A_0 + A_1 K_c + A_2 n + A_3 K_c n + A_4 K_c^2 + A_5 n^2 + A_6 n K_c^2 + A_7 K_c n^2 + A_8 n^2 K_c^2,$  (19)  
где  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$  – эмпирические коэффициенты.

Каждый из предложенных вариантов подлежит проверке на соответствие экспериментальным данным. Выбор наилучшей модели производится на основании дискриминационного анализа.

**Третий раздел** посвящён экспериментальным исследованиям, направленным на проверку гипотез, выдвинутых в аналитической части работы, а также на определение численных параметров разработанных математических моделей. Целью экспериментальных исследований являлась проверка выдвинутых гипотез о зависимости динамических характеристик автомобиля – времени разгона и тормозного пути – от степени остаточной ошиповки и типа дорожного покрытия, а также определение численных параметров разработанных теоретических моделей.

Для проведения испытаний был выбран автомобиль Toyota Hilux с возможностью подключения полного привода, оснащённый зимними шипованными шинами Gislaved Nord Frost типоразмера 265/60 R18. Оставшиеся шипы были полностью удалены, после чего производилась дошиповка по 25% от номинального количества для проведения серии испытаний. Эксперименты проводились при движении по поверхностям с различными сцепными свойствами: сухому асфальту, укатанному снегу и льду. Измерение времени разгона до скорости 60 км/ч и тормозного пути выполнялись при стабильных температурных и дорожных условиях, что обеспечило достоверность и сопоставимость полученных данных. Измерения осуществлялись с использованием системы GPS-хронометрирования и бесконтактного измерителя пути. Каждый эксперимент выполнялся не менее трёх раз при неизменных условиях температуры (от -20 до -22°C) и давления в шинах. Полученные значения усреднялись, что позволило снизить влияние случайных факторов.

Экспериментальные данные позволили построить зависимости времени разгона от количества шипов для заднеприводного (рис. 2) и полноприводного (рис. 3) режимов.

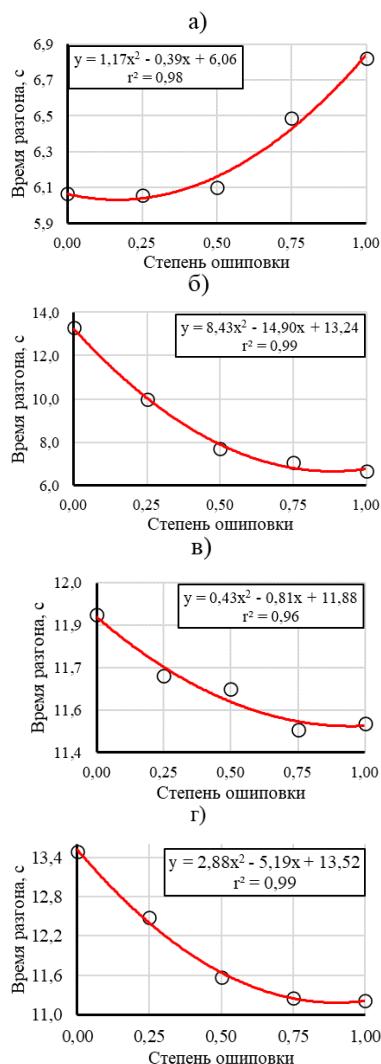


Рисунок 2 – Зависимость времени разгона от степени ошиповки для заднего привода: а – сухой асфальт; б – рыхлый снег; в – укатанный снег; г – лёд

Общая тенденция на всех типах покрытий заключается в увеличении времени разгона при снижении степени ошиповки. На поверхностях с пониженным коэффициентом сцепления (льд, уплотнённый снег) это увеличение носит ярко выраженный нелинейный характер. При переходе от 0 % к 100 % ошиповки прирост времени разгона составляет от 1 до 2,5 секунд, в зависимости от покрытия.

Полученные зависимости демонстрируют, что характер влияния степени ошиповки на время разгона отличается в зависимости от типа покрытия. Для сухого асфальта (рис. 2а) зависимость имеет слабо выраженный нелинейный характер и сопровождается минимальными изменениями времени разгона, что обусловлено доминирующей ролью адгезионного трения резины. Для рыхлого и укатанного снега (рис. 2б и 2в) влияние количества шипов становится значительно более выраженным, а снижение степени ошиповки приводит к заметному росту времени разгона. На льду (рис. 2г) выявлена наиболее крутая зависимость, характеризующаяся значительным увеличением времени разгона при уменьшении числа шипов, что подтверждает ключевую роль механического зацепления в условиях минимального коэффициента сцепления. Высокие значения коэффициентов детерминации свидетельствуют о достаточной адекватности выбранных моделей для описания экспериментальных зависимостей. Полученные зависимости для полноприводного режима показывают, что влияние степени ошиповки на время разгона сохраняет общую тенденцию, наблюдавшуюся для заднего привода, однако выраженность эффекта становится иной вследствие перераспределения тяговых усилий между осями. На сухом асфальте (рис. 3а) изменение количества шипов практически не влияет на динамику автомобиля,

что подтверждается плавным характером кривой и минимальным диапазоном изменения времени разгона. Для рыхлого и укатанного снега (рис. 3б и 3в) наблюдается отчётливое сокращение времени разгона с увеличением степени ошиповки. На льду (рис. 3г) влияние количества шипов является наиболее существенным: уменьшение степени ошиповки приводит к резкому росту времени разгона, хотя абсолютные значения прироста несколько ниже, чем для заднего привода, благодаря взаимодействию обеих осей в тяговое взаимодействие. Высокие коэффициенты детерминации свидетельствуют об адекватности использованных моделей и устойчивости полученных закономерностей. Аналогичные испытания проводились для определения зависимости тормозного пути от степени ошиповки (рис. 4).

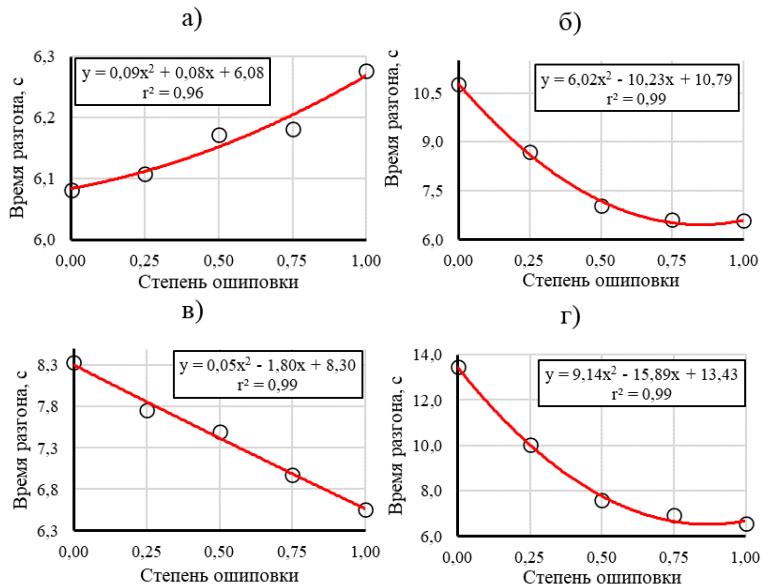


Рисунок 3 – Зависимость времени разгона от степени ошиповки для полного привода: а – сухой асфальт; б – рыхлый снег; в – укатанный снег; г – лёд

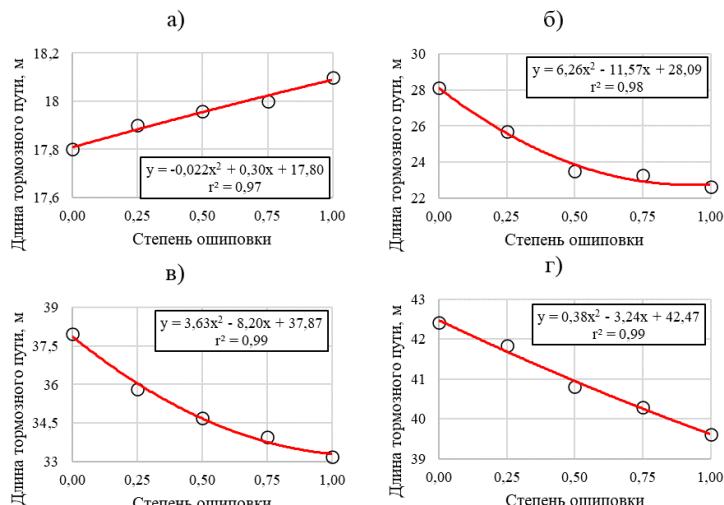


Рисунок 4 – Зависимость тормозного пути от степени ошиповки: а – сухой асфальт; б – рыхлый снег; в – укатанный снег; г – лёд

пути вследствие резкого ухудшения сцепления. Высокие значения коэффициента детерминации подтверждают надёжность полученных зависимостей и возможность их использования для количественной оценки эффективности торможения в зависимости от остаточной ошиповки. Параллельно с исследованием влияния степени ошиповки проводилась проверка зависимости тормозного пути и времени разгона от коэффициента сцепления дорожного покрытия (рис. 5). Это позволило комплексно оценить, каким образом ухудшение условий взаимодействия шины с дорогой влияет на динамические характеристики автомобиля. Ниже приведены экспериментальные результаты, отражающие влияние коэффициента сцепления на тормозной путь.

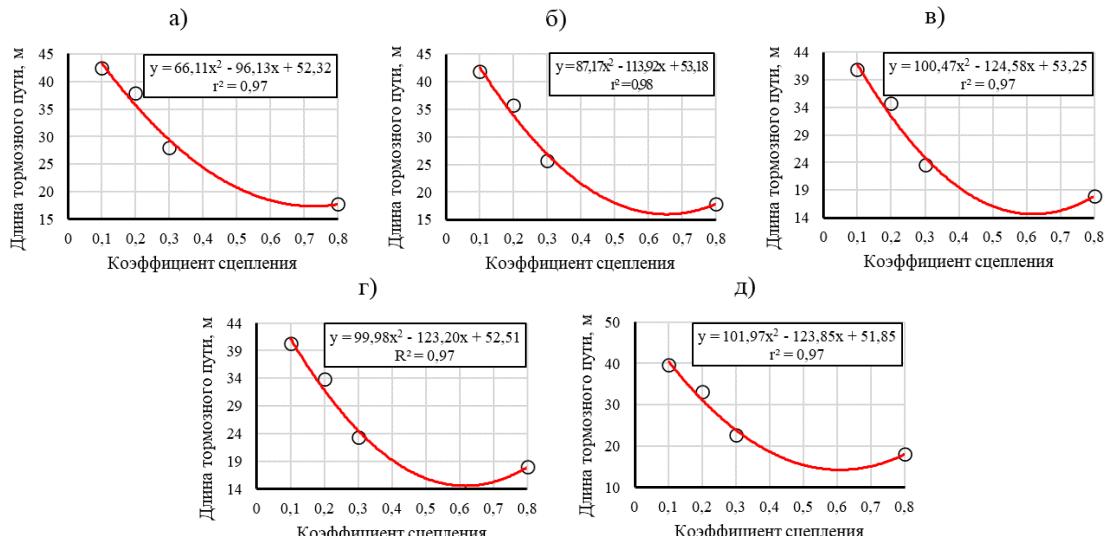


Рисунок 5 – Влияние коэффициента сцепления на тормозной путь при степени ошиповки:  
 а – 0,00; б – 0,25; в – 0,50; г – 0,75; д – 1,00

На основе полученных экспериментальных данных построена многофакторная математическая модель тормозного пути  $S$  в виде полинома второй степени со смешанными эффектами:

$$S = A_0 + A_1 d + A_2 f + A_3 df + A_4 d^2 + A_5 f^2 + A_6 d^2 f + A_7 df^2 + A_8 d^2 f^2, \quad (20)$$

Коэффициенты модели  $A_0 \dots A_8$  определялись методом наименьших квадратов на основе экспериментальных данных (таб. 1). Средняя ошибка аппроксимации не превышала 5 %, коэффициент детерминации составил 0,94 … 0,96, вероятность адекватности – выше 0,95.

На рис. 6 представлена трёхмерная визуализация зависимости тормозного пути от двух факторов – остаточной степени ошиповки и коэффициента сцепления дорожного покрытия. Поверхность модели демонстрирует нелинейный характер зависимости, при котором ухудшение сцепных свойств дороги и снижение количества шипов приводят к увеличению тормозного пути.

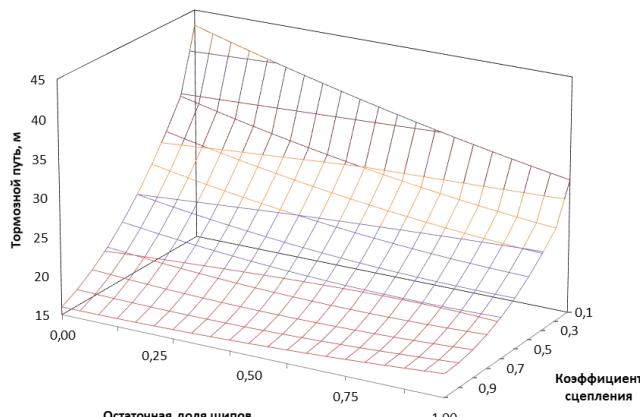


Рисунок 6 – Двухфакторная математическая модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на тормозной путь

Таблица 1 – Численные значения параметров многофакторной математической модели тормозного пути

Параметр, м	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$
Значения	43	-14	-45	12	3	18	5	2	-6

Ниже приведено описание поверхностей, отражающих зависимость времени разгона от остаточной доли шипов и коэффициента сцепления для заднего (рис. 7) и полного (рис. 8) привода. Эти поверхности построены на основе экспериментальных данных и описаны многофакторной нелинейной регрессионной моделью. Численные значения параметров для заднего и полного привода приведены в табл. 2.

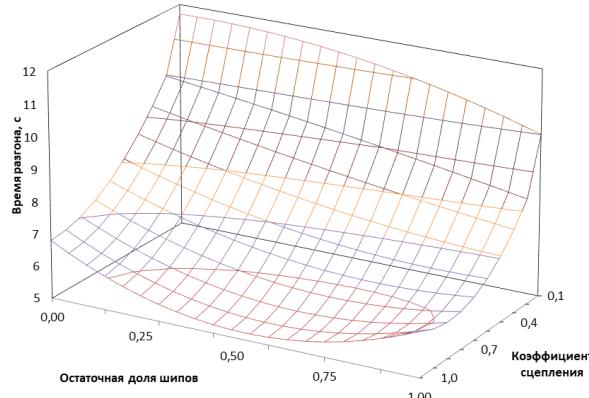


Рисунок 7 – Двухфакторная математическая модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на время разгона автомобиля с задним приводом

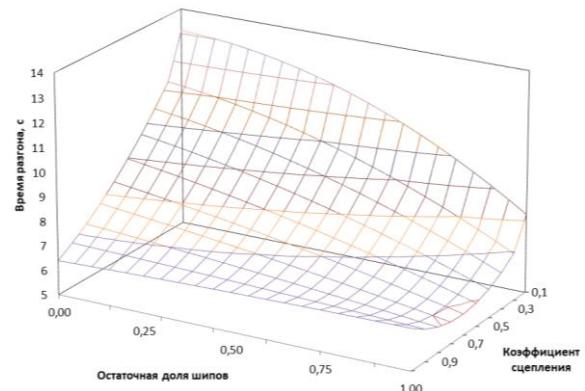


Рисунок 8 – Двухфакторная математическая модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на время разгона автомобиля с полным приводом

Таблица 2 – Численные значения параметров многофакторной математической модели времени разгона для заднего и полного привода

Параметр, с	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>
Значения для заднего привода	11,7	0,2	-9,6	-8,4	-1,9	4,7	8,1	2,3	-0,7
Значения для полного привода	13,1	-0,4	-9,8	-7,2	-4,5	3,1	9,5	8,1	-5,2

В ходе проведённых исследований разработана и апробирована методика автоматизированной диагностики состояния шипованных шин, реализованная на базе специализированного стенда с системой машинного зрения. Стенд представляет собой компактное автоматизированное устройство, включающее приводной механизм вращения колеса, модуль фиксации положения, камеру с высоким разрешением. Принцип его работы заключается в следующем: после установки устройства под колесо привод обеспечивает его равномерное вращение на 360°, а камера формирует серию кадров, которые совмещаются в единое развернутое изображение протектора. Это изображение позволяет получить полный обзор расположения шипов по окружности колеса.

Программное обеспечение выполняет автоматическое выделение зон протектора, распознавание каждого шипа, определение его геометрии и классификацию по четырём диагностическим категориям: целый, изношенный (шип утоплен в поверхность протектора или слишком большой зазор между поверхностью корпуса шипа и посадочным отверстием), разрушенный (поломка корпуса шипа или скол твёрдосплавного наконечника) и отсутствующий. На основе этих данных рассчитывается остаточная степень ошиповки и формируется диагностический отчёт. Важным преимуществом разработанного стенда является отсутствие необходимости демонтажа колеса, что существенно снижает трудоёмкость операции и повышает её объективность за счёт исключения человеческого фактора.

Испытания предложенной методики на автомобиле в условиях поста технического обслуживания (рис. 9) подтвердили её высокую эффективность и точность. Среднее время диагностики одного колеса составило менее двух минут, а погрешность по сравнению с ручным подсчётом не превышала 2 %. Таким образом, разработанная методика обеспечивает объективную и воспроизводимую оценку состояния шипованных



Рисунок 9 – Испытания разработанного устройства

шин, позволяя минимизировать влияние человеческого фактора и сократить трудоёмкость процедур контроля.

Проведённые экспериментальные исследования подтвердили выдвинутые гипотезы и позволили определить численные значения параметров моделей. Установлено, что предложенные многофакторные модели с вероятностью выше 0,95 адекватно описывают влияние степени ошиповки и коэффициента сцепления на динамические характеристики автомобиля, а разработанная методика диагностики обеспечивает объективный контроль состояния шин.

Четвёртый раздел посвящён практическому применению полученных результатов исследования и разработке методики оценки эксплуатационных характеристик зимних шипованных шин с учётом остаточной степени ошиповки. В разделе изложены подходы к использованию экспериментальных моделей при анализе динамических свойств автомобилей, а также даны рекомендации по их применению в диагностических и эксплуатационных процедурах.

В ходе анализа разработанные математические модели зависимости времени разгона и тормозного пути от степени остаточной ошиповки и коэффициента сцепления дорожного покрытия были использованы для количественной оценки изменения тягово-сцепных характеристик. Предложенный подход позволяет определять границы эксплуатационной пригодности шин на основе фактических данных о снижении эффективности сцепления.

Разработанная методика основана на результатах трёх взаимосвязанных моделей:

- модели времени разгона заднеприводного автомобиля;
- модели времени разгона полноприводного автомобиля;
- модели тормозного пути.

Каждая из моделей учитывает степень ошиповки и коэффициент сцепления покрытия, что позволяет применять их для различных эксплуатационных сценариев – от сухого асфальта до обледенелых поверхностей. Перевод дорожных условий в численные значения коэффициента сцепления обеспечил возможность построения обобщённой многофакторной зависимости, пригодной для оценки влияния остаточной ошиповки на динамику автомобиля.

Практическое использование результатов заключается в разработке и внедрении комплексной методики оценки состояния зимних шипованных шин, основанной на последовательной проверке ключевых эксплуатационных параметров. На первоначальном этапе осуществляется измерение остаточной глубины рисунка и визуальная оценка состояния материала протектора на наличие микротрещин, порезов, надрывов и иных дефектов, указывающих на снижение эластичности и работоспособности шины. При выявлении недостаточного количества шипов или признаков их выпадения применяется разработанное автоматизированное устройство, позволяющее без демонтажа колеса объективно определить фактическое количество шипов, классифицировать их по состоянию и вычислить остаточную степень ошиповки. Полученная информация используется для оценки влияния текущей потери шипов на динамические характеристики автомобиля и для определения целесообразности проведения дошиповки либо замены шины. Система позволяет количественно оценить, в какой мере восстановление шипов

может улучшить сцепные свойства на основе моделирования времени разгона и тормозного пути, что обеспечивает объективное и обоснованное принятие решений.

Предложенная методика автоматизированной диагностики, основанная на применении стенда с системой компьютерного распознавания шипов, позволила реализовать практическую идентификацию степени ошиповки без демонтажа колеса. Испытания устройства подтвердили его высокую точность (до 98 %) и низкую трудоёмкость, что обеспечивает возможность оперативного контроля технического состояния шин на постах технического обслуживания.

Проведённый экономический анализ показал, что использование предложенной методики диагностики и экспертной системы оценки эффективности шин позволяет сократить затраты, связанные с их эксплуатацией, в среднем на 30 … 40 %. Особенно значительный экономический эффект достигается при восстановлении шин с состоянием протектора, пригодным для дальнейшего использования, но с дефицитом шипов. Возможность обоснованного решения о дошиповке вместо полной замены обеспечивает рациональное использование ресурсов. В результате применения методики наблюдается

снижение стоимости одного машино-часа эксплуатации автомобиля на 1–2 %, а при исключении топливной составляющей – до 4 %.

Следует отметить, что эффективность ремонта шин среднего и низкого ценовых сегментов несколько ниже, что связано с ограниченной стойкостью их каркаса и меньшим ресурсом повторной ошиповки (рис. 10). Тем не менее, даже в этих случаях применение автоматизированного контроля повышает обоснованность решений и снижает риск преждевременной утилизации шин.

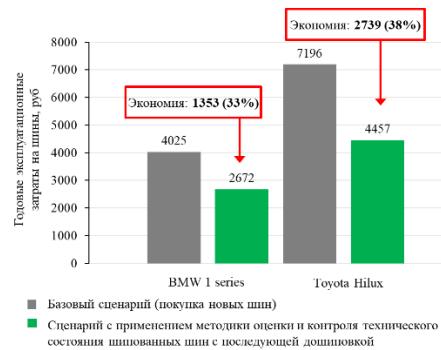


Рисунок 10 – Стоимость восстановления шин в год с ремонтом и без ремонта

Отдельное внимание уделено вопросам интеграции разработанной методики в цифровые сервисы, включая создание автоматизированных журналов учёта состояния шин. Это обеспечивает формирование цифрового профиля шины в течение всего её жизненного цикла и способствует переходу к концепции предиктивного технического обслуживания.

Для проверки экономической модели и обоснования целесообразности восстановительных работ был проведён анализ зависимости рыночной стоимости шин от их геометрических параметров (диаметра, ширины профиля и высоты профиля). В результате обработки массива данных с применением полиномиальной аппроксимации второго порядка были получены математические зависимости, описывающие ценообразование в рассматриваемом сегменте.

Установлено, что стоимость шины демонстрирует нелинейный рост при увеличении геометрических параметров. Для различных значений диаметра построены зависимости стоимости от ширины профиля (рис. 11) и высоты профиля (рис. 12).

Полученные модели показывают возрастающий рост цены при увеличении диаметра и ширины профиля, а также характерное удорожание в зоне низких значений профиля шин для больших диаметров. Анализ крутизны поверхностей позволяет сделать вывод, что наиболее высокая стоимость характерна для типоразмеров с диаметром от 17–18 дюймов и шириной протектора более 225 мм, в то время как для малых диаметров кривая роста цен более пологая, что снижает эффект от дошиповки по сравнению с покупкой новой шины.

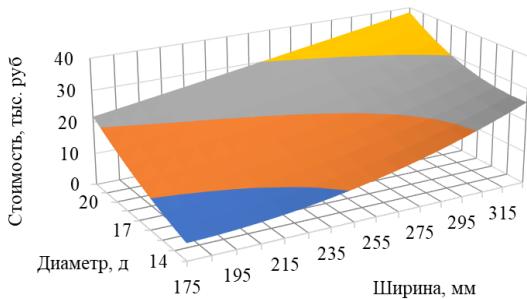


Рисунок 11 – Визуализация модели изменения стоимости шины от диаметра и ширины профиля

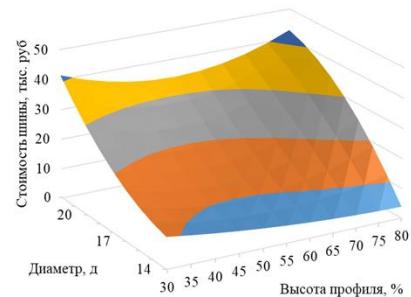


Рисунок 12 – Визуализация модели изменения стоимости шины от диаметра и высоты профиля

Таким образом, внедрение автоматизированного подсчёта шипов и экспертной оценки их эффективности обеспечивает комплексный подход к управлению состоянием зимних шин. Это позволяет повысить безопасность движения, снизить эксплуатационные расходы и увеличить срок службы шин, что подтверждает высокую практическую значимость полученных результатов и их применимость в автотранспортных предприятиях и сервисных организациях.

Результаты исследований внедрены в 26 дилерских центрах ГК «Автоград-Тюмень», а также использованы при разработке программного средства для диагностики технического состояния автомобильных шипованных шин, зарегистрированного как программа для ЭВМ (свидетельство № 2025618609).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научно-практическая задача разработки методики оценки и контроля технического состояния шипованных автомобильных шин, основанная на объективном определении остаточной степени ошиповки и учёте типа дорожного покрытия. Методика позволяет повысить эффективность эксплуатации автомобилей за счёт повышения точности диагностирования сцепных свойств шин, снижения рисков потери управляемости и оптимизации затрат на обслуживание шин.

2. Установлены ключевые факторы, определяющие динамические характеристики автомобиля с зимними шипованными шинами, среди которых решающую роль играют остаточная степень ошиповки и коэффициент сцепления дорожного покрытия.

3. Установлены закономерности изменения времени разгона и тормозного пути автомобилей в зависимости от степени остаточной ошиповки и типа дорожного покрытия. Показано, что уменьшение количества шипов вызывает нелинейное ухудшение сцепных свойств, особенно на льду и укатанном снегу, где при снижении ошиповки ниже 40 % наблюдается резкий рост тормозного пути и времени разгона.

4. На основе проведённых экспериментов построены двухфакторные регрессионные модели, отражающие совместное влияние остаточной ошиповки и типа дорожного покрытия на время разгона и длину тормозного пути. Модели позволяют оценивать изменение тягово-сцепных свойств и динамики автомобиля при различных эксплуатационных условиях.

5. Разработано и испытано автоматизированное устройство для диагностики состояния шипованных шин, основанное на компьютерном распознавании изображений. Предложена методика проведения диагностики, включающая этапы сканирования, об-

работки изображений и классификации шипов по состоянию. Испытания показали высокую точность работы устройства (не ниже 98 %) при времени обработки одного колеса не более 2 минут.

6. Разработана методика оценки и контроля состояния шипованных шин на основе данных автоматизированной диагностики. Показано, что применение предложенного подхода позволяет снизить затраты на восстановление шин до 40 % за счёт обоснованного выбора между заменой и дошиповкой. При этом снижение стоимости одного машино-часа эксплуатации составляет 1–2 %, а без учёта топлива – до 4 %. Установлено, что применение предложенной системы диагностики и экспертной оценки состояния шин обеспечивает повышение точности контроля, сокращение трудозатрат и снижение субъективности анализа. Разработанная методика может быть интегрирована в систему технического обслуживания автотранспортных предприятий, обеспечивая рациональное использование шин и повышение безопасности движения.

7. Дальнейшие исследования следует направить на развитие автоматизированных систем диагностики шин с использованием машинного зрения для распознавания остаточной глубины протектора, а также на интеграцию разработанной методики в интеллектуальные системы технического обслуживания и прогнозирования ресурса шин в зависимости от реальных условий эксплуатации.

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

### **- в рецензируемых изданиях из «Перечня ...» ВАК:**

1. Сапоженков, Н. О. Повышение эффективности эксплуатации зимних шипованных шин / Н. О. Сапоженков, **В. С. Петров**, Д. В. Жданов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 6. – С. 96-105. – DOI 10.25198/2077-7175-2021-6-96. – EDN KUKPGQ.

2. Захаров, Н. С. Метод оценки работоспособности зимних шипованных шин / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков, **В. С. Петров** // Транспортное дело России. – 2024. – № 3. – С. 231-233. – EDN RSBFDQ.

### **- охранные документы на результаты интеллектуальной деятельности:**

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618609 Российской Федерации. Диагностика технического состояния автомобильных шипованных шин : заявл. 29.03.2025 : опубл. 04.04.2025 / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков, **В. С. Петров**. – EDN VMLQJC.

### **- в прочих изданиях:**

4. Сапоженков, Н. О. Совершенствование методов диагностики зимних шипованных шин / Н. О. Сапоженков, А. А. Панфилов, **В. С. Петров** // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 12. – С. 132-135. – EDN WCBKVB.

5. **Петров, В. С.** Экономическое обоснование ремонта и замены автомобильных шин: анализ зависимости стоимости от параметров шин / В. С. Петров, Н. С. Захаров, Н. С. Сапоженков // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 20–22 ноября 2024 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 335-341. – EDN BMVKDC.

6. Жданов, Д. В. Инновационная система софтверного решения обеспечения автоматизации процесса распознавания и подсчёта шипов на автомобильных шинах / Д. В. Жданов, **В. С. Петров** // Современные исследования: теория и практика : Сборник статей II Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 13 апреля 2023 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнёрства «Новая Наука», 2023. – С. 113-118. – EDN KVOPWZ.